

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ЛЬДА ПУТЕМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СПЕКТРОМ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧНОЙ ДЛИНЫ

Лысый А. А., Иванов А. Н., Котенко В. В.

## 1. Введение

Ледовая обстановка восточной части Черного и Азовского морей (Украина) держится от трех до пяти месяцев в году. Опыт самостоятельного плавания судов и ледовых проводок караванов судов в это время показал очень высокий процент повреждения корпусов судов в результате подвижек льда и ледовых сжатий [1]. Вследствие таких обстоятельств безопасность судовождения не гарантируется, а ледовое плавание становится рискованным. Результаты исследований по возможности применения различных технических средств для проводки и облегчения плавания судов в ледовых условиях изложены во многих опубликованных научных работах, например в [2–4]. Но проводимые авторами этих работ эксперименты не учитывают малые глубины и подвижку льда. Поэтому актуальным является проведение исследований, направленных на обеспечение самостоятельного плавания судов и в составе караванов судов в Азовском море и в прибрежных восточных районах Черного моря. Таким образом, объектом исследования является воздействие инфракрасного излучения, разной длины волны на лед. А целью первого этапа работы является изучение распределения температуры в сечении льда при облучении его инфракрасным излучением с разной длиной волны.

## 2. Методика проведения исследований

В лаборатории во внутренней части замороженного льда были установлены ртутные лабораторные термометры со шкалой деления  $0,2^{\circ}\text{C}$ . При облучении льда инфракрасным излучением с разной длиной волны, идущим от изготовленного регулируемого устройства инфракрасного излучения, фиксировалась температура на каждом термометре в зависимости от времени воздействия и температуры источника инфракрасного излучателя.

## 3. Результаты исследований и обсуждение

Показания вышеуказанных термометров заносились в табл. 1–10.

В результате анализа полученных данных были обнаружены изменения оптических и механических свойств льда, ухудшающих его прочностные характеристики, как на поверхности так и внутри (рис. 1). Также было установлено, что скорость таяния льда при воздействии на него инфракрасным излучением недостаточна для прохождения судна во льдах с заданной скоростью. Поэтому в дополнение к воздействию инфракрасного излучения, размягчающим лёд, необходимо исследовать установку его механического размельчения и таяния.

Учитывая тот факт, что сопротивление льда срезу имеет наименьший параметр (табл. 1), то наиболее целесообразно исследовать механическое устройство, работающее на срез, определив оптимальную скорость вращения и резки льда. Поскольку этот параметр функционально связан со скоростью судна во льду (2–3 узла). В рассматриваемом варианте лабораторно исследуется способ и специальное устройство-манипулятор, которое будет работать в тандеме с судном для безопасного прохождения его в местах образования торосистых, сплошных и дрейфующих льдов толщиной 0,4–0,5 м. При превышении толщины льда более 10–15 см, устройство-манипулятор, управляемый дистанционно, опускается на лёд и двигаясь по заданному маршруту осуществляет термическое разрушение внутренней части льда инфракрасным излучением ( $\lambda=4$  мкм). Одновременно размельчает его специальным вращающимся и режущим лёд устройством с резаками, уменьшая ледовые нагрузки на корпус судна и обеспечивая безопасную возможную скорость движения судна (2–3 узла) по проложенному маршруту. Быстрое таяние размельчённого льда, при низкой температуре окружающей среды и увеличение времени его нахождения в незамерзшем состоянии обеспечивается за счет дополнительного инфракрасного излучателя с  $\lambda=3$  мкм, расположенного за специальным вращающимся устройством. Также этот излучатель предотвращает увеличение твёрдости льда при повторном замерзании размельчённого льда.

Так как сопротивление льда срезу приблизительно в 2 раза меньше разрыву и в 4 раза меньше раздавливанию [5] (табл. 1), то наиболее целесообразно рассмотреть и исследовать устройство, работающее на срез и определить оптимальную скорость резки льда. Этот параметр функционально связан со скоростью судна, рельефом истинной толщины льда и рельефом температурного поля ледяного покрова [6].

**Таблица 1**

Некоторые свойства льда

Свойство сопротивлению	Значение, Мн/м <sup>2</sup>	Примечание
Раздавливанию	2,5	Поликристаллический лёд
Разрыву	1,11	Поликристаллический лёд
Срезу	0,57	Поликристаллический лёд

На первом этапе эксперимента были проведены исследования по взаимодействию спектра инфракрасного излучения на лёд. По формуле Вина [7], был определен диапазон температур и изготовлена регулируемая установка лучистой энергии. Такая установка имеет коэффициент черноты, близкий к единице. Это значит, что в поток электромагнитных колебаний превращается большая часть тепловой энергии [8]. Поток электромагнитного излучения с расстояния 200 м, направлялся на плоскость льда, изменялась длина волны и с помощью ртутных лабораторных термометров фиксировалась температура в четырёх местах, равномерно удалённых друг от друга термометров.

