



ПРИМЕНЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ «СТАЛЬНАЯ РУБАШКА» ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ СВАЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МОРСКИХ ОБЪЕКТАХ

Ф.Г.Гасанов

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

Application of the «Steel Plate» Design for the Major Turnaround of Metal Support Piles at Offshore Process Facilities

F.G.Hasanov

«OilGasScientificResearchProject» Institute, SOCAR, Baku, Azerbaijan

Abstract

The article deals with the major turnaround of offshore process facilities as in the case of a Booster Station No.2 on SKS-2, located at the Oil Rocks field, the service life of which has come to an end and metal pipes are subject to severe corrosion. The technological and economic feasibility of using «steel plate» design during the major turnaround of metal support piles made of highly corroded metal pipes are considered in the article. It is mentioned that, despite the drastic reduction in the durability of metal structures due to corrosion in the splash zone, the service life of these structures can be extended by another 25 years through application of enhanced «steel plate» design. For the first time, it is proposed to use an advanced design «steel plate» for workover of pier platforms, offshore oil-derricks, in particular, pile supports made of metal pipes and offshore piers where technological facilities are located.

Keywords:

Processing facilities;
Pier;
Pier platform;
Hydraulic engineering installations;
Steel plate;
Piles;
Workover.

© 2020 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Металлоконструкции эстакад и приэстакадных площадок, являющихся основными элементами инфраструктуры морских объектов SOCAR, и особенно опорные сваи этих конструкций изготовлены в основном из карбоновых и низколегированных металлов. Проектирование конструкции сваи из углеродистых и низколегированных металлов и определение ее срока службы в соответствии с категорией в морских условиях требует от инженеров-конструкторов учитывать ряд факторов, включая ключевые факторы, такие как скорость коррозии, износ и механические повреждения. Известно, что виды коррозии металлических конструкций из углеродных и низколегированных металлов, применяемые в море, и методы борьбы с этим процессом изучались учеными на протяжении веков. Начиная с 1948 года эстакады и приэстакадные площадки строящиеся на металлических сваях на протяжении 70 лет, в морских условиях эксплуатируются SOCAR не более 25 лет. В зависимости от условий экс-

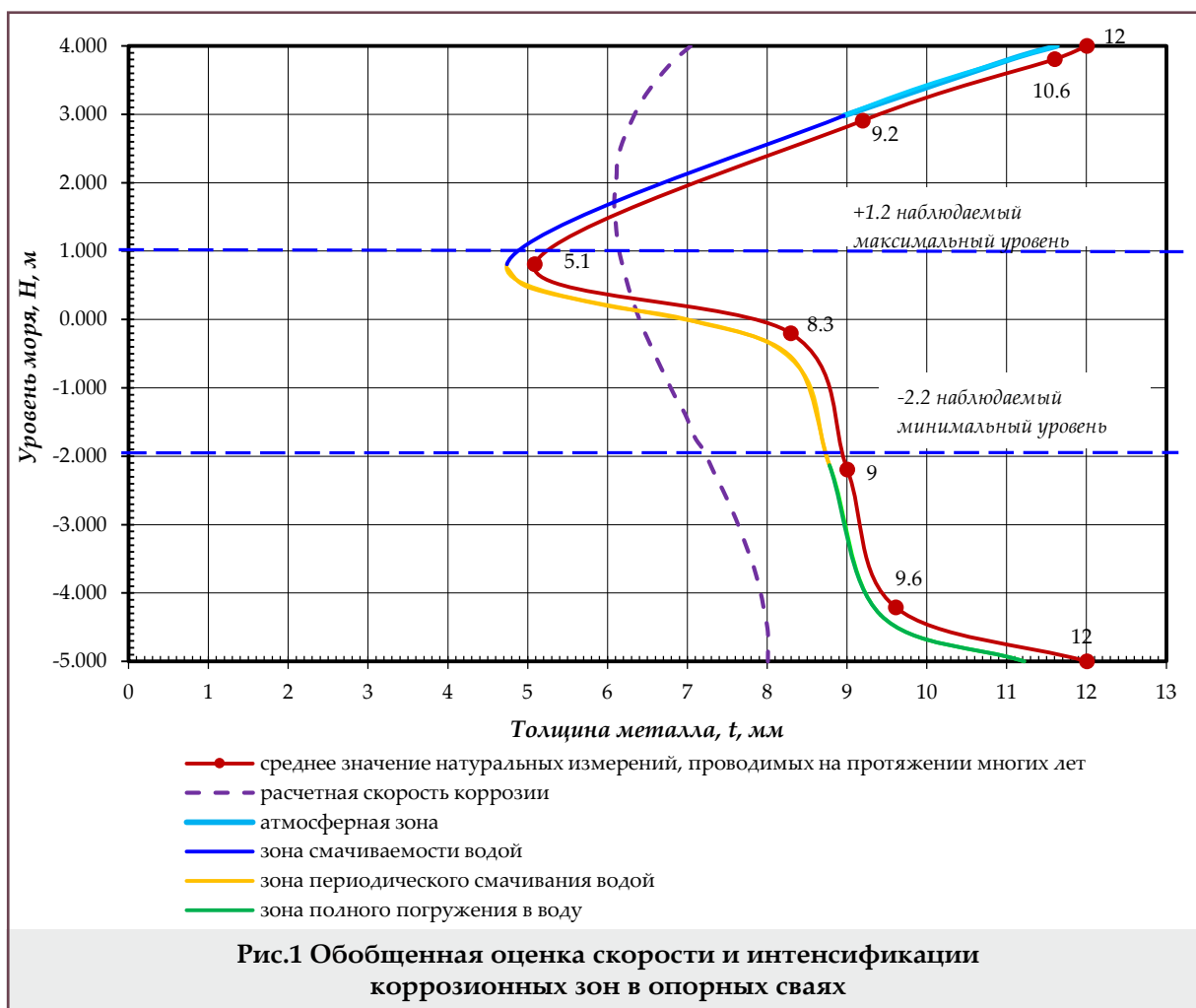
плуатации рассматриваемых гидротехнических сооружений скорость коррозионных процессов в их опорных сваях и характер распространения коррозии широко варьируются в зависимости от конкретных зон. Эти зоны нижеследующие:

