

**ВОЕННАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ ВОЙСК
СТРАТЕГИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
ИМЕНИ ПЕТРА ВЕЛИКОГО**

**ГУМАНИТАРНЫЙ ВЕСТНИК
ВА РВСН**

**№ 4
(октябрь-декабрь)**



**Балашиха
2016**

<i>И.К. Нарциссов, Т.В. Крютченко, Л.Н. Романова</i>	
<i>Информационные системы для самотестирования педагогов.....</i>	<i>93</i>
<i>Е.А. Останина, О.В. Останин</i>	
<i>Потенциал личности в информационном обществе.....</i>	<i>97</i>
ВОПРОСЫ СОЦИОЛОГИИ.....	102
<i>С.Н. Першуткин</i>	
<i>Новые ориентиры и инструменты профессионального образования в сфере национальной безопасности (политико-социологические размышления).....</i>	<i>102</i>
<i>Е.А. Рябошапка, С.Б. Колесников</i>	
<i>К вопросу о социологическом изучении религиозности военнослужащих.....</i>	<i>108</i>
ВОПРОСЫ ПРАВА.....	112
<i>С.В. Полищук</i>	
<i>Есть закон, который нас защищает.....</i>	<i>112</i>
<i>С.И. Фишер</i>	
<i>Право военных пенсионеров на вторую пенсию.....</i>	<i>123</i>
<i>В.А. Шагаев</i>	
<i>Основные направления реформы военного судопроизводства Российской империи (вторая половина XIX века).....</i>	<i>131</i>
ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ.....	145
<i>А.М. Белобородько, В.И. Семенова</i>	
<i>Эволюция полиморфной архитектуры финансовых институций в контексте национальной безопасности.....</i>	<i>145</i>
ВОПРОСЫ ФИЛОЛОГИИ.....	148
<i>А.А. Федоренко</i>	
<i>Риторика военных лет: речи И.В. Сталина 6-7 ноября 1941 года.....</i>	<i>148</i>
ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ.....	152
<i>Д.А. Пеньков, Л.Н. Романова, Т.Л. Шарипова</i>	
<i>Этапы проектирования экспертных систем.....</i>	<i>152</i>
<i>Л.А. Сладкова, А.В. Кузнецов</i>	
<i>Лед как объект разрушения и способы его разрушения.....</i>	<i>157</i>

Л.А. Сладкова¹, А.В. Кузнецов²

Лед как объект разрушения и способы его разрушения³

Ключевые слова: лед, модель, структура, свойства, способ, разрушение.

В статье рассмотрены условия образования гололедных явлений. Модель льда позволяет представить его как упруго-пластическое тело, которое должно подчиняться законам прочности и деформации, т.е. разработке рабочими органами машин для содержания дорог в зимнее время.

L.A. Sladkova, A.V. Kuznetsov

Ice as an object of destruction and method of destruction

Key words: ice, model, structure, properties, way, destruction.

The article considers the conditions of formation of ice phenomena. Model ice allows to present it as an elastic-plastic body, which must obey the laws of strength and deformation, i.e. the development of working bodies of machines for maintenance of roads in winter.

По обилию снега Россия занимает одно из первых мест в мире. Согласно данным метеостатистики, приведенным на сайте <http://thermo.karelia.ru/> для метеоусловий Москвы число месяцев году с отрицательной среднемесячной температурой составляет пять, (табл.1.2). Представленные в таблице данные охватывают промежуток времени с 1948 по 1995 год. В Москве по вышеупомянутым статистическим данным среднегодовое количество осадков составляет 669 мм, причем на зимнее время приходится около 19,7% от этого количества. Количество осадков в осенний, летний и весенний периоды составляют соответственно 18,8%, 35,6% и 26% от среднегодовых.

Снежный покров, в зависимости от его высоты и состояния может представлять опасность для транспорта. На территории России снежный покров держится до 200 дней в северных районах, в южных областях этот период может составлять несколько дней. Наличие снега на проезжей части высотой в 3-5 см уже вызывает необходимость уменьшения скорости движения транспорта, а при высоте свыше 25 см движение становится невозможным. К созданию снежного наката со скользкой поверхностью приводит уплотнение снега колесами движущихся автомобилей. Основным способом борьбы с наледью и снежным накатом является снегоочистка – один из наиболее распространенных видов работ по зимнему содержанию дорог, но в то же время трудоемкий и дорогостоящий.