Полученные результаты приведены в табл. 2–10, а распределение температуры в сечении льда при облучении его инфракрасными лучами показано на рис. 1.

**Таблица 2**

Исходные значения (расстояние между термометрами – 4×30 мм; глубина погружения лабораторных ртутных термометров – 100 мм; расстояние от излучателя до льда – 200 мм; температура окружающей среды – 22 °С; размеры льда – 200×200×300 мм; время – 12:30)

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	–4	–5,2	–5,7	–3

**Таблица 3**

Начальная температура во внутреннем сечении льда (время – 13:25)

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	–1,5	–2,0	–2,0	–2,0

**Таблица 4**

Установившаяся температура льда в лаборатории (время включения – 13:30; время замера температуры – 13:48; ток – 2,2 А; напряжение – 100 В; температура излучателя – 350 °С)

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура в 13:30, °С	–1,4	–0,5	–1,8	–1,8
Температура в 13:48, °С	–1,3	–0,5	–1,7	–1,6

**Таблица 5**

Температура льда в лаборатории после включения инфракрасного излучателя при значениях: время – 14:05; ток – 2,3 А; напряжение – 105 В; температура излучения – 350–400 °С

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура – 350 °С	–0,5	–1	–1,5	–1,5
Температура – 400 °С	–0,2	–1,2	–0,9	–1,3

**Таблица 6**

Температура льда в лаборатории после включения инфракрасного излучателя при значениях: время – 14:15; ток – 2,4 А; напряжение – 110 В; температура излучения – 450 °С

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	–0,2	–1,2	–1,2	–1,4

**Таблица 7**

Температура льда в лаборатории после включения инфракрасного излучателя при значениях: время – 14:18; ток=2,3 А; напряжение – 105 В; температура излучения – 400 °С

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	–0,2	–1,2	–1,2	–1,4

**Таблица 8**

Температура льда в лаборатории после включения инфракрасного излучателя при значениях: время – 14:22; ток – 1,7 А; напряжение – 88 В; температура излучения – 350 °С

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	-0,4	-1,2	-1,2	-1,4

**Таблица 9**

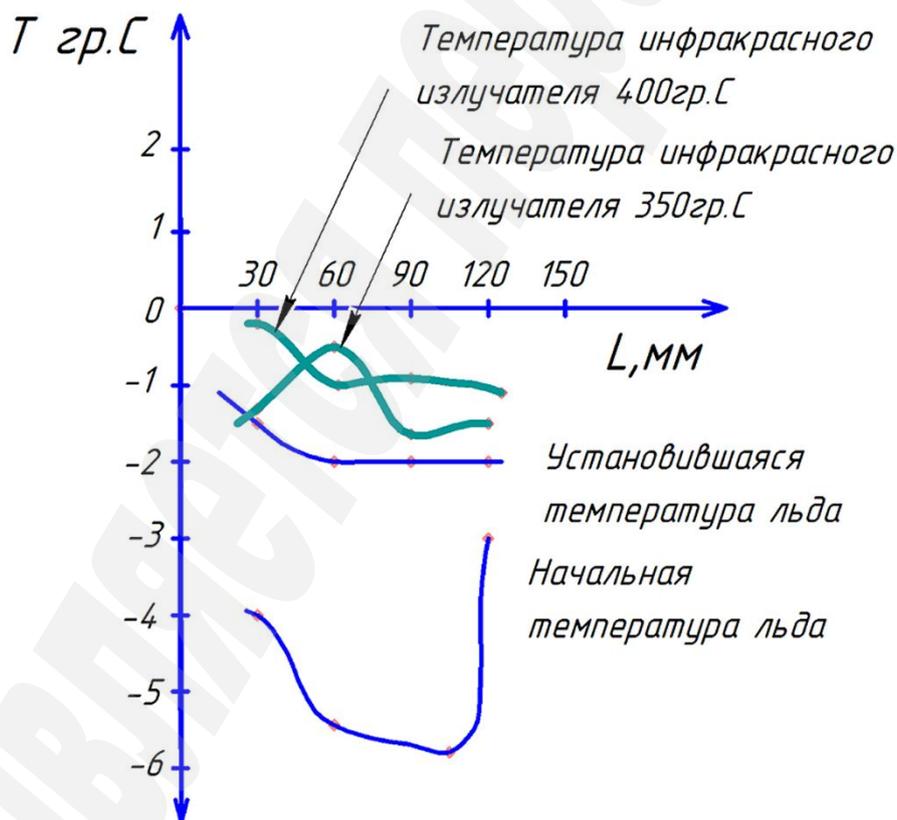
Температура льда в лаборатории после включения инфракрасного излучателя при значениях: время – 14:26; ток – 2,6А; напряжение – 78 В; температура излучения – 300 °С

