

УДК 624.042.43

О.А.Рябинкина (6 курс, каф. МВТС), К.Н.Шхинек, д.ф.-м.н., проф.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КИЛЯ ТОРОСА С МОРСКИМ ДНОМ

Тип взаимодействия между килем тороса и морским дном, в основном, контролируется прочностью кия тороса и прочностью грунтов морского дна. При внедрении ледового торосистого образования в грунт морского дна может происходить два процесса – пропахивание морского дна и разрушение кия тороса.

Имеющиеся модели ледовых образований, позволяющие оценить величину экзарации, не учитывают форму кия тороса, возможность разрушения кия в процессе пропахивания и требуют развития в этих направлениях.

Основные трудности возникают с определением прочностных характеристик кия, сцепления и угла внутреннего трения в киле тороса. До сих пор не найдено надежное совместное распределение сцепления и угла внутреннего трения в торосе, значения прочностных характеристик кия недостаточно изучены. В соответствии с исследованиями ААНИИ определяется только один из этих параметров. Таким образом, в расчетах используются либо данные по углу внутреннего трения при сцеплении равном нулю, либо, наоборот, по известному сцеплению, при $\varphi = 0$.

Грунт за торосом находится в предельном напряженном состоянии. При пассивном давлении угол наклона площадок скольжения к главным с максимальными главными напряжениями известен. Зная угол наклона боковых граней торосистого образования к горизонту, угол внутреннего трения грунта, слагающего морское дно, и угол наклона площадок скольжения к главным площадкам с максимальными напряжениями, строится схема внедрения тороса.

Расчет устойчивости проводится в предположении о кругло-цилиндрической поверхности скольжения. Рассматривается случай плоской задачи для внедренного в грунт тороса с килем треугольной формы.

На выделенный радиусом массив грунта будут действовать следующие силы: активная сила воды, активное давление тороса, силы трения, собственный вес и силы противодействия. В результате действия системы активных сил на кругло цилиндрической поверхности выпора возникают реактивные действующие нормальные и касательные напряжения.

Все действующие на область выпора активные и реактивные силы должны быть взаимно уравновешены. Отсюда следует, что сумма моментов всех сил относительно центра поверхности скольжения и сумма проекций всех сил на горизонтальные и вертикальные оси должны быть равны нулю.

Записываются уравнения равновесия: уравнение моментов и уравнение сил. Все силы проектируются на нормаль к площадке скольжения. Вертикальные силы учитываются в уравнении моментов, горизонтальные силы, действующие вдоль линии скольжения, – в уравнении равновесия на горизонтальную ось.

Учитывая, что по линии скольжения принимается наличие предельно-напряженного состояния, связь между нормальными и касательными напряжениями определяется зависимостью Кулона. Выражения для нормальных и касательных напряжений записываются в виде определенного интеграла по поверхности скольжения.

Найдя значение подынтегральной функции и решив два уравнения с двумя неизвест-

ными находятся значения радиуса поверхности скольжения и силы, с которой грунт сопротивляется сдвигу.

Сила пассивного давления грунта, возникающая при внедрении торосистого образования в грунт, растет по параболической зависимости от глубины внедрения тороса.

В связи с тем, что морское дно не всегда является горизонтальным, в описанную выше модель вводятся углы уклона дна на 10 и 20 градусов. С увеличением уклона дна увеличивается и вес грунта, пропахиваемого торосом, и, как результат, увеличивается сила пассивного давления грунта.

Для того, чтобы узнать на какой глубине произойдет срезание тороса при внедрении его в грунт морского дна, необходимо найти силы, стремящиеся сдвинуть торос. При этом, для упрощения задачи на начальном этапе принимаются следующие допущения:

1. Трение кия тороса по грунту не учитывается.
2. Так как получение совместного распределения для параметров ϕ и c кия тороса является на сегодняшний день достаточно сложной, практически невыполнимой задачей, за известную величину в данном случае принимается, в соответствии с исследованиями ААНИИ, параметр $c=20$ кПа, угол внутреннего трения ϕ в торосе берется равным нулю.
3. Считается, что прочность консолидированной части много больше прочности кия.

Сравнивая сдвиговые и предельные усилия в теле тороса можно видеть, что сдвиговые усилия в теле тороса превосходят значения предельных усилий.

На основании данных по обеспеченности и геометрии кия тороса находится глубина внедрения торосов с учетом обеспеченности при различных уклонах морского дна.

Тело тороса проверяется на сдвиг по предыдущей схеме, зная на какой глубине срежется киль тороса 0,5, 0,9, 0,95 и 0,99 % обеспеченности.

Влияние пропахивающего грунт тороса на трубопровод очень важно при современном развитии инфраструктуры на шельфе северных морей и зависит от уровня заглубления трубопровода относительно дна борозды и от сопутствующих пропахиванию деформаций грунта.

Непосредственный контакт между торосом и трубопроводом может произойти только в том случае, когда подошва тороса находится ниже верхней точки трубопровода. В противном случае повреждение трубы произойти не должно, если грунты достаточно слабые для передачи разрушающих напряжений. Более прочные грунты способны передавать сопутствующие пропахиванию напряжения, что повлечет за собой смещение и дополнительное напряжение трубопровода. Однако, при разрушении кия тороса, сопутствующего внедрению, до прямого контакта тороса и трубопровода дело может не дойти, даже при заглублении подошвы тороса ниже верхней точки трубопровода, поэтому необходимо выяснить, на какой глубине киль ледового торосистого образования срежется.

Таким образом, при внедрении ледового образования в грунт до определенных глубин прочность кия тороса меньше нагрузки, требуемой для внедрения. Поэтому киль будет разрушаться.

И наконец, находится безопасная глубина для торосов различной обеспеченности. За безопасную глубину в данном случае принимается глубина внедрения кия ледового торосистого образования, при которой киль сравнительно безопасен для морских подводных трубопроводов, то есть глубина, на и ниже которой происходит разрушение кия тороса, когда непосредственного контакта между торосом и трубопроводом не происходит. При глубинах, меньших чем безопасные, торос становится опасным, так как бороздит морское дно, не разрушаясь. На основании этого решения можно найти вероятность того, что данная глубина моря является безопасной для трубопроводов.

Для торосов 0,5, 0,90, 0,95, 0,99 % обеспеченности безопасная глубина варьируется в пределах 6,47, 9,16, 10,04 и 11,98 м соответственно и ниже. При глубинах моря меньше обо-

значенных, торос начинает бороздить морское дно и представляет опасность для трубопроводов.

При более точной аппроксимации положения линии скольжения в теле ледового торосистого образования можно ожидать уменьшение безопасной глубины.