1. Атмосферная зона – верхняя часть сваи над уровнем воды +3 м;
2. Зона смачивания – часть сваи от +1 до +3 м;
3. Зона периодического смачивания – часть воды между уровнями -2 ÷ +1 м;
4. Зона полного погружения – часть от уровня воды -2 м до грунта [1].

В течение многих лет НИПИ «Нефтегаз» SOCAR с помощью натуральных измерений изучал скорость и характер коррозии гидротехнических сооружений в вышеупомянутых областях их, опорных свай, чтобы оценить техническое состояние и остаточные запасы морской инфраструктуры SOCAR. Окончательные результаты многолетних измерений показали, что скорость и интенсивность коррозии в зоне периодического смачивания металлических свай и конструкций водой значительно выше, чем в других зонах. Ниже приведены обобщенные данные многолетних измерений скорости

E-mail: FazilQ.Hasanov@socar.az

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20200200436>



и интенсивности коррозионных зон в морских условиях, опорных свай изготовленных из труб $\varnothing 530 \times 12$ - ГОСТ 10704-91, Ст-3 - ГОСТ10706-76 после 22 лет эксплуатации (рис.1).

Несмотря на то, что в течение многих лет, в соответствии с уровнем развития научно-технического прогресса, инженеры-исследователи разрабатывали и применяли различные методы и приемы для защиты и ремонта зоны периодического смачивания свайных конструкций, работающих в море, эта проблема еще полностью не решена. В начале 1950-х годов еще на этапе строительства для защиты от коррозии в зонах периодического смачивания опорных свай, с помощью хомутов были установлены рубашки из асбестовых труб, а пространство между рубашкой и стенкой свай заполняли солидоловым маслом, а сверху рубашка покрывалась битумом.

В конце 1960-х годов асбестовые трубы были заменены металлическими, а пространство было заполнено цементным раствором. Впоследствии начиная с 1990 годов с участием нынешнего НИПИ «Нефтегаз» SOCAR был разработан руководящий документ для проведения ремонтов гидротехнических сооружений - РД 31.35.13-90 «Указания по ремонту гидротехнических сооружений на морском транспорте» [2]. И в этом документе решение вышеупомянутой проблемы относится только к зоне периодического смачи-

вания свай. Использование только водолазного труда при ремонте этой части свай методами, указанными в документе, создает ряд технических и технологических трудностей, а также высокие экономические затраты. В настоящее время в морской инфраструктуре SOCAR эксплуатируются сотни километров эстакад и сотни эстакадных площадок. Эти гидротехнические сооружения полностью построены на металлических сваях и имеют срок службы 17-25 лет. Капитальный ремонт объектов длительного пользования, особенно опорных свай, является приоритетом как для института, так и для SOCAR.