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	-0,4	-1,1	-0,4	-1,4

**Таблица 10**

Температура льда в лаборатории после включения инфракрасного излучателя при значениях: время – 14:30; ток – 0,95 А; напряжение – 60 В; температура излучения – 200 °С

№ термометра	T1	T2	T3	T4
Температура, °С	-0,3	-1,2	-0,3	-1,3



**Рис. 1.** График распределения температуры в сечении льда при облучении его инфракрасным излучением ( $L$  – расстояние между термометрами,  $T$  – температура на термометрах)

Современные дистанционные системы дают лишь усреднённые показания с помощью последовательных сравнений сигналов изображения, используя

множество эталонов [9]. Учитывая тот факт, что судоводителю для принятия решения по использованию данного устройства необходимо знать толщину льда, появляется возможность провести натурные исследования устройства для определения толщины льда [10].

#### 4. Выводы

В ходе исследования определено, что прозрачность льда явно изменяется в зависимости от изменения длины волны электромагнитного излучения, которое проникает в глубь льда и эффективно им поглощается, повышая температуру внутри льда. Чистый воздух не поглощает инфракрасные лучи, а вода поглощает всю лучистую энергию очень тонким слоем и её температура выше температуры льда. Меньшая длина волны при большем нагреве непрозрачна для льда и энергия излучения выделяется на поверхности льда. Пик прозрачности во льду находится в районе 4–6 мкм. В этом диапазоне внутренняя часть льда размягчается. Размягчённая внутренняя часть льда позволит уменьшить нагрузку на электропривод, и резак измельчителя, устранив обмерзание и ускорив процесс прохождения судна по проложенному пути.

Результаты исследования будут полезны при проведении натуральных испытаний в период ледовой навигации для определения предварительных данных по ледовым параметрам района плавания и в целях расчета истинной толщины рельефа льда и рельефа температурного поля ледяного покров [11].

#### Литература

1. Лисий, А. О. (2017). Забезпечення безпечної льодової навігації на каналах Азовського моря. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*, 20 (1242), 25–29.
2. Свистунов, Б. И., Ионов, Б. П., Ильчук, А. Н. (1981). Исследования работы ледокола с системой пневмообмыва (ПОУ) при форсировании торосистых льдов. *Труды ААНИИ*, 376, 85–87.
3. Цой, Л. Г. (1982). Диаграмма для определения скорости движения судов в ледовых каналах. *Сборник научных труд ЦНИИМФ*, 275, 67–72.
4. Bekker, A. T., Tsuprik, V. G. (2016). Energy Concept for Determining Ice Strength in Calculation of Ice Load on Vertical Offshore Structures. *The 26th International Ocean and Polar Engineering Conference. Rhodes*. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/306357423\\_Energy\\_Concept\\_for\\_Determining\\_Ice\\_Strength\\_in\\_Calculation\\_of\\_Ice\\_Load\\_on\\_Vertical\\_Offshore\\_Structures](https://www.researchgate.net/publication/306357423_Energy_Concept_for_Determining_Ice_Strength_in_Calculation_of_Ice_Load_on_Vertical_Offshore_Structures)
5. Петров, И. Т. (1976). Выбор наиболее вероятных значений механических характеристик льда. *Сборник научных труд ААНИИ*, 331, 4–41.
6. Warren, S. G., Brandt, R. E., Grenfell, T. C. (2006). Visible and near-ultraviolet absorption spectrum of ice from transmission of solar radiation into snow. *Applied Optics*, 45 (21), 5320. doi: <http://doi.org/10.1364/ao.45.005320>
7. Деревере, М. (1959). *Практическое применение инфракрасных лучей*. Москва: Госэнерго, 440.
8. Yu, Y., Rothrock, D. A. (1996). Thin ice thickness from satellite thermal imagery. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 101 (C11), 25753–25766. doi:

<http://doi.org/10.1029/96jc02242>

9. Габрук, Р. (2017). Аналіз міжнародних та вітчизняних стандартів льодових категорій для здійснення безпечної навігації в акваторії шельфу України. *Метрологія та прилади*, 5, 69–72.

10. Тронин, В. А. (1978). Результаты испытаний ледовых качеств ледокольных буксиров. *Теория и прочность ледокольного корабля*, 9–12.

11. Трюде, П. (ред.) (1983). *Физика и механика льда*: пер. с англ. Москва: Мир, 352.

12. Сазонов, К. Е., Старовойтов, О. М. (1989). Буксировочные испытания эталонной модели МКОБ в ледовом опытовом бассейне. *Судостроительная промышленность. Сер. Проектирование судов*, 12, 42–47.

Не являється перекладом