

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.

Общая характеристика работы. В диссертации описана разработанная при активном участии автора новая методика экспериментального определения прочности льда при сжатии в натуральных условиях, а также необходимое для нее оборудование. Приведены определенные по данной методике прочностные характеристики льда для замерзающих морей России. Исследована зависимость локальной прочности от температуры льда, объема жидкой фазы и от направления и скорости внедрения индентора.

Актуальность работы. Традиционный метод определения механических свойств льда путем изучения прочности при одноосном сжатии образцов, выбуренных параллельно поверхности намерзания льда, обладает рядом существенных недостатков. Прежде всего – это значительное время необходимое для получения результатов измерений. В связи с этим безобразцовый методика определения прочности льда при сжатии в скважинах с помощью зонд-индентора, представляется весьма перспективной, а посвященная ей диссертационная работа С. М. Ковалева несомненно является актуальной.

Научная новизна. Новой является как сама методика определения прочности льда, так и полученные с ее помощью многочисленные экспериментальные результаты. На основании этих результатов выведены формулы, позволяющие найти локальную прочность льда при различной температуре и объеме жидкой фазы. По-видимому, впервые изучена анизотропия локальной прочности льда и зависимость результатов измерений от скорости внедрения индентора. Найдено отношение локальной прочности к прочности льда при одноосном сжатии, полученной по традиционной методике.

Теоретическая и практическая значимость. Предложенная автором методика определения прочности льда и полученные с ее помощью многочисленные результаты экспериментов вносят существенный вклад в исследования полномасштабной прочности льда на сжатие, изменчивости локальной прочности участка ледяного покрова, снижения прочности морского льда в зимне-весенний период при повышении температуры.

Результаты таких исследований, необходимы при проектировании и строительстве морских стационарных платформ, мостов, трубопроводов, причалов и других инженерных сооружений, подвергающихся воздействию ледовой нагрузки. Прочности льда уделяется особое внимание в связи с возросшими задачами проектирования и строительства инженерных сооружений на арктическом шельфе. Возможности скважинного зонд-индентора позволяют существенно улучшить точность вычислений ледовых нагрузок на сооружение, а также сравнивать свойства льда в различных регионах.

Степень достоверности и апробация результатов. Представленные в диссертации методика и оборудование для определения прочности льда при сжатии в натуральных условиях безобразцовым способом с помощью скважинного зонд-индентора прошли проверку в многочисленных экспедициях. Они внесены в международные и отечественные нормативные документы и продолжают использоваться на научно-исследовательском стационаре «Ледовая база Мыс Баранова» (архипелаг Северная Земля), базе «Хастыр» в Хатангском заливе моря Лаптевых и в международной экспедиции «MOSAiC» в центральной Арктике.

Результаты работы представлены в 5-ти монографиях. Они содержатся в 16-ти статьях, опубликованных в отечественных и иностранных журналах, 15-ти докладах на российских и международных конференциях и 6-ти патентах на изобретения.

Структура, объем и содержание работы. Диссертация состоит из введения, 3 глав и списка литературы. Текст диссертации изложен на 86 страницах, список литературы включает 68 наименований.

В первой главе диссертации описан оригинальный метод определения прочности ледяных образований в натуральных условиях, основанный на измерении напряжения при внедрении индентора в стенку скважины с разрушением льда.

В 2000–2005 годах для определения локальной прочности льда в скважине использовался гидравлический зонд первого поколения, в котором давление в гидросистеме создавалось с помощью ручного насоса. Недостатками такой конструкции зонда были неравномерное движение индентора и малая (1мм/с) скорость его выдвигения. В 2006 году был разработан и изготовлен скважинный зонд-индентор второго поколения. Давление в его гидросистеме изменялось с помощью гидростанции, работающей от трехфазного генератора. Это позволило увеличить диаметр индентора и скорость его выдвигения до 4,3 мм/с. В 2012 году был создан зонд-индентор третьего поколения, снабженный датчиком перемещения индентора и позволяющий задавать скорость его выдвигения. Приведены технические характеристики комплекса для проведения испытаний локальной прочности льда в натуральных условиях и на образцах. Подробно описана методика определения прочности льда в скважине, а также его температуры, солености и плотности.

