

СВОЙСТВА И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОРСКОГО ЛЬДА

Баева Е. К.

Научный руководитель Трушко В. Л.

Санкт-Петербургский горный университет

В статье представлены основные сведения о классификациях и типах морских льдов, перечислены физико-механические свойства морского льда, методы определения и способы повышения несущей способности ледяного покрова, а также рассмотрены методы моделирования ледяного поля.

Вопросы рационального проектирования разнообразных ледовых морских сооружений являются крайне важными на сегодняшний день в связи с растущим геополитическим и экономическим интересом к арктическому региону. Вследствие возможного использования льда как материала для различных инженерных решений для безопасности работ на льду особое значение имеет оценка несущей способности ледяного покрова.

Методы определения ледовых нагрузок основываются на математических моделях, описывающих механику деформирования и разрушения льда.

Используемые классификации морских льдов

В ледовых исследованиях применяют несколько основных видов классификации морских льдов. Среди них структурно-генетическая классификация, предложенная Н.В. Черепановым, где за основу берется кристаллическая структура и условия образования/происхождения льда, а также классификация по возрастным категориям.

В соответствии со структурно-генетической классификацией морской лед разделяется на девять основных (В1-В9) типов и четыре дополнительных (Г1-Г4). Основные типы характерны для однолетних льдов, а дополнительные – для многолетних, структуры которых связана с происшедшими в периоды повторного выхолаживания процессами декристаллизации.

Наибольшее распространение в Арктике, по оценкам ААНИИ, имеют льды типов В2, В3 и В4.

В зависимости от стадии развития льды делятся на начальные виды, молодые, однолетние, двухлетние и паковые льды.

Физико-механические свойства льда

Для оценки влияния физико-механических характеристик льда на напряженно-деформированное состояние ледяного покрова вначале рассмотрим реально возможные диапазоны изменения интересующих параметров.

Плотность льда в значительной степени определяется структурой льда. В зависимости от возраста льды имеют различную соленость, а, следовательно, и плотность. Наиболее велика изменчивость солености и плотности у молодых льдов (табл. 1).

Таблица 1 – Характеристики льдов различных возрастных категорий

Вид льда	Толщина, см	Соленость, ‰	Плотность, кг/м ³
Нилас	3-10	13-18	830-916
Серый лед	10-15	7-10	810-890
Серо-белый лед	15-30	2-7	780-890
Белый лед	30-70	2-7	700-900

Плотность морского льда незначительно отличается от пресноводного. По данным исследований В. В. Богородского [3], В. В. Лаврова [10], М. И. Серикова [14], В. Н. Смирнова [16] плотность морского льда колеблется в пределах $\rho_{\text{л}}=840\div930$ кг/м³.

Пористость льда определяется условиями его образования и роста. В общем можно отметить тенденцию к образованию максимум пористости верхних и нижних слоев ледяного покрова.

Энергия деформирования, отнесенная к единице массы льда, даже при его разрушении на порядок меньше внутренней энергии кристаллической решетки [22]. Это свидетельствует о том, что упругие деформации льда невелики.

Механические свойства льда, определяемые его упругими константами, сравнительно слабо зависят от его солености и температуры, в то время как влияние этих факторов на остальные механические характеристики велико.

Значения упругих характеристик морского льда, полученные различными исследователями с помощью сейсмических, ультразвуковых и акустических методов, неплохо согласуются между собой.

В таблице 2 приведены упругие константы однолетних и многолетних морских льдов, определенные В. В. Богородским.

Таблица 2 – Экспериментальные значения упругих констант морского льда, в дин/см²

	Значения в разных слоях по толщине ледяной пластины								
	однолетний лед				многолетний лед				
$E \cdot 10^{-10}$	2,70	7,50	4,08	5,95	5,85	8,95	5,30	7,96	4,56
$G \cdot 10^{-10}$	1,02	2,86	1,54	2,25	2,20	3,36	2,04	2,96	1,69
E/G	2,66	2,62	2,65	2,66	2,66	2,66	2,65	2,70	2,70
μ	0,33	0,31	0,32	0,33	0,33	0,33	0,32	0,35	0,35

Интересно, что величина коэффициента Пуассона, а также отношение модуля упругости к модулю сдвига получается примерно постоянным от слоя к слою.

