

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ЛЕДОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ЦИФРОВОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОКЕАНОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Душко В.Р., Зеленкова М.Н.

Ключевые слова: ледовые нагрузки, океанотехнический объект, проектирование.

Аннотация. Силы воздействий ледовых полей оказывают существенное влияние на прочность и устойчивость различных океанотехнических установок. Современные подходы к цифровому проектированию предполагают наличие максимально возможной информации об объекте проектирования и внешних силах действующих на него. Анализ сил в результате воздействия ледовых полей осуществляется вероятностным, либо детерминистическим методом. В статье представлены подходы, используемые в США, Канаде и Российской Федерации.

METHODS FOR CALCULATING ICE LOADS IN THE DIGITAL DESIGN OF AN OCEAN ENGINEERING FACILITY

Dushko V.R., Zelenkova M.N.

Keywords: ice loads, ocean engineering facility, design.

Abstract. The forces of the effects of ice fields have a significant impact on the strength and stability of various ocean engineering installations. Modern approaches to digital design require the availability of the maximum possible information about the design object and the external forces acting on it. The analysis of forces as a result of exposure to ice fields is carried out by a probabilistic or deterministic method. The article presents the approaches used in the USA, Canada and the Russian Federation.

При построении цифровой модели океанотехнических установок, для решения проблемы прочности и устойчивости, при воздействии ледовых полей должны быть известны силы их воздействия на конкретную конструкцию. Для их анализа используются либо вероятностный, либо детерминистический методы. Развитие детерминистических методов происходило в течение длительного времени. Эти методы имеют следующие недостатки.

При определении расчетных нагрузок, а также несущей способности сооружения для более консервативной оценки используются коэффициенты надежности, однако значения этих коэффициентов определяются, главным образом, произвольно. При оценке несущей способности сооружения предполагается независимость различных параметров, но в некоторых случаях какие-либо из параметров могут оказывать существенное влияние на другие.

Использование вероятностного подхода требует знания плотности распределения вероятности как нагрузки, так и несущей способности сооружения. Применение таких функций часто указывает на слабейшее звено в цепочке исходных данных, необходимых для определения нагрузки или несущей способности, которое позволяет определить параметры, которые

следует задавать особенно точно, и случаи, когда вполне достаточно грубой оценки.

Рассматривая морские платформы, К.Н. Коржавиным [1] была предложена общая формула вычисления ледовой силы

$$P = k_1 k_2 k_3 b h q, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент поверхности; k_2 – контактный коэффициент; k_3 – коэффициент, зависящий от отношения ширины платформы к толщине льда; b – ширина платформы; h – толщина льда; q – сопротивление льда.

В этой формуле известной величиной является только ширина платформы. Остальные величины точно определить нельзя. Коржавин представил эмпирическую формулу, но не установил зависимость между параметрами.

Из общих соображений следует, что сила, действующая на наклонные стенки платформы, может быть представлена как

$$F = C_F \cdot F_{\max}, \quad F_{\max} = r_c \cdot e \cdot d, \quad C_F = f\left(\frac{E}{\rho \cdot U_c^2}; \frac{e}{d}; \frac{y}{e}; \varepsilon = \frac{r_b}{r_c}; \alpha; \mu\right), \quad (2)$$

где r_c – сжимающее давление льда; e – толщина льда; d – ширина конструкции; ρ – плотность льда; U_c – скорость льда; r_b – изгибное давление льда; α – угол наклона образующей конуса к горизонтале; μ – коэффициент трения; E – модуль продольной упругости.

На основе анализа работ [2, 3] можно сделать следующие выводы.

Ледовая нагрузка носит стохастический характер, и только применение вероятностных методов может дать более или менее надежные результаты.

Для развития вероятностных методов необходимо знать корреляцию между различными параметрами, влияющими на нагрузку.

Для расчетов ледовых нагрузок используются нормативные документы США, Канады и России: нормы США API-RP-2N; нормы Канады CAN/CSA; нормы России СНИП 2.06.04-82*, ВСН 41-88 и Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок.

