

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Ковалева Сергея Михайловича на тему: «Определение прочности льда при сжатии в натуральных условиях с помощью скважинного зонд-индентора», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

**Актуальность темы диссертации.** Разработка нового оборудования и методики определения прочности льда без извлечения блоков льда на поверхность и изготовления специальных образцов для проведения натуральных испытаний весьма актуальна, так как она позволяет минимизировать влияние условий проведения испытаний на изучаемые характеристики льда, а также дает возможность проведения более масштабных, детальных и экономичных исследований локальной прочности как по глубине, так и по площади ледяного покрова. В России данная методика разрабатывается только с начала 21 столетия и еще находится в стадии усовершенствования; и при этом опережает известные мировые аналоги.

**Новизна предложенных технических решений** задачи определения прочностных характеристик льда подтверждается наличием шести патентов на изобретения. Она касается как усовершенствования самого скважинного зонд-индентора, так и проведения методики испытаний.

**Значимость для науки и практики полученных автором результатов.** Разработка новой методики безобразцового определения локальной прочности льда имеет большое практическое значение для оперативного отслеживания изменения – как во времени, так и в пространстве – прочностных характеристик льда при изменяющихся погодных и иных условиях его функционирования, что очень важно для проектирования и мониторинга безопасности оффшорных сооружений. С научной точки зрения данная методика представляет ценность, так как дает возможность более масштабного и детального (по сравнению с предшествующими аналогами) экспериментального исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения льда в различных условиях. С ее помощью, в частности, проведен анализ и уточнение эмпирических зависимостей локальной прочности льда от температуры и объема жидкой фазы льда, а также изучено влияние направления движения индентора на указанную прочность.

Работоспособность оборудования и предложенной методики подтверждается тем, что они уже использовались и продолжают использоваться в многочисленных экспедициях; с их помощью были составлены временные локальные технические условия по морским льдам и ледяным образованиям, выполнено проектирование трубопроводов по дну Байдарацкой губы и пролива Невельского, мостового перехода через реку Обь в районе города Салехард, причала в Анадырском морском порту и др.

**Оценка содержания и оформления диссертации.** Работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложена на 86 страницах. Список литературы содержит 68 наименований.

Во введении дается краткая характеристика работы, описываются цель и задачи исследования.

Первая глава знакомит читателя с техническими характеристиками и принципами работы скважинных зонд-инденторов трех поколений и облегченным вариантом комплекса для экспресс-тестов, используемых в лаборатории физики льда Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) для определения локальной прочности льда, а также со стандартной методикой определения прочности льда при одноосном сжатии. Описана методика определения локальной прочности льда при сжатии в скважинах зонд-индентором, а также методики определения температуры, солёности и плотности льда.

Во второй главе приводятся результаты натуральных экспериментов и наблюдений, полученных в многочисленных экспедициях на замерзшие моря России в течение 2001–2019 гг. Описываются условия формирования и жизни ледяных массивов и их влияние на характеристики льда в различные сезоны.

В третьей главе проводится анализ результатов экспериментальных исследований и определяются коэффициенты эмпирических зависимостей локальной прочности льда от температуры, солёности, объема жидкой фазы, направления внедрения индентора относительно главной оптической оси и скорости его внедрения, а также связь между локальной прочностью льда и его прочностью при одноосном сжатии. Определяются размеры зон деформированного и разрушенного льда.

В заключении приведены основные результаты работы.

Несомненно, проведен большой объем трудоемких и практически важных исследований. При разработке оборудования для испытаний представляется весьма удачным техническим решением проектирование опорной плиты индентора достаточно больших размеров – по сравнению с зарубежным аналогом – для обеспечения большей устойчивости самого комплекса и надежности получаемых данных. При сопоставлении авторских данных с зависимостями локальной прочности льда от объема жидкой фазы, полученных Спенсером и Моррисоном, сделан важный вывод о том, что объединение данных для различных типов льда является одной из причин низкого коэффициента корреляции. Получен интересный вывод о том, что несмотря на сильную анизотропию прочности льда при одноосном сжатии его локальная прочность при различных направлениях внедрения индентора изменяется не столь сильно. Конечно, в большей степени все достоинства данной работы могли бы оценить представители технических наук.