Морской лед по сравнению с пресным отличается большей пластичностью. Наползая на берег и следуя форме уступов и ступеней, он может подниматься вверх до 15 м.

Инженерный подход к расчету ледовых нагрузок основывается на традиционных испытаниях прочности образцов льда. Однако масштабный эффект не позволяет однозначно судить о реальной прочности льда и ледяных образований.

Напряжения, вызывающие разрушение льда при изгибе и растяжении, являются основными критериями оценки прочности ледяного покрова. Существует ряд экспериментальных методов определения этих прочностных характеристик.

Методы определения грузоподъемности ледяного покрова

Российскими специалистами созданы методы расчета ледяного покрова под нагрузкой, которые можно разделить на приближенные и точные. Приближенные методы рассматривают одностороннюю нагрузку (короткие передачи) и основываются на эмпирических зависимостях (П. И. Лебедев), принципе аналогии (М. М. Корунин) или являются упрощением точных методов (М. М. Канзский и А. Р. Шульман).

Точные методы основаны на положениях строительной механики, и плавающий ледяной покров рассматривается как упругая плита неограниченных размеров на упругом основании. Нужно отметить, что величина грузоподъемности ледяного покрова, подсчитанная точными методами, является все же приближенной.

Прочность льда на изгиб определяется несколькими способами: по разрушению балок, свободно лежащих на двух опорах, по разрушению консолей, либо по разрушению круговых плит.

Способы повышения несущей способности ледяного покрова

При практическом использовании ледяного покрова его грузоподъемность в естественном состоянии не всегда обеспечивает потребность. В этом случае обеспечить необходимую грузоподъемность ледяного покрова можно только путем его усиления.

Наиболее рациональным представляется усиление ледяного покрова путем намораживания дополнительного ледяного слоя. Также эффективными методами повышения несущей способности льда являются уменьшение температурного градиента, армирование и применение свай.

Моделирование основных ледовых процессов

Для моделирования ледовых процессов используются два типа моделей ледяного покрова: физико-математические и физико-статистические.

В настоящее время в России и за рубежом разработан широкий комплекс физико-математических моделей морского ледяного покрова, позволяющий рассчитывать изменения во времени и пространстве разных характеристик состояния морских льдов в разных регионах Северного и Южного полушарий Земли.

Помимо физико-математических моделей для расчета эволюции состояния морского ледяного покрова могут быть использованы физико-статистические модели, которые широко используются в ледовых расчетах и прогнозах для ледовитых морей.

Библиографический список

1. Беккер А.Т., Анохин П.В., Сабодаш О. А., Коваленко Р.Г., Уварова Т.Э., Помников Е. Е. *Экспериментальное исследование физико-механических свойств модельного льда и их влияния на абразию материала конструкции ледостойких платформ* // ГИАБ. 2014.
2. Богородский В. В. Упругие характеристики льда. – «Акустический журнал», 1958, т. 4, вып. 1, С. 19 – 23.
3. Богородский В. В. *Физические методы исследования ледников* / Богородский В. В. - Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 214 с.
4. Богородский В.В., Гаврило В.П. *Лед: Физические свойства: Современные методы гляциологии*, Гидрометеоиздат, 1980. – 384 с.
5. Бурке А.К. *Морской лед Л; Главсевморпути*, 1940. – 96 с.
6. Бычковский Н.Н., Гурьянов Ю.А. под общ. ред. Н.Н.Бычкового *Ледовые строительные площадки, дороги и переправы*, Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2005. – 260 с.