Все нормы рассматривают методы расчета ледовых нагрузок, которые зависят от конфигурации проектируемых сооружений. Нагрузки, действующие на сооружение или его отдельные конструктивные элементы во время строительства, транспортировки, установки, эксплуатации и демонтажа, должны быть учтены. Следует учитывать все статические и динамические компоненты воздействий и деформационных нагрузок, оказывающих существенное влияние на прочность, усталостное поведение, устойчивость и плавучесть сооружений при строительстве и установке.

Нагрузки, действующие на сооружение, имеют различную длительность и вероятность возникновения. Поэтому все нормативные документы по проектированию сооружений выделяют несколько типов нагрузки. Согласно нормам России (СНИП 2.06.04-82*), все нагрузки подразделяются на четыре группы: постоянные; длительные; кратковременные; особые.

Нормы Канады CAN/CSA-S471-92 учитывают следующие виды нагрузок: постоянные; операционные; нагрузки окружающей среды; особые.

Нормы США APIRP-2A-WSD-1993 используют следующую классификацию нагрузок: постоянные; операционные; нагрузки окружающей среды; нагрузки, возникающие при строительстве сооружения; нагрузки, связанные с транспортировкой и переустановкой сооружения.

Постоянные нагрузки действуют на сооружение в течение всего срока эксплуатации, например, вес конструкции или ее элементов, гидростатическое давление, вес балласта и т.д. Нормы Канады подразделяют постоянные нагрузки на связанные с весовыми характеристиками и деформационные.

Длительные нагрузки в нормах России приблизительно соответствуют операционным нагрузкам в нормах Канады и США. Это переменные нагрузки, связанные с нормальным функционированием и эксплуатацией сооружения. Например, вес складываемых грузов, оборудования, воды или нефти в хранилище и т.д. следует рассматривать как длительные или операционные нагрузки.

Кратковременные нагрузки (нагрузки окружающей среды) являются нагрузками, действующими в течение нескольких секунд, минут или часов. В частности, все нагрузки, связанные с воздействием окружающей среды, могут трактоваться как кратковременные. ВСН 41-88 рассматривают волновые и ледовые нагрузки, соответствующие максимальной расчетной скорости ветра или максимальной толщине льда (определяемые для периода в 100 лет) как особые. В противном случае эти нагрузки трактуются как кратковременные. Обеспеченность нагрузок при этом не специфицируется.

Особые нагрузки, согласно CAN/CSA, могут быть вызваны столкновениями, взрывами, утечкой балласта и др.

Все типы нагрузок должны быть вычислены с определенной обеспеченностью. Этот параметр зависит от частоты повторяемости нагрузки и класса надежности сооружения. Согласно российским нормативным документам, шельфовые сооружения следует проектировать по требованиям, предъявляемым к сооружениям первого класса надежности, поскольку выход их из строя может привести к потере жизни людей и серьезным загрязнениям окружающей среды. Нормы Канады позволяют относить некоторые шельфовые сооружения ко второму классу надежности.

В Российских нормах обеспеченность нагрузок не специфицируется. Лишь для ряда параметров указывается величина периода повторяемости. Различные нагрузки могут действовать на сооружение одновременно в некоторой комбинации или независимо. Сочетание нагрузок учитывает вероятность совместного действия нескольких воздействий.

Российские нормы СНиП 2.06.04-82* рекомендуют два типа сочетаний: основные; особые.

Основные сочетания включают постоянные и длительные нагрузки, а также любое возможное совместное действие кратковременных нагрузок. Особые сочетания нагрузок включают постоянные нагрузки, все типы

временных нагрузок, совместное действие которых возможно, и только одну особую нагрузку. Поскольку вероятность одновременного действия всех временных нагрузок мала, каждая из этих нагрузок должна быть умножена на некоторый коэффициент меньше единицы.

Вероятностный подход является другим возможным методом определения сочетаний нагрузок. Должны быть приняты во внимание функции распределения вероятности различных параметров.

Все ледостойкие сооружения могут быть разделены на два класса надежности. Эти классы используются для гарантии надежности сооружения или его конструктивных элементов. Сооружения следует отнести к какому-либо классу согласно их значимости: I класс надежности, если при рассматриваемых условиях повреждение приведет к большому риску для жизни людей и загрязнению окружающей среды; II класс надежности, если при рассматриваемых условиях повреждение приведет к малому риску для жизни людей и загрязнению окружающей среды.

