

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЯ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ЛЬДА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ЗОНДА-ИНДЕНТОРА В РОВНЫЙ ЛЕДЯНОЙ ПОКРОВ

Коновалов С.В. Email: Konovalov681@scientifictext.ru

Коновалов Сергей Вадимович – магистрант,
кафедра гидротехники, теории зданий и сооружений,
Инженерная школа
Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток

Аннотация: в данной статье объясняется термин локальной прочности льда, его сущность, значение в замерзающих морях, а также приводится описание используемого оборудования, необходимого для проведения эксперимента, происходящие при этом процессы, этапы взаимодействия рабочих инструментов с поверхностью испытываемого материала, теоретическая методика проведения испытаний с морским льдом, для определения локальной прочности в ровном ледяном покрове при помощи вертикального цилиндрического зонда-индентора (borehole-jack).

Ключевые слова: локальная прочность льда, морской лёд, ледяной покров, прочность льда на сжатие, одноосное сжатие, цилиндрический индентор, зонд-индентор.

TEST PROCEDURE FOR DETERMINING THE LOCAL STRENGTH OF ICE BY INTRODUCING A CYLINDRICAL INDENTER PROBE INTO A FLAT ICE COVER Konovalov S.V.

Konovalov Sergey Vadimovich - Undergraduate,
DEPARTMENT OF HYDROTECHNICS, THEORY OF BUILDINGS AND STRUCTURES,
SCHOOL OF ENGINEERING,
FAR EASTERN FEDERAL UNIVERSITY, VLADIVOSTOK

Abstract: in this article explains the term local ice strength, its essence, meaning in freezing seas and Arctic ocean, and also describes the equipment used to conduct the experiment, the processes that occur during this, the stages of the interaction of working tools with the surface of the test material, a theoretical test procedure with sea ice, the correct placement of positions for sampling, to determine local strength in a flat ice cover using a vertical cylindrical on-indenter probe (borehole-jack).

Keywords: local ice strength, sea ice, ice cover, compressive strength of ice, uniaxial compression, cylindrical indenter, indenter probe.

УДК 551.467

Введение:

Прочность льда на сжатие является основной характеристикой, определяющей величину силового воздействия ледяного покрова на вертикальные конструкции. В случае взаимодействия этих субъектов происходит разрушение льда, путем дробления, по причине горизонтального сжатия.

На данный момент расчет ледовых нагрузок на вертикальные сооружения основывается на интегральных показателях прочности льда на одноосное (нестесненное) сжатие, в связи с чем возникают завышенные результаты, которые приводят к удорожанию конструкции сооружения.

Значения прочности льда на одноосное сжатие сильно варьируются и зависят от структуры льда, размера испытываемого образца, объема рассола, техники проведения испытания, методика обработки полученных данных. В международном стандарте ISO 19906 принимается условный показатель – параметр прочности льда на сжатие, который зависит от определенного региона C_k . В каждом регионе параметр принимает следующие значения: для арктического региона – 2,8 МПа, субарктический – 2,4 МПа, умеренный – 1,8-1,9 МПа [2].

Для получения достоверного результата о сопротивлении ледяного покрова при взаимодействии с вертикальным сооружением в естественной среде используют нестандартные испытания такие как: испытание консольной балки на плаву с приложением к свободному концу горизонтальной нагрузки или внедрение в толщу льда плоских или цилиндрических вертикальных инденторов.

Применение зонда-индентора

В природных условиях применение вертикальных инденторов является перспективным направлением, поскольку данный метод позволяет оценивать прочностные параметры льда по всей его толщине. К тому же можно проводить сопоставление прочностных характеристик, полученных в результате модельных испытаний и в естественной среде, при учете соблюдения технологии проведения испытания и максимально точным подобием критериев.

Основные элементы комплекса: зонд-индентор, пресс и гидростанция.

Таблица 1. Технические характеристики комплекса скважинного зонд-индентора (borehole jack)

Наименование параметра	Значение параметра
Зонд-индентор гидравлический	
Диаметр поршня, мм	100
Ход поршня, мм	50
Максимальное рабочее давление в поршневой полости, МПа (кгс/см ²)	70 (700)
Максимальная скорость перемещения поршня, мм/с	4,5
Масса без инденторов, кг	34,5
Пресс гидравлический переносной	
Максимальное рабочее давление в поршневой полости, МПа (кгс/см ²)	27 (270)
Диаметр поршня, мм	100
Ход поршня, мм	50
Расстояние между плитой опорной и основанием для установки образца, мм	
-максимальное	250
-минимальное	350
Масса, кг	58
Гидростанция	
Рабочее давление максимальное, МПа	27,0
Напряжение питания, В/Гц	~380/50 АС
Масса гидростанции (без масла), кг	62,5

Качество и точность полученных параметров ледяного покрова получается благодаря тому, что опорная часть устройства выполнена в виде сегмента цилиндра с радиусом, совпадающим с радиусом скважины, для более плотного прилегания инструмента и образца. Площадь индентора и площадь опорной части равны.

