



УДК 622.692.4

## АНАЛИЗ ДЕЙСТВУЮЩЕЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ОБЛАСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ

### ANALYSIS OF CURRENT STANDARDS AND REGULATIONS IN THE FIELD OF OFFSHORE OIL AND GAS PIPELINES CONSTRUCTION AND OPERATION

**Силина Ирина Георгиевна**

аспирант кафедры транспорта углеводородных ресурсов,  
Тюменский индустриальный университет  
i\_g\_silina@mail.ru

**Иванов Вадим Андреевич**

доктор технических наук,  
профессор кафедры транспорта углеводородных ресурсов,  
Тюменский индустриальный университет  
ivanov\_v\_a@list.ru

**Аннотация.** В данной статье проведен анализ существующих отечественных и зарубежных стандартов, регламентирующих вопросы строительства и эксплуатации нефтегазопроводов в замерзающих морях. Определены основные факторы и положения, необходимые для оценки влияния ледовой экзарации на подводные трубопроводы. Обозначены направления развития существующих методик.

**Ключевые слова:** морские трубопроводы, ледовая экзарация, глубина заложения трубопровода, ледовые образования, проектирование и строительство трубопроводов.

**Silina Irina Georgievna**

Post-graduate student of hydrocarbon resources transportation chair, Tyumen Industrial University  
i\_g\_silina@mail.ru

**Ivanov Vadim Andreevich**

Doctor of Engineering, Professor of hydrocarbon resources transportation chair, Tyumen Industrial University  
ivanov\_v\_a@list.ru

**Annotation.** The article analyzes the existing Russian and foreign standards deal with the construction and operation of oil and gas pipelines in freezing waters. The main factors and requirements necessary to assess the impact of ice gouging on subsea pipelines are identified. The directions of further development are marked.

**Keywords:** offshore pipelines, ice gouging, pipeline burial depth, ice features, pipeline design and construction.

Морские трубопроводы, проложенные в замерзающих акваториях, подвержены воздействию ряда природных угроз, не встречающихся в более теплых водах [1]. Особому рассмотрению в данном контексте подлежат вопросы динамики морского ледяного покрова, примыкающего к береговой линии. Дрейфующие по мелководной части акватории льды, воздействуя на морское дно, могут оставлять на его поверхности протяженные борозды. Движущие силы, вызывающие дрейф ледовых образований, оказываются достаточными для формирования борозд выпахивания глубиной до 1,3 м [2] и протяженностью порядка нескольких десятков метров.

Данное явление, называемое ледовой экзарацией, представляет серьезную опасность для подводных трубопроводов, в том числе проложенных в траншее. Ледовая экзарация считается одним из наиболее опасных природных явлений с точки зрения безопасности эксплуатации подводных трубопроводов.

Однако на сегодняшний день отсутствует единая нормативно-техническая база по проектированию трубопроводов в подобных условиях. Существующие нормы, правила и стандарты рассматривают вопрос защиты морских трубопроводов от нагрузок, вызванных дрейфующими ледяными образованиями, преимущественно освещая отдельные аспекты, не предоставляя полной методики или руководства.

Далее рассмотрим основные рекомендации по проектированию и строительству трубопроводов в районах с ледовой экзарацией, приведенные в действующих Российских и зарубежных документах.

#### **API RP 2N: Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Structures and Pipelines for Arctic Conditions**

Версия API RP 2N (2-е издание) предназначена для проектирования, строительства и эксплуатации арктических систем. API RP 2N в качестве способа защиты трубопроводов в районах с ледовой экзарацией предлагает разработку подводных траншей и заглупление трубопровода.

Документ дает рекомендации по данным, сбор которых необходимо производить для каждого рассматриваемого региона: рельеф дна, данные батиметрии, геометрические параметры борозд выпахивания и частота встречаемости борозд, измеряемая в числе борозд на км или км<sup>2</sup>. В документе также отмечаются сложность определения давности появления борозд и необходимость проведения повторных съемок морского дна для оценки и выявления экстремальных величин параметров борозд. API RP 2N предупреждает о возможном влиянии на результат исследования глубоких, но давних бо-



розд выпаживания, учет которых может привести к чрезмерно консервативным оценкам. При этом следует учитывать, что процессы седиментации и заполнение борозды наносами могут привести к недооценке глубин борозд.

Также API RP 2N указывает, что деформация грунтового массива вокруг трубопровода может привести к появлению недопустимых деформаций в результате изгиба трубы. В более общем плане, в данном документе рекомендуются учитывать параметры ледового выпаживания с помощью вероятностного анализа; при необходимости могут быть проведены дополнительные исследования свойств донных грунтов участка акватории.

#### **CSA Z662: Oil and Gas Pipeline Systems**

Стандарт CSA Z662 регламентирует проектирование, строительство, эксплуатацию и ремонт систем нефтегазопроводов. В нем содержатся положения, касающиеся морских трубопроводов, в том числе протяженных, проложенных от берега к берегу. Данный стандарт предписывает учитывать ледовый режим акватории, ледовые нагрузки на трубопроводы во время их прокладки и эксплуатации, а также характеристики ледовых образований: тип и механические свойства льда, размеры ледового образования, а также скорость и направление его дрейфа. В стандарте подчеркивается значимость корректной интерпретации полученных статистических данных.