По различным данным до 15,70% случаев ДТП на автомобильном транспорте в зимний период обусловлены или сопровождаются гололедными явле-

¹ Сладкова Любовь Александровна. – Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого. Доктор технических наук, профессор.

Sladkova Lyubov Aleksandrovna – Peter the Great Strategic Missile Troops Academy. PhD in Engineering, Professor.

² Кузнецов А.В. – аспирант. Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II. Kuznetsov A.V. – postgraduate student. Moscow state transport University of Emperor Nicholas II.

³ Сладкова Л.А., Кузнецов А.В. Лед как объект разрушения и способы его разрушения // Гуманитарный вестник ВА РВСН. 2016. № 4. С. 157-164.

ниями, создающими опасность при перемещении по ним пешеходов и транспортных средств. В приложении к постановлению Правительства Москвы от 27 ноября 2001 г. № 1063-ПП приводятся данные, согласно которым, среднее количество дней в году с гололедными явлениями для г. Москвы составляет 51 день. При возникновении скользкости коэффициент сцепления шин с поверхностью дороги уменьшается до 0,08-0,15, что приводит к резкому снижению безопасности движения. Исходя из сказанного, разработка способа, позволяющего устранить гололед, не теряет своей актуальности не только в России, но и во всем мире. На наш взгляд из известных способов наиболее рациональным является механический, так как использование различных реагентов оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду, транспортные средства, людей.

Создание рабочего органа машины для борьбы с гололедицей требует изучения свойств льда как объекта взаимодействия его с рабочим органом.

Гололед – слой льда, образующийся в результате выпадения дождя или мороси, образуется на любых предметах и на поверхности земли, как при отрицательных температурах воздуха, так и при температуре воздуха до (+3° С) при выпадении на покрытие с отрицательной температурой. В 95% случаев появление гололеда происходит при температуре воздуха, приближающейся к 0° С, и относительной влажности воздуха от 80 до 100%. Лёд представляет из себя ни что иное, как воду, перешедшую из жидкого состояния в твердое. Аморфная структура гололеда объясняется тем, что процесс замерзания переохлажденной воды несколько задерживается выделяющейся при этом скрытой теплотой льдообразования. Вследствие этого капли, прежде чем замерзнуть, успевают растечься по предмету, образуя сплошной покров льда.

Степень интенсивности наземного обледенения принято характеризовать общей толщиной льда, которая создается за определенный промежуток времени (см. табл.1.1).

Таблица 1.1

Характеристики интенсивности наземного обледенения

Характеристика	Тип обледенения		
	Гололед	Изморозь	Обледенелый мокрый снег
Слабый	1-5 мм	1-49 мм	1-10 мм
Умеренный	6-19 мм	>50 мм	11-34 мм
Сильный	>20 мм	-	>35 мм

Лёд представляет из себя ни что иное, как воду, перешедшую из жидкого состояния в твердое. Вода – это химическое соединение одних из наиболее распространенных газов в атмосфере Земли: кислорода и водорода H₂O. Несмотря на кажущуюся простоту этого вещества, и повседневного столкновения человека с водой, о ней известно очень мало. Это справедливо для всех состояний воды: твердого, жидкого, газообразного. Этим вопросом занимались исследовате-

ли стран с высокоразвитыми технологиями: Японии, Австралии, США, России. Трудность решения этого вопроса, как правило, приводила к тому, что исследователи прекращали свои изыскания. В современных научно-технических и публицистических источниках [1, 2, 3, 4] основываясь на результатах анализа спектра инфракрасного поглощения, рентгеновских и электронно-микроскопических исследований и многих других методах, выявлено, что молекула воды представляет собой два атома водорода, удаленных от атома кислорода на $0,96 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ см}$), причем располагаются от него в направлениях, образующих между собой 105° .

