

## 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**

Большая часть Российской Федерации находится в зоне образования ледяного покрова в зимний период, поэтому вопросы, связанные с взаимодействием ледяных образований и объектов гражданской инфраструктуры являются крайне важными. Ни один год не обходится без того, чтобы при движении ледяных масс не были разрушены какие либо объекты, например, опоры мостов. Проблема становится еще более актуальной для объектов, построенных на морских просторах, поскольку их разрушение является более катастрофичным. Для того, чтобы предсказывать возможные последствия, необходимо понимать процессы, происходящие при механическом нагружении и разрушении льда. В связи с этим, тема диссертационной работы Ковалева С.М., посвященной определению локальной прочности льда при сжатии в реальных условиях, является очень важной и актуальной.

**Новизна полученных результатов** заключается в том, что впервые проведено исследование прочности льда *in situ* при сжатии в реальных условиях. Разработана принципиально новая методика, позволяющая исследовать прочностные характеристики ледового покрова на разной глубине и площади. Разработанная методика позволила установить новые закономерности, а именно: определить влияние скорости внедрения индентора на локальную прочность льда; установить зависимость локальной прочности льда и стадий разрушения от ориентации индентора по направлению к главной оптической оси волокнистых кристаллов льда. На основе полученных новых данных предложены линейная и квадратичная аппроксимации влияния температуры льда на его локальную прочность и зависимость локальной прочности льда от объема жидкой фазы.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается многочисленными данными экспериментов, статистической обработкой полученных данных и согласием с экспериментами, выполненными другими учеными. Разработанная методика оценки локальной прочности льда внесена в международные и отечественные нормативные документы.

**Значимость для науки и практики полученных автором результатов.** Теоретическая значимость полученных результатов, в первую очередь, связана с тем, что позволяет получить данные о распределении локальной прочности льда по глубине и площади ледяного покрова. Это позволяет сопоставить данные о локальной прочности и

особенностях разрушения льда с его структурой на различных глубинах, температурой, соленостью и пористостью, что будет являться основной для разработки моделей расчета механического поведения и разрушения ледяного покрова. Практическая ценность результатов работы не представляет сомнения, поскольку выполненные исследования позволяют определить условия разрушения льда, при которых объекты гражданской инфраструктуры могут быть повреждены или разрушены. В работе показано, что ее результаты были использованы для составления временных локальных технических условий по морским льдам и ледяным образованиям в районе месторождения имени В.Филановского в Каспийском море; при проектировании и строительстве трубопроводов по дну Байдарацкой губы и пролива Невельского; при проектировании мостового перехода через реку Обь в районе города Салехард; при проектировании причала в Анадырском морском порту.

### **Оценка содержания и оформления диссертации.**

Работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложена на 86 страницах. Список литературы содержит 68 наименований.

Во введении представлена актуальность работы, описываются цель и задачи исследования, степень разработанности, достоверности, научной и практической значимости исследования, положения, выносимые на защиту, и личный вклад автора.

Первая глава посвящена описанию разработки системы «Скважинный зонд-индентор» и методики определения локальной прочности льда. Показана эволюция данной методики и самой экспериментальной системы, указаны достоинства и недостатки, той или иной модификации устройства. Описаны методики измерения локальной прочности льда *in situ*, с использованием разработанной системы «Скважинный зонд-индентор» и методики определения прочности льда на одноосное сжатие в лабораторных условиях.

Во второй главе описывается структура и локальная прочность льда на различных площадках, на которых проводили исследования: в северо-западной и северо-восточной частях Каспийского моря, в Байдарацкой губе (Карское море), Анадырском лимане (Берингово море), проливе Невельского (остров Сахалин), «Ледовой базе Мыс Баранова» (Море Лаптевых), в Баренцевом море, Центральной Арктике. Представлен большой объем экспериментальных данных, который позволил установить связь структуры льда с его температурой и соленостью, а также с локальной прочностью. Показана зависимость локальной прочности от температуры льда. Представлены карты распределения локальной прочности льда по глубине и площади ледяного покрова.

В третьей главе проведен статистический анализ данных о локальной прочности льда и показано, что вне зависимости от географического места образования льда, его локальная прочность одинаковым образом зависит от температуры и солености льда. На основе полученных данных представлены линейная и квадратичная зависимости прочности льда от его температуры. Проведено сравнение с данными, полученными

другими авторами. Предложено физическое объяснение расхождения представленных аппроксимационных кривых и экспериментальных данных при высоких температурах и указано, что это может быть связано с тем, что не учитывается пористость льда, доля которой при высокой температуре очень высока. Представлена линейная зависимость между локальной прочностью льда и квадратным корнем из объемной доли жидкой фазы. Исследованы особенности разрушения льда при внедрении индентора, описаны зоны разрушения и их структура в зависимости от ориентации индентора по отношению к главной оптической оси волокнистых кристаллов льда. Показано, что в случае разрушения вдоль оси, зоны полного и преобладающего разрушения больше, чем в случае разрушения перпендикулярно этой оси. Установлено, что зоны разрушения несимметричны в случае, если индентор внедряли под углом 45 градусов к С-оси. Представлен анализ размеров зон деформирования и разрушения льда и теоретически обоснован размер шага, с которым необходимо проводить исследование распределения локальной прочности льда по поверхности ледяного покрова. Исследовано влияние скорости внедрения индентора на локальную прочность льда. Полученные результаты показали, что увеличение скорости внедрения приводит к возрастанию значения локальной прочности льда и связь между этими величинами может быть описана квадратичной зависимостью. Проведено сравнение локальной прочности льда, определенной *in situ* при сжатии в скважине, и прочностью льда при одноосном сжатии в лабораторных условиях. Показано, что эти величины отличаются в среднем в 4,6 раза, что хорошо согласуется с данными, полученными другими авторами.

В заключении приведены основные результаты работы.

Работа оформлена в соответствии с требуемыми стандартами.

По тексту диссертации имеются следующие замечания:

1. В многочисленных таблицах, представленных во второй главе, локальная прочность льда указана с точностью до сотых, вместе с тем величина стандартного отклонения измеряемой величины составляет единицы МПа. В связи с этим возникает вопрос о значимости цифр после запятой в локальной прочности льда. Так, например, в таблице 2.2. локальная прочность льда в 2008 году указана как 12,32 МПа, а отклонение как 4,32 МПа.

2. Несмотря на то, что работа является пионерской и не имеет аналогов, необходимо было сделать обзор работ, предшествующих данной работе, хотя бы работ Синха, Спенсера и Моррисона, результаты которых упоминаются в тексте диссертации.

3. В работе установлено влияние скорости внедрения на локальную прочность льда, однако не обсуждаются физические механизмы, которые могли бы быть ответственными за это влияние.

4. В тексте используются разные единицы измерения для одних и тех же величин. Так, в некоторых местах диаметр бура указан в см, а в других – в мм.

5. Некоторые абзацы состоят из одного предложения.

Сделанные замечания не снижают практической и теоретической значимости диссертационной 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 физико-математических наук,  
профессор кафедры общей  
математики и информатики

*Ресина*

Ресина Наталья Николаевна

31.01.2021

Личную подпись заверяю  
И.И. Ресина  
И.О. Начальника отдела кадров  
Ресина Наталья Николаевна  
01.02.2021

