

РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КОРПУСА ЛЕДОСТОЙКОЙ СТАЦИОНАРНОЙ ПЛАТФОРМЫ «КАМЕННОМЫССКАЯ» ОТ КОРРОЗИИ

УДК 621.793.72::622.242.422(268)

А.В. Чеканский, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, Россия),

gazprom@gazprom.ru

О.И. Шкадун, ПАО «Газпром», O.Shkadun@adm.gazprom.ru

К.Н. Савельев, ПАО «Газпром», K.Savelyev@adm.gazprom.ru

Ю.П. Смольский, ООО «ТСЗП» (Москва, Россия), y.smolskiy@tspc.ru

EDN: KWJWMC



Освоение месторождений углеводородов на мелководном приямальском шельфе Карского моря сопряжено с решением комплекса технико-технологических задач и предполагает создание и внедрение уникального добычного оборудования, техники и технологий строительства. Высокие требования к надежности объектов обустройства промыслов в этом регионе и минимизации сроков строительства морских нефтегазопромысловых сооружений, как в условиях верфи, так и в акватории, определяют необходимость применения передовых технологий строительства. Регулярные и длительные ледовые воздействия в процессе эксплуатации обуславливают тот факт, что одной из наиболее важных задач при обустройстве месторождений в Арктике с использованием морских нефтегазопромысловых сооружений с опорной частью из стали является надежная защита корпуса от коррозии в зоне ватерлинии и переменной смачиваемости. Опыт показывает, что срок эксплуатации лакокрасочного покрытия ледостойких стационарных платформ не превышает нескольких сезонов, а далее при отсутствии ежегодных ремонтных работ по его восстановлению возможно ускоренное развитие подпленочной коррозии с образованием питтинговых язв на металлоконструкциях корпуса. Решением данной проблемы может стать применение защитных покрытий с антикоррозионными свойствами.

В целях исключения указанных рисков на этапе эксплуатации при строительстве ледовой стационарной платформы «Каменномысская» применялась технология металлизации корпуса. Чтобы подтвердить возможности реализации данного технического решения для объекта в акватории Обской губы, был проведен ряд лабораторных исследований и выполнены испытания не имеющего зарубежных аналогов металлизационного протекторного покрытия. В частности, определялись его толщина, прочность сцепления, шероховатость, коррозионная стойкость. Кроме того, проводились испытания на истирающее и ударное воздействие льда, термоциклические испытания. В статье представлены полученные результаты, проведен их анализ и показано, что созданное покрытие способно обеспечить длительную эксплуатационную надежность морских нефтегазопромысловых сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЛЕДОСТОЙКАЯ СТАЦИОНАРНАЯ ПЛАТФОРМА, ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ, МЕТАЛЛИЗАЦИОННОЕ ПРОТЕКТОРНОЕ ПОКРЫТИЕ, ЭЛЕКТРОДУГОВАЯ МЕТАЛЛИЗАЦИЯ, ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРЫТИЯ.

В настоящее время ПАО «Газпром» реализует проекты освоения морских месторождений газа у побережья о-ва Сахалин и в Арктике, включая мелководный приямальский шельф Карского моря [1]. Эти работы сопряжены с решением комплекса технико-технологических задач и предполагают создание и вне-

дрение уникального добычного оборудования, техники и технологий строительства. Высокие требования к надежности объектов обустройства промыслов в этих регионах и минимизации сроков строительства морских нефтегазопромысловых сооружений, как в условиях верфи, так и в акватории, определяют

необходимость применения передовых технологий строительства. Суровый климат, мелководность акваторий, сложное строение инженерно-геологического разреза и тяжелая ледовая обстановка – ключевые факторы, влияющие на выбор технологий освоения месторождений Обской и Тазовской губ [2, 3]. Учитывая



A.V. Chekanskiy, PJSC Gazprom (Saint Petersburg, Russia), gazprom@gazprom.ru

O.I. Shkadun, PJSC Gazprom, O.Shkadun@adm.gazprom.ru

K.N. Savelyev, PJSC Gazprom, K.Savelyev@adm.gazprom.ru

Yu.P. Smolskiy, Technological Systems of Protecting Coating LLC (Moscow, Russia), y.smolskiy@tspc.ru

Implementation of metal spraying technique for corrosion protection of the hull of Kamennomyskaya ice-resistant platform

The development of hydrocarbon fields in the shallow Pre-Yamal shelf of the Kara Sea involves solving a set of technical and technological problems by creating and introducing unique production equipment, construction equipment, and practices. High requirements to reliability of field facilities used in this region and the need to minimize the construction time of offshore oil and gas field structures both in shipyards and offshore call for advanced construction practices.

Regular and prolonged exposure to ice during operation requires reliable corrosion protection of the hull in the waterline and variable wettability zone as one of the most important tasks in Arctic field development using offshore oil and gas field structures with steel substructure. Experience shows that paintwork of ice-resistant fixed platforms can only last for a few seasons and, if not repaired every year, underfilm corrosion can accelerate to cause corrosion pits on hull steel structures. The solution to this problem may be the use of protection coatings with anti-corrosion properties.