Таблица 1.2

Статистические данные по климатическим условиям г. Москвы

Месяц	Температура, °С		
	Минимальная	Среднемесячная	Максимальная
январь	-38.1	-8.7	+5.6
февраль	-35.2	-7.9	+8.3
март	-27.9	-2.5	+16.9
апрель	-18.8	+5.8	+28.0
май	-5.0	+12.8	+31.6
июнь	+0.8	+16.8	+33.0
июль	+5.1	+18.2	+35.0
август	+2.1	+16.5	+34.8
сентябрь	-5.2	+11.0	+29.4
октябрь	-16.1	+4.9	+23.6
ноябрь	-23.3	-1.7	+12.5
декабрь	-38.0	-5.9	+8.1

Кристаллическая структура льда была открыта после открытия рентгеновских лучей учеными Брэггом и Барнзом (1920 г.). Четырехугольники, образующие кристаллическую структуру льда, представляют собой почти идеальные тетраэдры, поэтому угол между водородными связями равен 109° . При возникновении структуры льда угол между бугорками в молекулах воды увеличивается на 4° по сравнению с углом в молекуле воды. Бернал и Фаулер установили, что расположенность протонов в кристаллах льда не упорядочено и может каким угодно, что свидетельствует о льде как об аморфном теле.

Для механиков лед представляет увлекательный объект исследований, как модельный материал с регулируемой структурой и различными свойствами, которые изменяются в зависимости от температуры, состава воды и условий

нагрузки. При изменении этих параметров лед может иметь либо упругие, либо реологические свойства. К числу наиболее важных проблем механики и физики льда относится изучение его физико-механических свойств и разработка моделей разрушения и деформации льда. Например, «свежезамороженный лед имеет коэффициент отскока, равный 0,85, что выше, чем у бильярдных шаров и стали, но истечение времени продолжительностью трое суток этот же лед рассыпается в пыль как канифоль. Вот почему, многие исследователи льда [5] предлагали в качестве модели льда выбирать этот материал.

Задача изучения физико-механических свойств льда с целью его последующего разрушения представляет интерес для различных отраслей народного хозяйства и на сегодняшний день не теряет своей актуальности. Это обусловлено ростом потребности в добыче полезных ископаемых в северных морях и районах залегания многолетнемерзлых грунтов, развитием транспортных связей в бассейнах северных рек, строительством гидротехнических и специальных сооружений.

Лед [6] обладает двенадцатью различными кристаллическими структурами и двумя аморфными состояниями. Существует два весьма близких варианта:

- гексагональный «лед Ih» (кристаллы симметрии отражены в снежинках).

Лед Ih (см. рис 1.1) получают заморозкой воды, а лед Ic получают отложением пара при температурах около -130°C .

- кубический «лед Ic».

Аморфный лед может быть получен при отложении пара при еще более низких температурах и сжатием льда Ih при температуре жидкого азота. В дополнение к элементарным фазам существуют клатратные гидраты (кристаллические структуры, состоящие из больших клеток воды (H_2O), в которых, например, заключены Xe, Ar или CH_4). Заметим, что клатраты представляют интерес, как обильные источники природного газа.

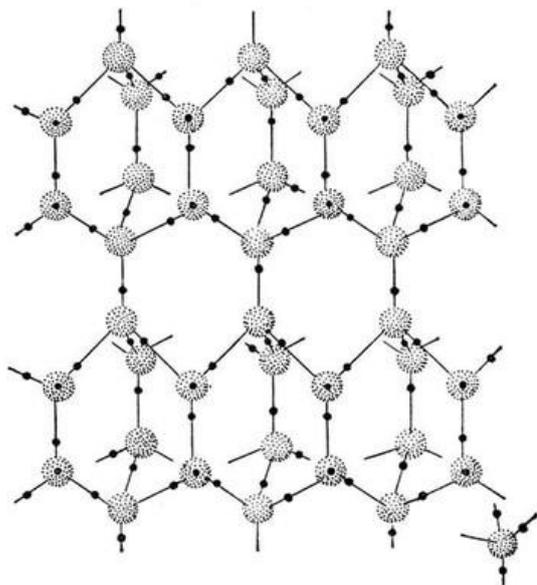


Рис. 1.1. Кристаллическая структура льда Ih

Принято считать, что лед Ih представляет собой обычную форму земного льда. Атом кислорода каждой молекулы жестко соединен ковалентными связя-

ми с двумя атомами водорода. В свою очередь, молекулы воды имеют слабую водородную связь друг с другом. У каждой молекулы H₂O есть четыре ближайших соседа, расположенные около вершин правильного тетраэдра, центрированного около интересующей молекулы.