7. Войтковский К.Ф. Основы гляциологии, М, Наука, 1999. – 256 с.
8. Гольдиштейн Р. В., Осипенко Н. М. Некоторые вопросы механики прочности морского льда // Физ. мезомех., 2014;
9. Доронин Ю.П., Хейсин Д.Е., Морской лед. Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 318 с.
10. Лавров В.В. Деформация и прочность льда /Лавров В.В и др.-Л.: Гидрометеизд,1969. – 206 с.
11. Линьков Е. М. Упругие свойства льда и методы их изучения. – «Вестн. ЛГУ», 1957, № 16, серия физ. и хим., вып. 3, с. 57 – 68.
12. Линьков Е. М. Изучение упругих свойств ледяного покрова в Арктике. – «Вестн. ЛГУ», 1958, № 4, серия физ. и хим., вып. 1, – С. 138-145.
13. Патерсон У.С.Б. Физика ледников, М, Мир, 1984. – 472 с.
14. Сериков М. И. Определение модуля упругости льда резонансным методом//Проблемы Арктики, 1959 - вып. 6.
15. Смирнов В. Н. Определение упругих характеристик ледяного покрова с помощью динамических и статических методов. – «Труды ААНИИ», 1971.
16. Смирнов В.Н. Некоторые вопросы натурального исследования деформаций и напряжений в ледяном покрове: Труды ААНИИ.-Л.:Гидрометеизд,1976.
17. Смирнов В.Н., Миронов Е.У. Исследования прочности, морфометрии и динамики льда в инженерных задачах при освоении шельфа в замерзающих морях, СПб, ААНИИ, 2010.
18. И.А. Степанюк Технологии испытаний и моделирования морского льда. СПб, Гидрометеиздат, 2001. – 78 с.
19. Петров И.Г. Выбор наиболее вероятных значений механических характеристик льда: Труды ААНИИ.-Л.: Гидрометеизд, 1976.
20. П. Трюде Физика и механика льда пер. с англ. под ред. Р.В. Гольдиштейна, М, Мир, 1983. – 348 с.
21. Тышко К.П., Черепанов Н.В., Федотов В.И. Кристаллическое строение морского ледяного покрова СПб, Гидрометеиздат, 2000. – 66 с.
22. Хейсин Д.Е., Лихоманов В.А. Экспериментальное определение удельной энергии механического дробления льда при ударе. – «Проблемы Арктики и Антарктики», 1973.
23. Якименко О.В., Сиротюк В.В. Лабораторные испытания ледяных балок, армированных геосинтетическими материалами // Вестник СибАДИ. 2008.

24. Langleben M. P. *Young's modulus for sea ice*. – “*Canad. J. Phys.*”, 1962, vol. 40, N 1, p. 1 – 8.

25. Perey F. G., Pounder E. R. *Crystal orientation in ice sheets*. – “*Can. J. Phys.*”, 1958, vol. 36, N 4, p., 494 – 503.

УДК 372.862

ЭКСПЛУАТАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КАК ТРЕНД В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ОБРАЗОВАНИИ

Мищенко К.П., Тихомирова Е.А.

Научный руководитель Сагирова Л.Р.

Санкт-Петербургский горный университет

Беспилотные летательные аппараты на сегодняшний день имеют широкий спектр различных функций. Рассмотрены задачи, решаемые с помощью беспилотных летательных аппаратов в различных сферах, рассмотрена методика подготовки специально обученных кадров для эксплуатации и обслуживания дронов.

В статье рассмотрены задачи различных сфер деятельности, решаемые с привлечением беспилотных летательных аппаратов, отмечена растущая потребность работодателей в кадрах, владеющих навыками управления и обслуживания беспилотных летательных аппаратов, необходимость методического обеспечения и образовательной деятельности в этом направлении.

За последние пять лет функционал беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) существенно расширился, в то же время улучшились их характеристики, понизилась себестоимость. Относительно низкая стоимость – основное достоинство БПЛА, наряду с оперативностью выполнения поставленных задач и эргономичностью. Рассмотрим более подробно, для каких целей используются сегодня беспилотные летательные аппараты в различных сферах.

Возможность получения фото и видео высокого разрешения с мультикоптеров – дистанционно управляемых летательных аппаратов вертолетного типа, которые сегодня доступны широкому кругу лиц благодаря относительной простоте конструкции и управления, значительно облегчает мониторинг многих явлений. Особенно актуальна эта функция при обнаружении и отслеживании чрезвычайных происшествий и стихийных бедствий – лесных пожаров, наводнений, разливов нефти, а также