In order to prevent the above risks at the operation stage, the hull metal spraying technique was applied during the construction of the Kamennomyskaya ice-resistant platform. A number of laboratory studies and tests of the protection coating, which is unparalleled in the world, have been carried out to prove that this engineering solution can be used for the facility in the Gulf of Ob. These included, in particular, evaluation of coating thickness, adhesion, roughness, and corrosion resistance. In addition, ice abrasion, impact, and thermal cycling tests were performed. The article presents the results, analyses them, and shows that the coating is able to provide long-term operational reliability of offshore oil and gas field structures.

KEYWORDS: ICE-RESISTANT PLATFORM, CORROSION PROTECTION, METAL-SPRAYED COATING, ELECTRIC ARC SPRAYING, COATING INVESTIGATION.

регулярные и длительные ледовые воздействия в процессе эксплуатации, к одной из наиболее важных задач при обустройстве месторождений в Арктике с использованием морских нефтегазопромысловых сооружений с опорной частью из стали следует отнести надежную защиту корпуса от коррозии в зоне ватерлинии и переменной смачиваемости. Опыт показывает, что срок эксплуатации лакокрасочных покрытий (ЛКП) ледостойких стационарных платформ (ЛСП) в Арктике не превышает нескольких сезонов, а далее при отсутствии ежегодных ремонтных работ по их восстановлению возможно ускоренное развитие подпленочной коррозии с образованием питтинговых язв на металлоконструкциях корпуса. Решением проблемы может стать применение защитных покрытий с антикоррозионными свойствами [4].

ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом исследования стало металлизационное про-

текторное покрытие (МПП), предназначенное для защиты корпуса ЛСП, устанавливаемой на месторождении «Каменномыское-море» в акватории Обской губы, от коррозии. Подбор МПП осуществлялся с учетом морской среды и ледовых воздействий в целях обеспечения долговременной эксплуатации и придания корпусу платформы необходимых функциональных свойств.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАТФОРМЫ «КАМЕННОМЫССКАЯ»

Платформа «Каменномысская» представляет собой ЛСП погружного типа со свайным креплением к морскому дну (рис. 1). Она состоит из двух конструктивных элементов: корпуса (опорной части ЛСП в виде кессона из стали) и верхнего строения (конструкций и оборудования, расположенных на верхней палубе опорной части).

Состав оборудования и конструкций, образующих верхнее строение, обусловлен прежде всего назначением – бурение

и эксплуатация газовых скважин с подачей добытого газа по подводному трубопроводу на берег. Корпус ЛСП (опорная часть) представляет собой удлиненный понтон, борта которого образованы плоскими поверхностями с вертикальными и наклонными участками (рис. 2, 3).

Основные характеристики опорной части ЛСП «Каменномысская»:

- длина корпуса – 139,2 м;
- ширина корпуса – 69,0 м;
- высота борта – 17,2/20,2 м.



Рис. 1. Общий вид ледостойкой стационарной платформы «Каменномысская»

Fig. 1. General arrangement of Kamennomyskaya ice-resistant platform

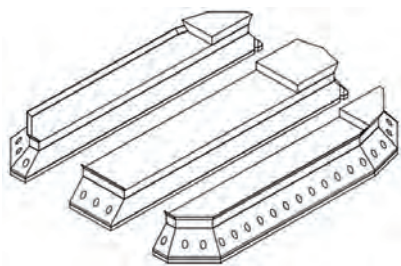


Рис. 2. Схема разбивки опорной части ледостойкой стационарной платформы «Каменномысская» на строительно-монтажные единицы
Fig. 2. Breakdown of Kamennomyskaya ice-resistant platform substructure by assemblies

Первоначальные проектные решения по защите от коррозии

В соответствии с первоначальными проектными решениями в качестве антикоррозионной защиты наружных металлоконструкций корпуса ЛСП «Каменномысская» было предусмотрено нанесение ЛКП АКРУС®, в частности:

- на днище, подводную часть, в зоне ледовых воздействий и переменного смачивания – ледостойкого покрытия АКРУС® Стронг;
- в надводной части от зоны ледовых воздействий и переменного смачивания до верха

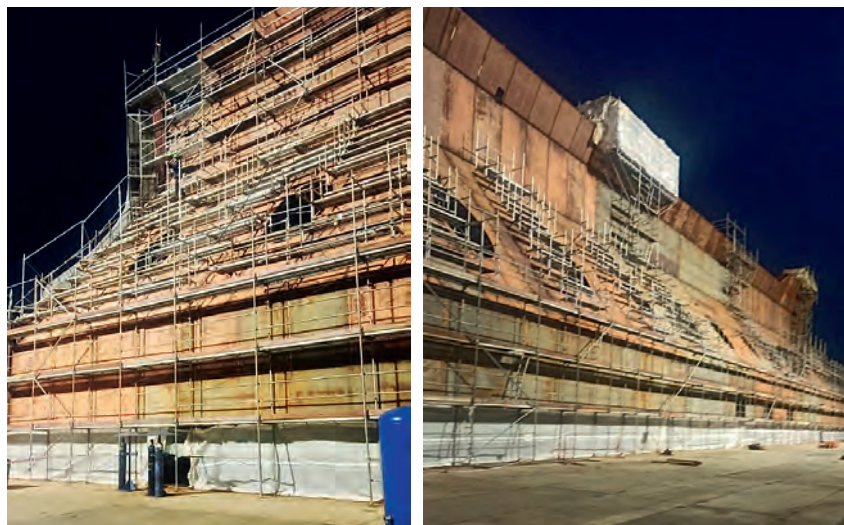


Рис. 3. Исходный вид строительно-монтажных единиц опорной части ледостойкой стационарной платформы «Каменномысская» до нанесения металлизационного протекторного покрытия
Fig. 3. Initial view of assemblies of Kamennomyskaya ice-resistant platform substructure before metal spraying

бортов – неледостойкой системы покрытий АКРУС® Эпокс С / АКРУС® Полиур.

ПРЕДЛАГАЕМОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ПО ЗАЩИТЕ ОТ КОРРОЗИИ

В целях оптимизации и повышения эксплуатационной надежности для защиты от коррозии наружной части металлоконструкций корпуса ЛСП «Каменномысская» было предложе-

но применение производимого ООО «ТСЗП» МПП на основе сплава алюминия (Al) и магния (Mg), наносимого по технологии электродуговой металлизации (ЭДМ). Выбор такого состава МПП обусловлен более высоким показателем электрохимической активности этих элементов по сравнению с железом (Fe) в электрохимическом ряду напряжений металлов. Металлизационное протекторное покрытие относится к анодному типу и представляет собой пространственно размещенный протектор, где металл МПП обладает более низким отрицательным потенциалом, чем защищаемый основной металл (для Al^{2+} этот показатель составляет $-1,66$ В, для Mg^{2+} $-2,36$ В, а для Fe^{2+} $-0,44$ В).

Особенность и преимущества предлагаемого МПП заключаются в том, что в случае повреждения целостности покрытия при механическом воздействии на корпус и появления контакта защищаемого металла с внешней средой происходит электрохимическая реакция замещения катионов железа стальных конструкций катионами протектора на основе сплава алюминий-магний из МПП, вследствие чего окисли-

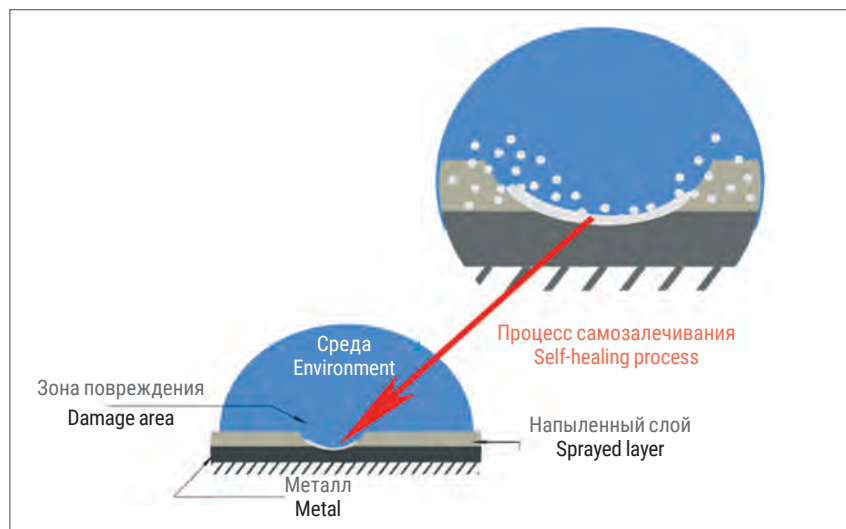


Рис. 4. Процесс самозалечивания металлизационного протекторного покрытия при его повреждении
Fig. 4. Self-healing of damaged metal-sprayed coating



тельно-коррозионные процессы на поверхности подводной части стального корпуса не развиваются, а происходит процесс самозалечивания (рис. 4).

Ввиду наличия в верхней плоскости МПП оксидной пленки Al_2O_3 , эти протекторные свойства покрытия начинают проявляться только при его повреждении, что экономит расход физической массы пространственно распределенного на корпусе металла-протектора. При этом защита основного металла продолжается в течение длительного времени, сравнимого со сроком эксплуатации металлоконструкций ЛСП. Для реализации протекторной защиты необходимо обеспечить соприкосновение самого протектора с чистой поверхностью защищаемого металла.

Применение МПП предполагается как дополнительная защита от коррозии совместно с существующими проектными решениями, связанными с использованием ЛКП, а также как способ, который позволит исключить необходимость устройства стандартной системы электрохимической защиты металлоконструкций, состоящей из станции катодной защиты в сочетании с заглубленными анодными заземлителями.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ МЕТАЛЛИЗАЦИОННОГО ПРОТЕКТОРНОГО ПОКРЫТИЯ

Металлизационное протекторное покрытие представляет собой металлизационный слой, получаемый с использованием технологии ЭДМ. Способ нанесения МПП – ручной с возможностью механизации. Технологические операции по нанесению включают:

- подготовку металлической поверхности для нанесения МПП абразивоструйной обработкой (АСО) в целях очистки, активации и создания шероховатости. Степень очистки по-

верхности должна быть не ниже $Sa\ 2\ 1/2$ в соответствии с [5], шероховатость после АСО – $Rz = 40-160$ мкм. В качестве материала для АСО может использоваться абразивный порошок фракции 0,5–1,5 мм;

- контроль поверхности после проведенной АСО;

- нанесение МПП методом ЭДМ.

