

УДК 539.3

С.В.Новаковская (студ., каф. МВТС), А.С.Большев, д.т.н., проф.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ СООРУЖЕНИЙ С ПОЛЯМИ БИТЫХ ЛЬДОВ

Ледовые нагрузки на сооружения арктического континентального шельфа являются одним из самых опасных типов внешних нагрузок на данный класс сооружений. При создании платформ для освоения крупнейших месторождений в арктических районах ледовые нагрузки часто оказываются определяющими и необходима достоверная оценка их экстремальных значений, возможных в течение всего периода эксплуатации платформ.

Ледовые нагрузки зависят от множества параметров, большинство из которых изменяются по случайным законам, поэтому наиболее достоверные оценки ледовых нагрузок могут быть получены с помощью методов вероятностного моделирования.

Обычно алгоритмы вероятностного моделирования основываются на описании характеристик ледовой ситуации и параметров льдин, взаимодействующих с сооружением в течение всего периода его эксплуатации (например, тип ледовых образований, сплоченность льдов, геометрические характеристики льдин, скорость их движения, прочность льда и т.п.). Известно, что каждая льдина при взаимодействии с сооружением может остановиться, полностью потеряв кинетическую энергию, или разрушиться (полностью или частично). Нормативные документы, как правило, учитывают эти возможности, но только для взаимодействия сооружения с одной льдиной. Поэтому небольшие по площади льдины, движущиеся с относительно небольшой скоростью, в соответствии с этими нормативными документами, должны останавливаться около сооружений, не оказывая на них существенного воздействия. Однако ряд экспериментальных данных показывает, что небольшие льдины, движущиеся с очень малой скоростью, прорезаются сооружениями. Сила взаимодействия при этом оказывается весьма значительной.

В настоящей работе описанный эффект объясняется групповым взаимодействием льдин с сооружением, при котором кинетическая энергия многих льдин объединяется.

При описании взаимодействия сооружения с полями битых льдов, в зависимости от соотношения размеров льдин и преград, можно выделить два расчетных случая:

1. Для полей, льдины которых много меньше размеров сооружения, в таком случае применима модель сыпучей среды.
2. Для полей, льдины которых больше размеров сооружения.

Первый расчетный случай изучен и описан в научно-технической литературе. Для второго расчетного случая рекомендаций в литературе не имеется и, поэтому, в данной работе предпринимается попытка построить математическую модель взаимодействия цилиндрической преграды с регулярным ледяным полем заданной сплоченности, состоящим из одинаковых льдин, превосходящих по размеру диаметр преграды.

Предлагается геометрическая модель поля, состоящего из отдельных льдин цилиндрической формы и одинаковой толщины, позволяющая моделировать сплоченность поля в пределах от 0,92 до 0,39. Рассматриваемое поле из множества льдин заданной сплоченности движется под действием течения, ветра, сил собственной инерции и контактных сил. Поведение каждой льдины описывается положением ее центра, вектором ее движения, угловой скоростью вращения ее вокруг собственного центра.

В процессе решения уравнения движения выявляется возможность попарного контакта

между каждой из льдин. Вычисляются нормальные силы, причем на начальном этапе взаимодействия используется модель упругой деформации, а при значительных деформациях осуществляется переход к разрушению льда по зоне контакта. В последнем случае полагается, что сила пропорциональна площади контакта и прочности льда на одноосное сжатие. Касательные силы рассчитываются с помощью рассчитанных ранее нормальных сил и заданного коэффициента трения. При определении всех сил учитывается направление линейных и угловых перемещений взаимодействующих льдин.

В рамках решения уравнений движения наряду с учетом попарного взаимодействия льдин, принимается во внимание и контактные силы, возникающие между сооружением и одной из льдин. При этом взаимодействие этой льдины с преградой разделяется на 3 этапа:

- Начальный этап взаимодействия, когда нормальная реакция льдины определяется упругостью или площадью контакта и касательной силой трения. Центр преграды и льдины при этом сближаются.
- Переходный режим, сопрягающий контактное взаимодействие и взаимодействие при полном внедрении.
- Прорезание преградой льдины при полном ее внедрении (независимо от сближения или удаления центров).

На основе данной модели создана компьютерная программа, позволяющая определить: максимальную силу, действующую на сооружение; коэффициент скважности прорезания, который характеризуется отношением интервалом времени, при котором имело место прорезание, к общему времени моделирования; средняя скорость прорезания и т.п.

Приводятся результаты численного моделирования взаимодействия преграды с полем, в зависимости от его сплоченности, скорости движения, площади, толщины и иных параметров.

В целом разработанная методика и компьютерная программа позволяют конкретизировать взаимосвязь между характеристиками льдов и ледовыми нагрузками при выполнении более сложных задач вероятностного моделирования ледовых нагрузок на сооружения арктического шельфа.