



УДК 622.692.4

## СПЕЦИФИКА РЕЖИМА НАГРУЖЕНИЯ ШЕЛЬФОВЫХ АРКТИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

### SPECIFIC LOADING MODE OF THE ARCTIC OFFSHORE PIPELINES

**Силина Ирина Георгиевна**

аспирант,  
Тюменский индустриальный университет  
i\_g\_silina@mail.ru

**Гильмияров Евгений Адикович**

специалист,  
ООО «НефтьГазСервис Навигатор»  
egilmiyarov@list.ru

**Аннотация.** В данной статье приведены природные факторы, определяющие специфичный режим нагружения шельфовых трубопроводов Арктики. Рассмотрена механика передачи усилия от ледового образования заглубленному трубопроводу. Приведены рекомендации по дальнейшему исследованию системы «ледовое образование – грунт – трубопровод».

**Ключевые слова:** морские арктические трубопроводы, ледовая экзарация, ледовый киль, условия нагружения, деформация грунта.

**Silina Irina Georgievna**

Post-graduate Student,  
Tyumen Industrial University  
i\_g\_silina@mail.ru

**Gilmiyarov Evgeny Adikovich**

Specialist,  
LLC «OilGasService Navigator»  
egilmiyarov@list.ru

**Annotation.** This article presents the natural factors that determine the specific loading mode of the Arctic offshore pipelines. The mechanics of force transfer from ice formation to a deep-down pipeline are considered. The recommendations for further research of the «ice formation – soil – pipeline» system are given.

**Keywords:** offshore Arctic pipelines, ice gouging, ice keel, loading conditions, soil deformation.

На шельфах арктических морей запасы углеводородного сырья в среднем оцениваются в 13 % неразведанных мировых запасов нефти и 30 % запасов газа. Только на арктическом шельфе России углеводородные ресурсы оцениваются в 80 млрд т условного топлива.

Освоение шельфовых месторождений арктического региона предполагает сооружение морских трубопроводов, подверженных воздействию как антропогенных, так и геоклиматических факторов, среди которых можно выделить следующие основные:

- образование ледовых нагонов вдоль береговой линии и выход льда на берег;
- интенсивную береговую эрозию;
- наличие вечной мерзлоты и сезоннопромерзающих грунтов, как следствие, вероятность протаивания или морозного пучения грунта;
- течения, волны, волновой нагон, изменяющиеся в результате увеличения протяженности и продолжительности периода, когда водная поверхность свободна от ледового покрова [1];
- аккумуляцию наносов;
- экзарацию морского дна киллями торосистых образований;
- выпаживание дна стамухами, перемещаемыми течениями, и возникающими волновыми нагрузками;
- ледовую эрозию дна вихревыми потоками воды, дренируемой сквозь трещины и полыньи на ледовой поверхности моря.

Проектирование трубопроводных систем в замерзающих морях требует решения вопроса оценки одной из наиболее значимых возникающих нагрузок на конструкции – ледовых нагрузок от движения торосистых образований или стамух.

Процесс ледовой экзарации заключается в выпаживании морского дна ледяными массами при непосредственном контакте килля ледового образования и донного грунта. В результате такого взаимодействия образуются протяженные борозды, ориентированные преимущественно в одном направлении. В случае если ледовое образование получает дополнительное вращательное движение, ледовый киль оставляет на дне кратерообразные углубления. При выпаживании достаточно глубоких борозд ледовое образование может воздействовать на грунт с усилием в 1000–10000 т [2].

Для исключения столкновения трубопровода с килем стамух или торосистых образований он подлежит обязательному заглублению. Однако защита трубы от непосредственного контакта с ледовым килем не обеспечивает необходимой защиты трубопроводной системы от возникновения дополнительных деформаций, поскольку внедрение килля в грунт сопровождается смещением прилегающих грунтовых масс; таким образом, происходит непрягая передача нагрузок на нижележащий участок заглубленного трубопровода.