Нанесение МПП для исследований и испытаний выполнялось на металлические образцы в соответствии с требованиями [6, 7]. В качестве материала использовалась проволока из сплава СвАМг5 (диаметр 2,0–2,5 мм) в соответствии с [8].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В лаборатории ООО «ТСЗП» исследовались свойства МПП посредством визуального осмотра покрытия, измерения его толщины, прочности сцепления, шероховатости, коррозионной стойкости. В ледовых бассейнах Арктического и антарктического научно-исследовательского института (АНИИ) проводились испытания, моделирующие основные типы воздействий льда на ледозащитные конструкции. Термоциклические испытания были реализованы в климатической камере Всероссийского научно-исследовательского проектно-конструкторского и технологического института кабельной промышленности.

Толщина МПП определялась с помощью прибора, предназначенного для измерения толщины ферромагнитных покрытий на ферромагнитных основаниях и обеспечивающего контроль толщины данного покрытия с погрешностью не более $\pm 3\%$.

Прочность сцепления МПП и металлической поверхности измерялась с помощью гидравлического адгезиметра PosiTest AT-A. Исследования выполнялись по клеевой методике с контролем нагрузки, приложенной перпендикулярно к плоскости склеивания, до момента отрыва упора от МПП.

Термоциклические испытания проводились в климатической камере типа МНУ-800 CNSA по следующей методике: образцы с МПП подвергались пяти и десяти циклам температурного воздействия. Каждый цикл состоял из выдержки образцов с покрытием в климатической камере при температуре $-60\ ^\circ\text{C}$ в течение не менее 1 ч. Затем они извлекались и выдерживались при температуре $(+25 \pm 10)\ ^\circ\text{C}$ не менее 1 ч. После воздействия всех циклов проводился внешний визуальный осмотр образцов с МПП без применения увеличительных приборов.

Износостойкость покрытия при взаимодействии со льдом исследовалась в АНИИ. Испытания проводились в морозильных камерах комплекса ледовых бассейнов при температуре на уровне от -8 до $-10\ ^\circ\text{C}$. Моделировались основные типы воздействия льда на корпус ЛСП «Каменномысская».

Для проведения *испытаний на статическое сдвиговое воздействие льда* использовался стенд, состоящий из гидравлического пресса и специальной оснастки для крепления блока льда, образца с МПП и направляющей, препятствующей смещению блока при проведении испытания (рис. 5).

В оснастке стенда на наклонной поверхности закреплялся образец с МПП. Блок льда располагался таким образом, чтобы он касался металлического образца ребром, т. е. в начальный момент времени зона контакта представляла собой линию. Нагрузка блока льда, воздействующего на образец с МПП, создавалась посредством надавливания на него гидравлическим прессом. Скорость движения поршня пресса составляла порядка 0,014 м/с, продолжительность каждого процесса нагружения – около 13–15 с.

Для проведения *испытаний на истирающее воздействие льда* использовался стенд, представляющий собой конструкцию

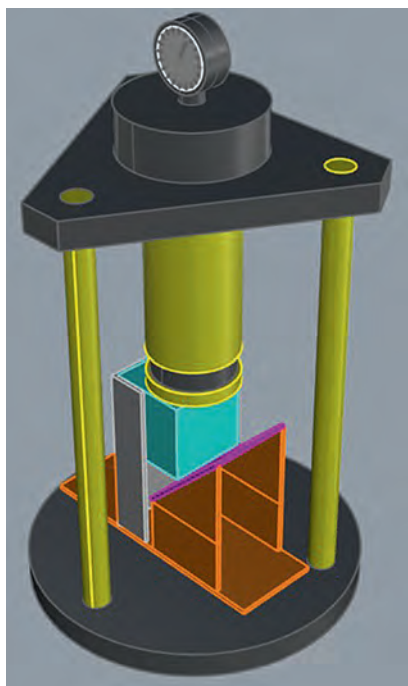


Рис. 5. Схема станда для проведения испытания металлизационного протекторного покрытия на статическое сдвиговое воздействие льда: желтый – гидравлический пресс; голубой – блок льда; розовый – образец покрытия; оранжевый – упор
Fig. 5. Arrangement of metal-sprayed coating test fixture for ice static shear impact tests: yellow – hydraulic press; light blue – ice block; pink – coating specimen; orange – support

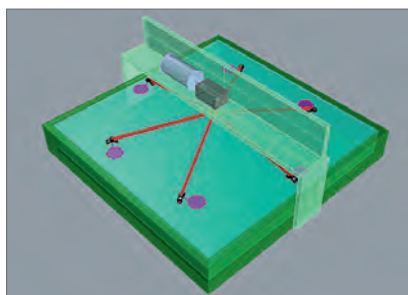


Рис. 6. Схема станда для проведения испытаний металлизационного протекторного покрытия на истирающее воздействие льда: зеленый – герметичная емкость; бирюзовый – пресноводный лед; красный – кронштейны; розовый – исследуемые образцы; темно-серый – сервопривод; светло-серый – электродвигатель
Fig. 6. Arrangement of metal-sprayed coating test fixture for ice abrasion tests: green – sealed container; turquoise – fresh water ice; red – brackets; pink – tested specimens; dark gray – servomotor; light gray – electric engine

из шести кронштейнов, которая приводится во вращение с постоянной скоростью электродвигателем с редуктором. Электродвигатель устанавливался на опорах над герметичной емкостью квадратной формы, в которой был создан пресноводный лед естественного намерзания толщиной около 0,3 м. На кронштейнах располагались крепления для фиксирования испытуемых образцов, а также грузов разной массы (рис. 6).