Имеется ряд **замечаний и пожеланий**.

В диссертации на соискание степени кандидата физико-математических наук желательно было бы привести некоторый критический обзор работ по математическому моделированию механического поведения льда и возможности (или ограниченности) его практического применения. Представленный обзор работ в области экспериментальных исследований прочности льда весьма ограничен. Список литературы содержит всего 20 наименований работ других авторов. Из современных зарубежных работ за последние 5 лет упомянута только одна статья [54]. Стоило бы осветить и исследования механического поведения льда, проводимые в Российских институтах, например, Крыловском научном центре, Институте проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, ЦАГИ имени профессора Н.Е. Жуковского, ДВФУ и др.

В описании процедуры измерения плотности льда не понятно, зачем проводить измерения диаметра и высоты цилиндрических образцов льда с точностью до 0.1 мм, если, судя по фотографии на рис. 1.23, их поверхность имеет неровности более 1 мм.

Данные на рис. 2.18 и 2.10 могли бы быть лучше аппроксимированы квадратичной зависимостью – стоило бы это сделать для всех данных, касающихся связи локальной прочности льда и температуры, а не только для рис. 3.1, где линейная аппроксимация действительно не сильно отличается от квадратичной.

Трудно согласиться с модельной зависимостью локальной прочности льда от солености и температуры, проиллюстрированной на рис. 3.6. Во-первых, не сказано, каким образом построена функция, линии уровня которой изображены на этом рисунке. Во-вторых, кажется неправдоподобным, чтобы прочность льда могла достигать значений 30 и даже 38 МПа при температуре всего лишь  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Не ясно описаны параметры  $r_0$ ,  $r_1$  и  $r_c$  – «расстояния до зон смятия, радиальных трещин и упругого деформирования». Разве расстояние – от поверхности индентора – до зоны смятия не равно нулю? Или имеется в виду расстояние от чего-то другого? Не четко описан параметр  $\sigma_i$  – «напряжение, создаваемое зондом», или «напряжения во льду при внедрении индентора», – входящий в формулы (3.6)–(3.10). Если, согласно рис. 1.17, напряжение во льду при внедрении индентора изменяется от нуля до максимума, который на данном рис. превышает 20 МПа, то какое именно значение «напряжения во льду при внедрении индентора» имеется в виду?

Представляется маловероятной возможность «разработки универсального коэффициента» для надежной связи локальной прочности с прочностью образцов льда при одноосном сжатии. Можно предположить, что необходимо, во-первых, четко зафиксировать стандарты проведения испытаний для определения характеристик, между которыми ищется связь (чтобы исключить влияние условий проведения эксперимента, например, размера, направления и скорости внедрения индентора), во-вторых, сначала проводить сопоставление изучаемых характеристик для льда с разными структурами пористости, а не смешивать данные для всех типов льда в один массив. (Сопоставление результатов для льда разных классов – это уже следующий этап исследования.)

В выносимом на защиту положении о том, что «предложена зависимость прочности льда при сжатии в натуральных условиях от скорости внедрения индентора» лучше уточнить, что имеется в виду специально определенная локальная прочность, так как объективная характеристика не должна зависеть от способа проведения испытаний.

Представленные замечания не снижают ценности работы.

Диссертация Ковалева Сергея Михайловича на тему: «Определение прочности льда при сжатии в натуральных условиях с помощью скважинного зонд-индентора» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Ковалев Сергей Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета  
Доктор физ.-мат. наук, доцент, профессор

Пронина Юлия Григорьевна

28.01.2021

Личную подпись заверяю  
Н.С. ПРОНИНА  
НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ №3  
Семья С.М. Ковалева

Текст документа размещен  
в открытом доступе  
на сайте СПбГУ по адресу  
<http://spbu.ru/science/expert.html>