Для оценки нагрузок и воздействий на трубопроводы рекомендуется использовать численные и физические модели, а также данные натурных исследований. Модели должны учитывать характер взаимодействия объектов, механику движения ледовых образований, механику разрушения льда и необходимость применения теории подобия для переноса результатов на полномасштабные объекты.

Для получения информации о ширине, глубине, длине и ориентации борозд выпаживания, а также о характеристиках морского дна рекомендуется проводить батиметрическую съемку. Следует также учитывать частоту встречаемости борозд и аккумуляцию наносов, точность измерительных средств. Стандарт не предоставляет определенной методики, но рекомендует при выборе модели оценить значимость включаемых в нее данных и учитывать ограничения выбранного подхода.

#### **DNV OS F101: On-Bottom Stability Design of Submarine Pipelines**

DNV OS F101 применяется к наземным и морским трубопроводным системам и регламентирует вопросы проектирования, строительства, эксплуатации и ликвидации морских и наземных трубопроводов. Однако в существующем виде данный стандарт написан без учета особенностей эксплуатации морских трубопроводов в арктических водах, поэтому предоставленная информация о ледовых нагрузках от дрейфующих ледяных образований на подводные системы крайне ограничена. Стандарт упоминает о необходимости учета нагрузок от килей дрейфующих торосов в местах с ледовой экзарацией дна; для получения дополнительной информации могут потребоваться модельные испытания взаимодействия ледового образования с трубопроводом.

#### **НД 2-020301-005 Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов**

Правила Российского морского регистра судоходства распространяются на подводные трубопроводы и райзеры, проектируемые, строящиеся и эксплуатируемые в шельфовых зонах морей. Данные правила приводят наиболее строгие рекомендации по расчету глубины заложения трубопровода для защиты от ледовой экзарации.

Во избежание повреждения трубопроводов ледовыми киллями правила рекомендуют прокладывать трубопроводы по линии максимальных глубин и параллельно направлению преимущественного дрейфа ледовых образований. Минимальная глубина заложения трубопровода должна равняться одному метру от нижней образующей борозды выпаживания. Данное расстояние может умножаться на коэффициент запаса (от 1,0 до 1,3), зависящий от класса трубопровода, предусмотренного в правилах. Меньшие величины глубины заложения трубопроводов должны быть соответствующее обоснованы. Кроме того, стандарт рекомендует делить трассу на участки и вести расчеты для каждого участка отдельно. Величина проектной глубины заложения должна быть определена на основании приведенного в правилах алгоритма.

Обзор действующей документации показывает, что на сегодняшний момент отсутствует единая нормативно-техническая база по проектированию морских трубопроводов в арктических условиях. Большинство стандартов указывает на необходимость учета ледовых нагрузок, но не дает четких рекомендаций, как именно это следует делать: стандарты обозначают конкретные факторы, которые либо должны, либо могут быть учтены при проектировании.

В этом отношении наибольший интерес представляют отечественные правила, предоставляющие методику для обработки исходной информации о процессе ледового выпаживания. Особое внимание уделяется конкретным параметрам и тому, как их следует использовать для определения глубины борозд выпаживания и глубины заложения трубопровода.

Вопросы эксплуатации и строительства морских трубопроводов в арктических условиях так или иначе затрагиваются во многих документах, что дает представление о необходимости проведения дополнительных исследований в данной области. Разработка четких методик и руководств по определению глубины заложения морских арктических трубопроводов сдерживается ограниченным зна-



нием сложного явления ледового выпахивания, поскольку непосредственный процесс выпахивания трудно поддается наблюдению [3], а получение информации о вызываемых деформациях грунта также является сложной инженерной задачей. В данной ситуации физическое и компьютерное моделирование изучаемых процессов стало альтернативным источником получения необходимых данных. При этом необходимо принять во внимание, что большинство из проведенных с применением методов моделирования исследований было сосредоточено на конкретных аспектах явления ледового выпахивания, в связи с чем предоставленные наборы данных являются неполными.

#### Литература:

1. Никифоров С.Л. Ожидаемые геолого-геоморфологические риски по трассе Северного морского пути / С.Л. Никифоров и др. // Доклады Академии наук. – 2016. – Т. 466. – № 2. – С. 75–77.
2. Наумов А.К. Морфометрические характеристики ледяных образований Баренцева моря : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.28 / Алексей Кирович Наумов; Аркт. и антаркт. науч.-исслед. ин-т. – СПб., 2010. – 175 с.
3. Огородов С.А. Ледово-эскарпационный рельеф на дне Каспийского и Аральского морей / С.А. Огородов, С.В. Мазнев, П.И. Бухарицин // Известия Русского географического общества. – 2019. – Т. 151. – № 2. – С. 35–50.

#### References:

1. Nikiforov S.L. Potential geological and geomorphological risks along the Northern Sea Route / S.L. Nikiforov and others // Academy of Science Reports. – 2016. – Vol. 466. – № 2. – P. 75–77.
2. Naumov A.K. Morphometric parameters of ice bodies in the Barents Sea : dis. ... cand. geogr. sciences : 25.00.28 / Alexey Kirovich Naumov; Arct. and Antarct. research. un-ty. – Saint-Petersburg, 2010. – 175 p.
3. Ogorodov S.A. Ice scour generated bed terrain of the Caspian Sea and the Aral Sea / S.A. Ogorodov, S.V. Maznev, P.I. Bukharitsin // Russian Geographical Society Journal. – 2019. – Vol. 151. – № 2. – P. 35–50.