Принцип проведения испытания

Работа устройств производится следующими действиями. В ледяном покрове при помощи мотобура со шнеком диаметром 25 см выбуривается скважина по возможности на всю толщину льда. Стружка от льда извлекается специальным устройством для очистки скважин. Над скважиной монтируется тренога, на которой при помощи тали и электролебедки подвешивается зонд с установленным на выдвижном штоке индентором. В зависимости от состояния льда применяются инденторы диаметром 6,5; 9,0; или 12,0 см.

Первое испытание проводится на глубине 30-40 см от поверхности льда до середины индентора. Такая глубина позволяет избежать скола льда в направлении поверхности. Остальные измерения проводят с шагом 30 см по всей глубине скважины. Нагружение осуществляется с помощью гидроцилиндра при его распирающем воздействии на стенку скважины и ограничения перемещения гидроцилиндра с противоположной от индентора стороны за счет опорной плиты, которая превосходит площадь индентора более чем в 10 раз, что обеспечивает внедрение индентора без внедрения опорной плиты при подаче давления. Отсутствие смещений опорной плиты гидроцилиндра позволяет увеличить глубину внедрения индентора в стенку скважины и довести разрушение льда до его смятия. При проведении испытаний фиксируется давление в гидросистеме, время нагружений, смещение индентора. Регистрация осуществляется через плату АЦП на ноутбук. Процесс подачи давления контролируется по показателям образцового манометра.

Анализ зависимостей между напряжением внедрения индентора и временем нагружения, визуальные наблюдения и фиксация трещин в ледяном покрове позволяют представить процесс взаимодействия зонда со льдом в 3 этапа.

Первый этап завершается возникновением первой трещины и характеризует начальный момент внедрения индентора.

Второй этап нагружения завершается разрушением некоторого объема льда (называемой локальной прочностью), приводящим к образованию зоны смятия и радиальных трещин. Данный процесс протекает в форме лавинообразного характера, его длительность не превышает нескольких секунд.

Третий этап показывает три типа взаимодействия индентора со льдом. Первый тип характеризуется проникновением индентора сквозь зону смятия при практически постоянном напряжении, которое ниже разрушающего на 20-60% (постразрушающее напряжение). Второй тип взаимодействия характеризуется тем, что постразрушающее напряжение не меньше локальной прочности. При третьем типе взаимодействия одна из радиальных трещин превращается в магистральную сразу же после достижения разрушающих напряжений. Это приводит к отрыву (сколу) некоторого объема льда в направлении верхней или нижней поверхности льда в зависимости от глубины погружения зонда [1].

Напряжение внедрения во льду in-situ (σ_c) определяется из соотношения:

$$\sigma_c = \frac{F}{S_c} = \frac{D * S_{\dot{\gamma}}}{S_c}$$

Где: F – сила внедрения индентора (Н); S_c —площадь поперечного сечения индентора (м²); P – давление в гидросистеме (Па); $S_{\dot{\gamma}}$ – рабочая площадь поршня в зонде (м²).

Бурение скважин под зонд-индентор производится после определения толщины ледяных образований.

На основании измерений разрушающих напряжений по толщине льда строятся вертикальные распределения прочности льда.

Последующие скважины выбуриваются на расстоянии 0,5 - 1,0 м. Лучше проводить работы на расстоянии 1 м, т.к. возникает возможность соединения скважин трещинами. Для холодного льда температурой -5°C (хрупкого) эти расстояния надо увеличить до 2 - 3 м, т.к. повышается вероятность возникновения радиальных трещин.

Заключение

С помощью зонд-индентора при работах на полигонах ровного можно получить пространственную изменчивость локальной прочности некоторого участка ледяного покрова.

Для сравнения результатов испытаний ледяного покрова с помощью зонд-индентора и образцов льда на одноосное сжатие площади поверхности индентора и поперечного сечения образца не должны намного различаться, чтобы исключить масштабный эффект. На каждом уровне в одном и том же ледяном покрове проводятся серии испытаний образцов, направление приложенной нагрузки которых параллельно поверхности льда. Для этого из ледяного покрова вырезается блок льда, из которого при помощи керноотборника выбуриваются образцы льда и проводят их испытания в прессе. На разных горизонтальных соотношении между локальной прочностью льда и прочностью при одноосном сжатии образцов льда, как правило, различается незначительно. Это соотношение находится в пределах 4 - 5, что было подтверждено различными полевыми испытаниями.

Список литературы / References

1. Смирнов В.Н., Ковалев С.Н., Коростелев В.Г., Панов Л.В., Шейкин И.Б., Шушлебин А.И. Крупномасштабная механика морского льда в Арктике // RAO / CIS OFFSHORE 2013 (Санкт-Петербург, 10-13 сентября 2013). Санкт-Петербург: изд-во «Химиздат», 2013. С. 110-113.
2. ISO/FDIS 19906: 2010 (E). Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures (A.8.2.8. Physical and mechanical properties of ice), 2010. P. 435.