На кронштейнах станда закреплялись образцы с МПП под одинаковой нагрузкой. Параметры при проведении испытаний:

- длина кронштейна от центра вращения до центра образца (радиус окружности при вращении) – 0,63 м;
- частота вращения конструкции кронштейнов – 7,5 об/мин;
- расстояние, пройденное образцом за 1 ч, – около 1800 м;
- нагрузка на образцы с МПП – 2, 5, 10, 15 кг.

В процессе испытаний фиксировались основные характеристики процесса: масса груза, количество оборотов, протяженность взаимодействия (пройденное расстояние).

Для проведения испытаний на ударное воздействие льда использовался стан, состоящий из вертикальной стойки, оснастки для установки образца с МПП, оснастки для установки блока льда, оборудованной стопором, ударной части, состоящей из кронштейна с шарнирным креплением над местом установки образца пластины с грузами (рис. 7).

При проведении испытания кронштейн с закрепленным грузом (10 или 15 кг) и блоком льда на ударной части отводился на угол 90° от вертикальной оси, после чего под собственным весом происходил удар блока льда по образцу с МПП. В результате такого воздействия блок льда разрушался, и оценивалась стойкость покрытия.

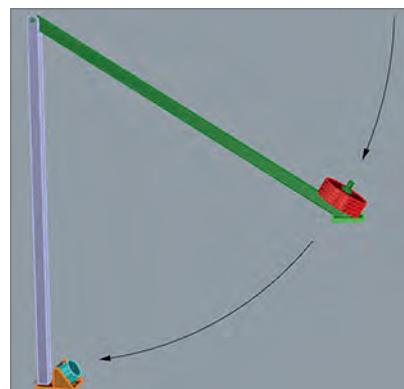


Рис. 7. Схема станда для испытания ударного воздействия при падении блока льда на ледозащитную часть: сиреневый – вертикальная стойка; зеленый – кронштейн; красный – груз; голубой – образец покрытия; оранжевый – оснастка для установки покрытия; светло-зеленый – блок льда
Fig. 7. Arrangement of test fixture for ice impact tests when a block of ice falls on ice protection: lilac – upright pole; green – bracket; red – weight; light blue – coating specimen; orange – metal spraying equipment; light green – ice block



Рис. 8. Вид образца с металлизационным протекторным покрытием
Fig. 8. View of metal-sprayed specimen

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В результате визуального осмотра МПП отмечено равномерное, сплошное покрытие однородного цвета (рис. 8).

Результаты измерения толщины покрытия

Проектная толщина МПП, нанесенного методом ЭДМ на наружную поверхность опытных образцов, составляла не менее 200 мкм



Таблица 1. Результаты измерения толщины металлизационного протекторного покрытия
Table 1. Metal-sprayed coating thickness measurement results

№ образца Specimen No.	Толщина покрытия*, мкм Coating thickness*, μm					
1.1	276	333	372	412	327	469

* Среднеарифметическое значение – 365 мм.
* Arithmetic mean is 365 mm.

для защиты дна, подводной части бортов и не менее 300 мкм для защиты зоны ватерлинии и переменного смачивания. Результаты измерения толщины МПП представлены в табл. 1.

Результаты измерения прочности сцепления покрытия

Проектная прочность сцепления МПП с металлической поверхностью должна быть не менее 5 МПа, верхний предел не регламентируется. Полученные результаты представлены в табл. 2, вид образца с МПП после измерений – на рис. 9.

Результаты термоциклических испытаний покрытия

Результаты термоциклических испытаний МПП приведены в табл. 3.

По истечении пяти циклов на образцах с МПП № 1 (17) и № 2 (18), а также после десяти циклов на образцах № 3 (21) и № 4 (22)

Таблица 2. Результаты измерения прочности сцепления металлизационного протекторного покрытия для образца № 1.2 при адгезионно-когезионном типе разрушения
Table 2. Results of metal-sprayed coating adhesion measurement for specimen No. 1.2 with adhesion-cohesion type of failure

Номер упора на образце Specimen stop No.	Прочность сцепления*, МПа Adhesion*, MPa
1	12,25
2	13,09
3	11,26

* Среднеарифметическое значение – 12,20 МПа.
* Arithmetic mean is 12.20 MPa.

при визуальном осмотре повреждений покрытия не выявлено. Это говорит о том, что предлагаемый химический состав МПП пригоден для эксплуатации в арктических условиях.

Результаты испытаний покрытия на ледовое воздействие

В результате испытаний при статическом сдвиговом воздействии льда у МПП после каждого цикла происходило незначительное плавное уменьшение толщины (с 200 до 170 мкм в течение 137 циклов). При дальнейшем испытании (137–273-й циклы) наблюдалось резкое уменьшение толщины (с 170 до 60 мкм с дальнейшим снижением до 10–20 мкм). Визуально было отмечено утонение слоя МПП в месте воздействия кромки блока льда с сохранением покрытия на основе. Дополнительное воздействие солевого раствора после испытания показало стойкость покрытия к коррозии, несмотря на уменьшение толщины. Вид образца с МПП после статического сдвигового воздействия льда представлен на рис. 10.