По всей вероятности, свойства льда определяются параметрами кристаллической решетки, которые характерны для точки таяния (см. рис 1.2) $a = 0,4523$ нм и $c = 0,7367$ нм. Здесь отношение $c/a = 0,7367/0,4523 = 1,628$, что очень близко к золотому отношению (1.633) и не зависит от температуры [7]. При этом элементарная ячейка льда Ih имеет коэффициент плотности упаковки менее 0.34, что объясняет, почему обычный лед имеет меньшую объемную массу, чем вода.

Микроструктура естественного льдообразования зависит от его термально-механических условий. Размер зерна обычно колеблется от 1 мм до 20 мм, а его форма изменяется от соосной до вытянутой.

Кристаллизованный лед образуется через спекание снега под давлением и часто характеризуется равноосными, произвольно ориентированными зёрнами вблизи верхней части. С изменением толщины снежно-ледяного покрова, особенно в пластах, которые спускаются с гор под действием гравитационных сил, деформации ползучести могут сопровождаться динамической рекристаллизацией и развитием текстуры, что ведет к тому, что микроструктура льда становится сложной.

Вязкий характер льда характеризуется средней анизотропией. При температурах близких к точке таяния, модуль Юнга отдельных кристаллов отличается почти на 30% и может изменяться от 12 ГПа вдоль наименее податливого направления до 8,6 ГПа вдоль наиболее податливого направления. Для произвольно ориентированных поликристаллов, типичные значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона – 9,0 МПа и 0,33 при -5°C. Ниже в таблице 1.3 приведем основные физико-механические свойства льда, которые рекомендуется авторами использовать для практических расчетов.

Таблица 1.3

Физико-механические характеристики льда [58]

Параметр	Значение
Плотность, кг/м ³	910,0
Модуль Юнга, Па	$5,00 \cdot 10^9$
Модуль упрочнения, Па	$0,67 \cdot 10^9$
Модуль сдвига, Па	$1,87 \cdot 10^9$
Модуль объемного сжатия, Па	$5,20 \cdot 10^9$
Предел текучести, Па	$2,50 \cdot 10^6$
Предел прочности на сжатие, Па	$4,80 \cdot 10^6$
Предел прочности на растяжение, Па	$1,20 \cdot 10^6$
Коэффициент Пуассона	0,34
Деформация разрушения	0,012

Хотя, на наш взгляд приведенные в таблице 1.3 параметры, должны быть переменными, зависящими от скорости деформации льда и времени, в течение которого лед находился без воздействия внешних усилий.

Обычный лед, встречающийся в природе, относится к гексагональной кристаллической системе [9].

Наше незнание закономерностей поведения льда в процессе его разрушения фундаментально. Академик А.Ю. Ишлинский констатирует, что нередко гигантские ледяные поля оказываются очень быстро разбитыми системами трещин на блоки даже при ветровых нагрузках. Вопрос механизма этого явления, возможности его воспроизводства остаются загадкой. На прочность льда оказывают сильное влияние внешние условия – характер нагрузок, тепловой режим, агрессивность окружающей среды, поверхностные эффекты и т.д. [10]. Вследствие многообразия факторов, определяющих физические свойства льда, данные по его прочностным характеристикам, полученные исследователями многих стран по результатам многих тысяч экспериментов за предшествующие 100 лет, имеют большой диапазон значений. Например, прочность на сжатие по материалам различных исследований изменяется примерно от $4 \cdot 10^5$ до $130 \cdot 10^5$ Па и более, а прочность на изгиб – от $3 \cdot 10^5$ до $30 \cdot 10^5$ Па [2]. Это объясняется, вероятно, структурой льда. Структурные связи в решетке льда вследствие различной прочности под воздействием нагрузок нарушаются неодинаково по различным кристаллооптическим направлениям, т.е. проявляется анизотропия механических свойств [11]. Анизотропия монокристалла весьма сильно сказывается на механическом поведении поликристаллического льда. Исследователями установлено, что структура льда играет существенную роль при действии нагрузок.

Различают типы структур льда: зернистую (к ней относят подземные и замороженные льды), столбчатую (кристаллы с вертикальным строением), и линейную (направление кристаллов горизонтальное). Две последние структуры присущи речному льду. Это подтверждается экспериментами на одноосное сжатие [11].