Оценивая интенсивности воздействия ледового образования на грунт, можно выделить три зоны деформирования:

– в первой зоне происходит непосредственный контакт кия с грунтом, что приводит к пластическому деформированию объемов грунта. На начальном этапе внедрения кия в дно сдвигаемые им грунтовые частицы образуют своего рода «отвал» по направлению движения тороса, уплотняемый по мере его продвижения. Смещение частиц грунта в боковом направлении приводит к образованию «берм»;

– во второй зоне не происходит непосредственного контакта ледового кия с грунтом, однако грунт все еще испытывает значительные пластические деформации от больших касательных напряжений, вызванных движением тороса;

– в третьей зоне грунт подвержен только упругим деформациям.

Третья зона является наиболее благоприятной для сооружения трубопроводов, однако такая прокладка технически трудно реализуема и сопряжена со значительными материальными затратами.

Определение оптимальной глубины заложения трубопровода является первоочередной задачей для регионов, где имеет место явление экзарации морского дна. Данная задача требует знания ряда входных данных, среди которых: морфометрические характеристики ледяного покрова рассматриваемого региона, физико-механические свойства льда и грунта, данные о динамических воздействиях окружающей среды (течениях, процессах седиментации и т.п.), геометрические характеристики борозд выпаживания и т.д. Для адекватной оценки влияния ледовой экзарации на напряженно-деформируемое состояние трубопроводов необходимо комплексно рассматривать систему взаимодействия трех компонентов «ледовое образование-грунт-трубопровод», что требует наличия следующих данных:

- скорости передвижения ледовых массивов;
- геометрических параметров ледового кия;
- модели грунта с учетом пористости, влагонасыщенности и т.д.

В виду практической невозможности получения ряда данных или вероятности искажения параметров форм подводного микрорельефа [3] (степени размыва или заполнения борозд выпаживания или ям застамушивания наносами) наиболее информативным с точки зрения возможности изучения влияния как совокупности, так и отдельно взятых факторов, вовлеченных в процесс ледового выпаживания, являются компьютерное моделирование и лабораторные исследования.

Такие исследования позволяют контролировать следующие параметры для изучения реакции грунтовых масс:

- тип и характеристики грунта;
- ширина кия и глубина внедрения в грунт;
- угол атаки кия;
- свойства льда кия.

Для создания подхода к проектированию морских арктических трубопроводов, наиболее приближенного к реальным условиям нагружения, на основании заданной модели необходимо решить контактную задачу для заглубленного участка трубопровода для установления распределения напряжений и появления деформаций в трубе с учетом механики разрушения кия и процессов консолидации грунта.

### Литература:

1. Алексеев Г.В. Климатический режим Арктики на рубеже XX и XXI вв. / Г.В. Алексеев, И.А. Подгорный, П.Н. Священников. – СПб. : Гидрометеиздат, 1991. – 200 с.
2. Palmer A.C. Ice gouging and the safety of marine pipelines / A.C. Palmer, I. Konuk, G. Comfort, K. Been // *Oshore Technology Conference*. – 1990. – P. 235–244.
3. Огородов С.А. Рельефообразующая деятельность морских льдов : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.25 / Станислав Анатольевич Огородов ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 2014. – 261 с.

### References:

1. Alekseev G.V. Climatic regime of the Arctic at the turn of the XX and XXI centuries / G.V. Alekseev, I.A. Podgorny, P.N. Svyashchennikov. – St. Petersburg : Gidrometeoizdat, 1991. – 200 p.
2. Palmer A.C. Ice gouging and the safety of marine pipelines / A.C. Palmer, I. Konuk, G. Comfort, K. Been // *Oshore Technology Conference*. – 1990. – P. 235–244.
3. Ogorodov S.A. Relief-forming activity of sea ice: diss. ... doct. geogr. science : 25.00.25 / Stanislav Anatol'yevich Ogorodov; Moscow State University. – M., 2014. – 261 p.