В испытании на истирающее воздействие льда при нагрузках 2, 5 и 10 кг оценивалась стойкость МПП. Отмечено, что увеличение нагрузки способствует меньшему износу покрытия. Причина, вероятно, заключается в том, что при малой нагрузке (2 кг) наблюдается приработка покрытия и его трение о твердую поверхность льда. При увеличении нагрузки до 5–10 кг отмечается выработка льда и трение уже происходит не об его твердую поверхность, а о продукт

выработки льда, выступающий в качестве промежуточного слоя (сухая смазка) между твердой поверхностью льда и МПП, соответственно, трение и износ покрытия снижаются. Из табл. 4 видно, что МПП характеризуется незначительным изменением толщины (износом) за единицу протяженности взаимодействия (пройденного пути) при пересчете на 1000 м, а следовательно, является износостойким.

Визуально было отмечено полирование отдельных участков поверхности МПП в процессе испытания. Иными словами, произошла приработка поверхностных слоев покрытия и льда, а затем установился плавный равномерный и незначительный износ.

Дополнительное воздействие на МПП солевым раствором после испытаний с выдержкой в течение 24 ч показало отсутствие признаков окисления и следов коррозии металла. Вид образца с МПП после истирающего воздействия льда представлен на рис. 11а.

В результате испытаний МПП при ударном воздействии льда оценивалась стойкость покрытия. Была отмечена закономерность, заключающаяся в приработке на начальном этапе и равномерном воздействии в дальнейшем. Визуальный анализ образцов

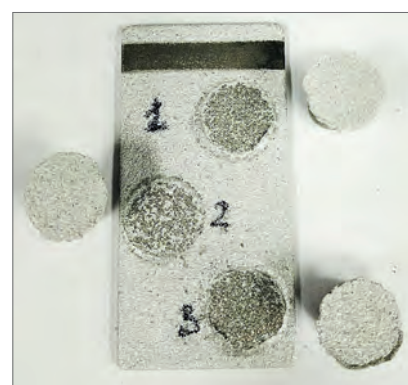


Рис. 9. Вид образца с металлизационным протекторным покрытием после измерения прочности сцепления
Fig. 9. View of metal-sprayed specimen after adhesion measurement

Таблица 3. Результаты термоциклических испытаний металлизационного протекторного покрытия
Table 3. Metal-sprayed coating thermal cycling test results

№ образца Specimen No.	Температура, °C Temperature, °C				Число циклов Number of cycles	
	Период охлаждения Cooling time		Период нормальных климатических условий Normal climatic conditions' time			
	Нормированное значение Required	Фактическое значение Actual	Нормированное значение Required	Фактическое значение Actual	Нормированное значение Required	Фактическое значение Actual
1 (17), 2 (18)	-60 ± 2, не менее 1 ч -60 ± 2, min 1 h	От -59,9 до -60,2; 1 ч From -59.9 to -60.2; 1 h	+25 ± 10, не менее 1 ч +25 ± 10, min 1 h	От +21,7 до +22,1; 1 ч From +21.7 to +22.1; 1 h	5	5
3 (21), 4 (22)	-60 ± 2, не менее 1 ч -60 ± 2, min 1 h	От -59,8 до -60,2; 1 ч From -59.8 to -60.2; 1 h	+25 ± 10, не менее 1 ч +25 ± 10, min 1 h	От +21,7 до +23,9; 1 ч From +21.7 to +23.9; 1 h	10	10

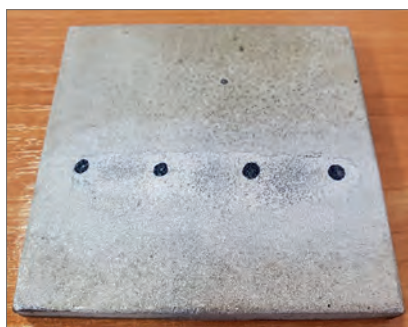


Рис. 10. Вид образца с металлизационным протекторным покрытием после статического сдвигового воздействия льда (237 циклов воздействия)
Fig. 10. View of metal-sprayed specimen after static shear impact of ice (237 cycles)

свидетельствует о том, что обработка покрытия происходила в течение 65 циклов, при этом наблюдалось плавное снижение его толщины на 0,028 мм, далее до 269 циклов утонение практически не происходило, несмотря на то, что после 157 циклов нагрузка была увеличена с 10 до 15 кг. В итоге уменьшение толщины покрытия составило 0,032 мм. Видимых повреждений МПП на испытываемых образцах не наблюдалось.

Визуальный анализ после дополнительного воздействия солевого раствора с выдержкой в течение 24 ч не выявил признаков

возникновения окисления и следов коррозии металла, что говорит о целостности покрытия и его протекторных свойствах. Вид образца с МПП после ударного воздействия льда представлен на рис. 116.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты испытаний МПП показали, что покрытие имеет стойкость к длительному статическому сдвиговому воздействию льда, сохраняет протекторные свойства и может быть рекомендовано для применения в условиях Обской губы.