Если в случае непредвиденной опасности вовремя будут реализованы планы по предотвращению потери жизни или ущерба окружающей среды, возможно понижение уровня надежности сооружения. Согласно Российским нормам, все шельфовые сооружения следует относить к I классу надежности.

Следующая ступень в проектировании сооружения состоит в определении расчетной несущей способности. Как российские, так и зарубежные нормы рассматривают потерю прочности или устойчивости сооружения как расчетную предельную несущую способность. В данных нормах различают две группы предельных состояний: полная непригодность сооружения к дальнейшей эксплуатации; предельное состояние эксплуатационной пригодности (непригодность к нормальной эксплуатации).

Эти понятия используются для характеристики различных типов несущей способности: устойчивости сооружения, прочности элементов конструкции и несущей способности основания. Таким образом, по первой группе предельных состояний учитываются: 1. Потеря равновесия сооружения (или его части), рассматриваемого как жесткое тело; 2. Невозможность восприятия нагрузки сооружением или его элементами или основанием из-за превышения прочности материала; 3. Потеря устойчивости сооружения.

Предельные состояния эксплуатационной пригодности ограничивают режим нормальной эксплуатации сооружения или его нормального положения и оказывают влияние на его долговечность. Они включают смещение или поворот элементов конструкции, которые пагубно влияют на состояние части сооружения или работу оборудования: 1. Движения, включая вибрации, негативно влияющие на размещение или работу оборудования; 2. Местные повреждения, не приводящие к выходу из строя всего сооружения, но ограничивающие его использование или долговечность; 3. Смещения или деформации сооружения или основания, негативно влияющие на использование сооружения или работу оборудования.

Выводы. Ледовые нагрузки являются одним из наиболее сложных и менее предсказуемых видов воздействия на различные океанотехнические сооружения. В отличие от ветрового и/или волнового воздействий, которых в настоящий момент можно рассчитать с достаточной степенью точности, оценить реальные ледовые нагрузки вне конкретного географического региона и параметров действующих ледовых полей в настоящий момент весьма затруднительно. Основными причинами такой ситуации является: небольшое количество данных о реальных воздействиях и относительно короткие сроки проведения натурных наблюдений; высокая стоимость модельных и натурных испытаний; сложности в прогнозировании сценариев и вариантов ледовых воздействий, которые по своей природе, главным образом, относятся к случайным событиям; модельные исследования воздействия ледовых полей на сложную конструкцию отгрузочного терминала и сопоставление полученных данных с расчетами по принятым методикам показали возможность определения ледовых нагрузок с относительной погрешностью от 1 до 50%.

Работы выполнены в рамках гранта ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»: «Цифровое построение датацентричной модели судна для региональных перевозок», №29/06-31.

Список литературы / References

1. Коржавин К.Н. Воздействие льда на инженерные сооружения. – Новосибирск: СО АН СССР, 1962. – 203с.
1. Korzhvin K.N. The impact of ice on engineering structures. – Novosibirsk: SA USSR, 1962. – 203p.
2. Palmer A. (1991): Ice Forces and Ice Crushing. The 11th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC), St. John's, Vol. I.
3. Li Zhijun, Jia Qing, Zhang Baosen, Leppäranta Matti, Lu Peng, Huang Wenfeng. Influences of gas bubble and ice density on ice thickness measurement by GPR. Applied Geophysics, 2010, 7(2):105–113.

Душко Вероника Ростиславовна – кандидат технических наук, доцент заведующая кафедрой, vrdushko@sevsu.ru	Dushko Veronika Rostislavovna – candidate of technical sciences, associate professor, head of departament, , vrdushko@sevsu.ru
Зеленкова Марина Николаевна – научный работник, mnzelenkova@sevsu.ru	Zelenkova Marina Nikolaevna – researcher, mnzelenkova@sevsu.ru
Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация	Sevastopol state university, Sevastopol, Russia

Received 25.06.2020