Прочность льда зависит от температуры. При понижении температуры понижается подвижность атомов водорода, и связь между отдельными кристаллами увеличивается. Изменение свойств льда в зависимости от температуры также обусловлено содержанием в нем жидкой фазы. С повышением температуры во льду увеличивается содержание жидкой фазы, что способствует уменьшению его прочности и более интенсивному проявлению пластических свойств. Следует отметить, что при плавлении льда не происходит сразу полного разрушения кристаллической решетки. Разрывается лишь небольшое количество межмолекулярных связей; при 0°C число таких разрушенных связей составляет около 15%. Остальные молекулы сохраняют подобную кристаллу структуру внутри небольших областей.

Целью анализа многообразия технических средств, предназначенных для разрушения льда является выделение основных, которые наиболее полно характеризуют способность технических решений соответствовать определенно-

му кругу задач. Предлагаемая классификация рассматриваемых средств проведена на основе объединения технических решений в группы по способу воздействия на разрушаемый лёд приведена ниже:

термический, заключающийся в тепловом воздействии на лед (радиационный, естественный и искусственный обогрев, растапливание льда паром, воздухом или горячей водой, газотермический), отличается низкой культурой производства, низкой производительностью и высокой стоимостью работ;

химический, основанный на свойстве некоторых химических соединений образовывать со льдом смеси, имеющие более низкую температуру плавления (эвтектическую), чем их исходные составляющие. Недостатком этого метода является коррозия ходовой части и металлических частей машин, вызванная окисляющим действием химикатов. Применение антикоррозионных средств не получило широкого распространения из-за высокой стоимости применяемых ингибиторов.

электрофизический основанный на применении высокочастотных магнитных полей (ультразвук, радиации, лазеров и пр.) в настоящее время дальнейшее исследование не продвинулось;

акустический используется для определения риска быстрого сдвига в активных зонах ледника;

взрывной, когда большая часть энергии мощного взрыва тратится на дробление сравнительно небольшого объема льда на малые (и мельчайшие) осколки за счет использования взрывчатого вещества с наибольшим временем детонации;

механический основан на механическом разрушении льда при использовании ледорезных машин и механизированного инструмента с различными рабочими органами (пильные цепи, бары, буры, диски, пилы, ударники, взламывающие средства). По принципу действия они бывают динамического и статического действия.

Установлено, что в качестве интенсификации способов разрушения грунта используются силы гравитации, пневмо- и гидроустановки, вибрация, баллистики, разрежение. Все предлагаемые интенсификаторы отличаются сложностью конструкции, высокой стоимостью изготовления и обслуживания.

Вывод:

Анализ научно-технической литературы, проведенный по материалам отечественных и зарубежных исследователей (Япония, Австралия, США, страны Скандинавии) показал, что лед, как объект разработки – это сложная кристаллическая структура, представляющая собой почти идеальные тетраэдры, в которых угол между водородными связями равен 109° . Протоны в кристаллах льда расположены, не упорядочено, что свидетельствует о льде как об аморфном теле. Лед, как модельный материал имеет регулируемую структуру и обладает различными свойствами, которые изменяются в зависимости от температуры, состава воды и условий нагружения. При изменении этих параметров лед может иметь либо упругие, либо пластические свойства, т.е. его

можно рассматривать как объект разрушения с точки зрения напряженно-деформированного состояния.

Литература

1. Barnes H.T. Ice Engineering, Renouf, Montreal, 1928.
2. Legget R.F. The Bearing Strength of Ice, Trans. Eng. Inst. Canada, 2, 97, 1958.
3. Bernal J.D., Fovler R.H. A theory of water and ionic solution, with particular reference to hydrogen hydroxyl ions/ J. Chem. Phys., 1, № 8, 515? 1933.
4. Kry, P.R., "A Statistical Prediction of Effective Ice Crushing Stresses on Wide Structures" Proceedings IAHN Ice Symposium, Luleå, Sweden, 1978.
5. Цытович Н.А. Механика грунтов. М.: Высшая школа, 1968.
6. Маэно Н. Наука о льде. М.: Мир, 1988. – 231 с.
7. Белянин В.С., Романова Е. Жизнь, молекула воды и золотая пропорция // Наука и жизнь. 2004. №10. С. 2-9.
8. Богородский В.В., Таврило В.П., Недошивин О.А. Разрушение льда. Методы, технические средства. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
9. Зацепина Г.Н. Свойства и структура воды. М.: Изд-во МГУ, 1974, 166 с.
10. Wyman M., Canad. J. Res., A28, 293, 1950.
11. Mantis H.T. Review of the properties of snow and ice. SIPRE, Report 4, 1951.