Вторая глава содержит сведения о локальной прочности льда морей России: Каспийского, Карского, Берингового, Лаптевых, Баренцевого, а также пролива Невельского и центральной Арктики. Многочисленные статистически обработанные результаты измерений локальной прочности льда в разные периоды времени приведены в 13-ти таблицах. Неоднородность полученных средних по толщине значений на разных полигонах показана на многочисленных рисунках. В главе приведена масса сведений о строении льда, его температуре, солености и объеме жидкой фазы.

В третьей главе проведен анализ полученных значений локальной прочности. Одним из самых значимых факторов для локальной прочности является температура льда. На основании большого количества экспериментальных данных найдены их линейная и квадратичная аппроксимации, которые хорошо согласуются со средними значениями локальной прочности, полученными в различных экспедициях.

Локальная прочность льда помимо температуры зависит и от других физических параметров, таких как соленость и плотность. Объем жидкой фазы, содержащейся во льду, характеризует одновременно температуру и соленость. Для экспериментальных значений локальной прочности найдена линейная аппроксимация от корня из объема жидкой фазы. Аналогичная аппроксимация, предложена в 2015 году Спенсером и Моррисоном. Значения локальной прочности, полученные по зависимости Спенсера и Моррисона, хуже согласуются со средними значениями локальной прочности.

Проведен анализ характера разрушений анизотропных волокнистых структур льда при воздействии индентора под углом к направлению главной оптической оси. Получена экспериментальная зависимость локальной прочности от направления внедрения индентора и квадратичная аппроксимация для нее. Проанализировано изменение локальной прочности льда в зависимости от скорости внедрения индентора и найдена квадратичная аппроксимация полученных значений.

На основании результатов работы Мастерсона определено расстояние между соседними измерениями локальной прочности в одной скважине необходимое для того, чтобы они не оказывали влияние друг на друга. При диаметре индентора 9 см. это расстояние должно быть не менее 30 см. Шаг 30 см. был выбран при проведении экспериментов по определению локальной прочности льда. Проведено сравнение локальной прочности с прочностью льда при одноосном сжатии.

Замечания

1. На стр. 21 имеется фраза «В зависимости от физического состояния льда применяются инденторы диаметром 6,5; 9,0 или 12,0 см.», однако в диссертации отсутствуют данные о зависимости локальной прочности льда от диаметра индентора.

2. На стр. 27 описан индентор, используемый зарубежными коллегами: «... индентор в виде круга, вырезанного из стенки цилиндра. При этом радиус кривизны индентора совпадает с радиусом скважины, что обеспечивает плотное прилегание индентора к стенке скважины.» Судя по рисунку 1.6 такую же форму имеет отечественный индентор, но сведения о его форме в диссертации отсутствуют.

3. В диссертации используются некоторые термины, смысл которых понятен, вероятно, только узким специалистам: консолидированный слой (стр. 24), льды типа А6 и Б6 и др. (начиная со стр. 34), конжеляционное нарастание (стр. 37 и далее). Учитывая, что диссертация защищается по специальности 01.02.04 эти термины нуждаются в пояснении.

Отмеченные недостатки не имеют в основном редакционный характер и не снижают общую оценку работы. Диссертация выполнена на высоком научном уровне, хорошо оформлена, содержит необходимые рисунки и схемы. Научные положения, представленные в диссертации, достаточно четко сформулированы и убедительно обоснованы.

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 теоретической и
прикладной механики математико-
механического факультета
Санкт-Петербургского
государственного университета



Сергей Борисович Филиппов

1 февраля 2021 г.