Кроме того, было установлено, что МПП имеет высокую

Таблица 4. Результаты испытания образцов на истирающее воздействие льда
Table 4. Ice abrasion test results

№ образца Specimen No.	Нагрузка на образец при испытании, кг Specimen test load, kg	Протяженность взаимодействия (пути), км Interface (path) length, km	Изменение толщины образца за протяженность взаимодействия, мм Specimen thickness change over interface length, mm	Изменение толщины покрытия за единицу протяженности взаимодействия (пути) при пересчете на 1000 м, мм Coating thickness change per unit of interface (path) length as 1000 m, mm
2.8	2	237,9	0,17	0,000 71
2.9	5	237,9	0,16	0,000 67
2.10	10	180,3	0,08	0,000 44

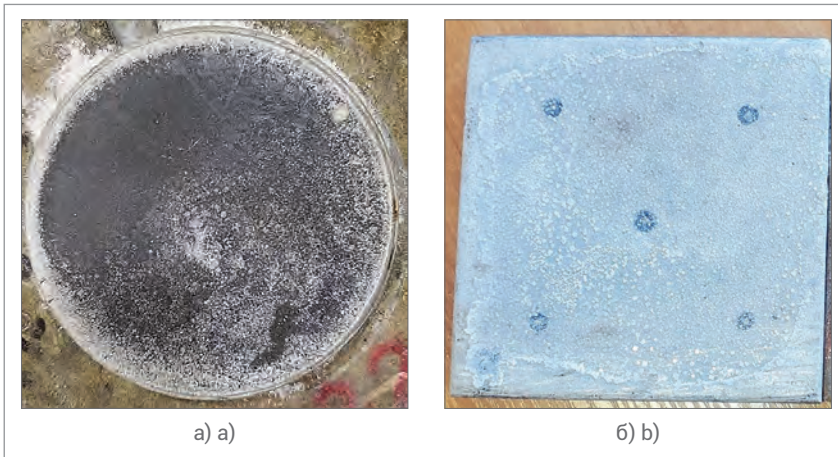


Рис. 11. Вид образца с металлизационным протекторным покрытием после истирающего (а) и ударного (б) воздействия льда
Fig. 11. View of metal-sprayed specimen after exposure to ice abrasion (a) and impact (b)

износостойкость к истирающему воздействию льда, однако из-за относительно невысокой твердости и низкой пластичности покрытия происходят его приработка и плавный равномерный и незначительный износ. При этом МПП после испы-

тания продолжает обеспечивать защиту от внешней среды и коррозионного воздействия.

Наконец, МПП более стойко по сравнению с другими покрытиями при ударном воздействии льда за счет низкой твердости и пластичности.

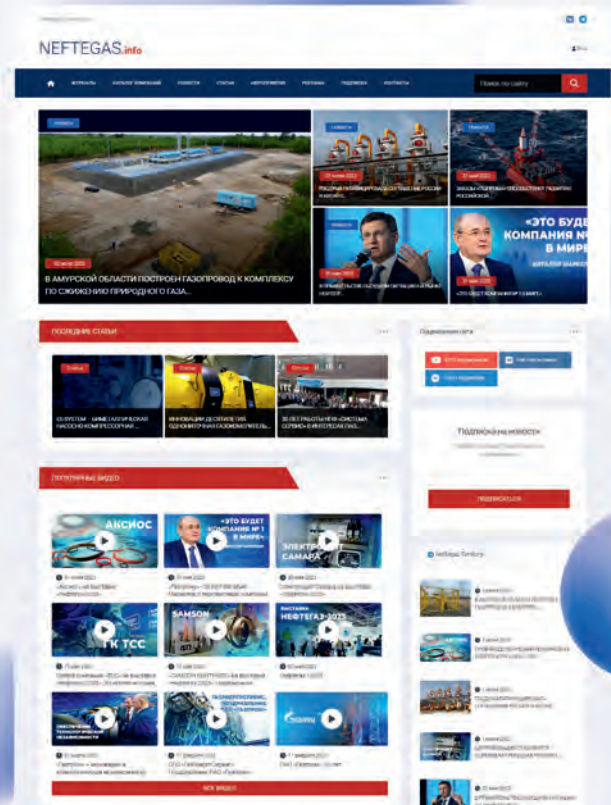
Таким образом, на основе результатов проведенных испытаний можно заключить, что к преимуществам технологии металлизации относятся:

- усовершенствованный состав применяемых материалов для нанесения покрытий путем создания композиций, использования систем из различных материалов, обеспечивающих сочетание требуемых функциональных свойств покрытий, таких как коррозионная стойкость, высокая прочность и пластичность;
- коррозионная стойкость (защита от подпленочной коррозии) вследствие протекторных свойств покрытий (самозалечивание при механическом повреждении), обеспечиваемая использованием в качестве металлического слоя сплава AlMg, т. е. многофазной системы из разнородных зерен металлов. В таком сочетании наилучшим образом проявляются как гальванические протекторные

NEFTEGAS.info

Внимание к деталям – от идеи до воплощения!

Только актуальная информация
и свежие новости



свойства магния, так и пассивационные свойства алюминия за счет создания на поверхности оксидной пленки Al_2O_3 . Сплав СвАМГ5 более эффективно защищает от коррозии в морской среде;

- высокая пластичность (алюминий и его сплавы деформируются, но не отрываются);

- твердость покрытий 40–60 HV;

- адгезионная прочность покрытий к основному металлу около 10–20 МПа (на два порядка выше по сравнению с ЛКП). Связь между МПП и поверхностью металлоконструкций – адгезионная;

- ремонтпригодность покрытия (возможен его ремонт и восстановление);

- срок эксплуатации покрытий в морских условиях – 20 лет и более;

- рабочая толщина покрытия – 150–500 мкм в зависимости

от агрессивного воздействия среды эксплуатации. Рациональный выбор толщины покрытия определяет продолжительность срока службы, расход материала и стоимость нанесения;

- возможность использования в качестве праймера для изолирующих, в том числе лакокрасочных, покрытий.

ВЫВОДЫ

В рамках внедрения передовых инновационных решений, направленных на увеличение срока антикоррозионной защиты металлоконструкций опорной части ЛСП «Каменномысская», в проектную систему окраски между металлоконструкциями корпуса ЛСП и ЛКП АКРУС® было введено МПП.

Проведенные исследования и испытания показали, что ме-

таллизационное покрытие, нанесенное на стальной корпус платформы, представляет собой пространственно распределенный анод, обеспечивающий протекторную защиту и сохраняющий защитные свойства даже при повреждении, что позволяет обеспечить длительную эксплуатацию надежную. После нанесения покрытия на ЛСП образуется оксидная пленка, предохраняющая корпус платформы от коррозионного воздействия морской воды и атмосферного воздуха. Выбор сплава алюминия и магния обусловлен более низкими показателями их электрохимической активности по сравнению с железом в электрохимическом ряду напряжений металлов, что обеспечивает высокую коррозионную стойкость покрытия. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Началось строительство ледостойкой платформы для месторождения Каменномысское-море // Газовая промышленность. 2020. № 7 (803). С. 8. EDN: PFUIDG.
2. Оганов Г.С., Митрофанов И.Б., Карпов А.М. и др. Анализ возможных ледовых воздействий на ледостойкое сооружение в районе месторождения Каменномысское-море // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2018. № 4 (36). С. 123–130. EDN: YYTDTV.
3. Ильченко Д.В., Голубин С.И., Савельев К.Н., Дмитриенко Н.А. Перспективы использования геохимических методов укрепления грунтов при строительстве морских нефтегазопромысловых сооружений в условиях Обской и Тазовской губ // Газовая промышленность. 2022. № S2 (833). С. 44–54. EDN: LBRHAF.
4. Чургулия Д.Т., Коршунов В.В. Методы предотвращения коррозионных процессов металлических конструкций морских нефтегазовых сооружений // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием / отв. ред. Н.Д. Беляев, В.В. Елистратов. СПб.: СПбПУ, 2019. Ч. 1. С. 152–155. EDN: ABWTHX.
5. ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014. Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 1. Степень окисления и степени подготовки непокрытой стальной поверхности и стальной поверхности после полного удаления прежних покрытий // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200111625> (дата обращения: 06.11.2024).
6. ГОСТ 9.304-87. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия газотермические. Общие требования и методы контроля // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014731> (дата обращения: 06.11.2024).
7. ГОСТ 28302-89. Покрытия газотермические защитные из цинка и алюминия металлических конструкций. Общие требования к типовому технологическому процессу // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014770> (дата обращения: 06.11.2024).
8. ГОСТ 7871-2019. Проволока сварочная из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия // Кодекс: электрон. фонд правовых и норматив.-техн. док. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200168560> (дата обращения: 06.11.2024).

REFERENCES

- (1) Construction of an ice-resistant platform for the Kamennomyskoye-Sea field has begun. *Gas Industry* [Gazovaya promyshlennost']. 2020; 803(7): 8. (In Russian)
- (2) Oganov GS, Mitrofanov IB, Karpov AM, Karulina MM, Karulin YeB, Blagovidova IL, et al. Analysis of possible ice exposures to an ice-resistant structure in the area of Kamennomyskoye-more field. *Scientific-Technical Collection Book "Gas Science Bulletin"* [Nauchno-tehnicheskiy sbornik "Vesti gazovoy nauki"]. 2018; 36(4): 123–130. (In Russian)
- (3) Ilchenko DV, Golubin SI, Savelyev KN, Dmitrienko NA. Prospects of using chemical soil stabilization methods when constructing offshore oil and gas field structures in the Gulf of Ob and Taz Estuary. *Gas Industry*. 2022; 833(S2): 44–54. (In Russian)
- (4) Churguliya DT, Korshunov VV. Methods for preventing corrosion processes of metal structures of offshore oil and gas facilities. In: Belyaev ND, Elistratov VV (eds.) *Week of Science SPbPU: Proceedings of the Scientific Conference with International Participation, 18–23 November 2019, Saint Petersburg, Russia. Pt. 1*. Saint Petersburg: Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University; 2019. p. 152–155. (In Russian)
- (5) Federal Agency on Technical Regulating and Metrology. *GOST R ISO 8501-1-2014 (state standard). Preparation of steel substrates before application of paints and related products. Visual assessment of surface cleanliness. Part 1. Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings*. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200111625> [Accessed: 6 November 2024]. (In Russian)
- (6) USSR State Committee of Standards. *GOST 9.304-87. Unified system of corrosion and ageing protection. Thermal sprayed coatings. General requirements and methods of control*. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200014731> [Accessed: 6 November 2024]. (In Russian)
- (7) USSR State Committee on Quality Management of Products and Standards. *GOST 28302-89. Thermal sprayed protective coatings from zinc and aluminium of metallic constructions. General requirements for a typical technological process*. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200014770> [Accessed: 6 November 2024]. (In Russian)
- (8) Euro-Asian Council for Standardization, Metrology and Certification. *GOST 7871-2019. Filler wire of aluminium and aluminium alloys. Specifications*. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200168560> [Accessed: 6 November 2024]. (In Russian)