Большой опыт эксплуатации и проектирования позволил автору осуществить ряд нововведений и улучшений, в отличие от существующих методологий [1], для решения этой проблемы. Таким образом автор предложил комплексный подход к капитальному ремонту опорных свай гидротехнических сооружений эксплуатируемых в морских условиях до 25 лет, в зонах периодического смачивания и предложил новую методику укрепления всех участков свай до дна одновременно. Этот метод ремонта опорных свай позволил дать вторую эксплуатационную жизнь насосно-компрессорной станции «SKS-2», находящейся на участке «Нефтяные камни», НГДУ им. 28 Мая.

Этот объект без перерывов эксплуатируется с 1994 года. Площадь производственной площадки

составляет более 5000 м². Глубина моря в акватории составляет 9 метров. Этот объект в состоянии транспортировать по подводным трубопроводам на сушу, на расстояние 45 км, 11 млн.м³ газа низкого давления, добываемого на морских инфраструктурах суточно. Приемное давление 0.5 МПа, давление транспортировки 5.5 МПа. Однако в настоящее время эта огромная станция, состоящая из 16 компрессоров, работает на 50% своей мощности и транспортирует на побережье 5.5 млн.м³ газа в день.

С момента ввода в эксплуатацию из-за наличия газопроводов высокого давления и 16 компрессоров, работающих непрерывно, в течение многих лет практически невозможно было выполнить ремонт из-за высокого фактора риска в опорных сваях этого объекта. Поэтому коррозия в зонах периодического смачивания опорных свай с размерами труб Ø530x12 в некоторых местах достигла 8 мм. Компрессоры, создают высокочастотную динамическую нагрузку, и амплитуда площадки начала двигаться в горизонтальном направлении с периодическими колебаниями, достигающими 25-30 см. Любая авария на этом объекте приведет к прекращению как транспортировки, так и добычи газа, добываемого во всей морской инфраструктуре. В качестве альтернативы, строительство новой электростанции такой мощности не может считаться экономически эффективным, а также обеспечивать бесперебойную работу объектов. Поэтому была поставлена задача разработки ремонтно-восстановительного метода, который обеспечивает работу опорных свай площадки в течение еще одного периода эксплуатации, сохраняя при этом бесперебойную работу объекта, и эта задача была достигнута.

Таким образом, подход к проблеме с точки зрения сохранения первоначальной прочности после ремонта и возвращения еще одного эксплуатационного периода, и проведение ремонтно-восстановительных работ с получением большей экономической эффективности выгодно отличается от других существующих традиционных методов и приемов.

Вновь предложенная методология отличается от других существующих методологий рядом ключевых преимуществ:

- в ремонтно-восстановительном процессе использование водолазного труда сводится практически к нулю;
- 2 половинные «стальные рубашечные» конструкции герметично запечатаны друг с другом и между секциями и работают как единая конструкция от дна воды до верха сваи на поверхности;
- свободная длина конструкции стальной рубашки увеличена до 18 м, и ее работа в качестве единой конструкции с существующими сваями обеспечивается за счет бетонирования зазоров. Принцип работы этой конструкции основан на принципе работы трубобетонных конструкций в тех-

нической литературе;

- после ремонта опорная свая может эксплуатироваться еще 25 лет, время от времени предпринимая дополнительные антикоррозионные меры.

Задача обеспечения прочности и совместной работы «стальной рубашки», основной опорной сваи и соединяющих их бетона была решена нижеприведенной методикой.

В трубо-бетонной свае обязательно, чтобы металлическая труба и бетон работали вместе и чтобы свая была устойчивой:

В отчете:

$$E_{\text{металл}} = 2.1 \times 10^6 \text{ кг/см}^2 \approx 2.1 \times 10^5 \text{ МПа}$$

$$E_{\text{бетон}} = 3.1 \times 10^3 \text{ кг/см}^2 \approx 3 \times 10^4 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{бетон}} = 250 \text{ МПа}$$

$$R_{\text{бетон}} = 25 \text{ МПа было принято.}$$

Предполагая, что нормальная нагрузка действует на металлическую трубу и бетонный цилиндр одновременно, из статического уравнения получается следующее уравнение [2]:

$$\sum x=0, N = N_{\text{металл}} + N_{\text{бетон}} = N_{\text{расчет}}$$

здесь: $N_{\text{расчет}}$ – расчетная сжимающая сила;

$N_{\text{металл}}$ – расчетная нормальная сила в трубе;

$N_{\text{бетон}}$ – расчетные нормальные силы в бетоне.

Как видно, здесь задача статически нерешаема. Поэтому дополнительное уравнение определялось исходя из деформации железобетонной сваи. Основываясь на взаимодействии бетонного цилиндра и металлической трубы, уравнение укорочения их свободных длин под воздействием нагрузки записывается следующим образом:

$$\Delta l_{\text{металл}} = \Delta l_{\text{бетон}} \quad (1)$$

$$\frac{N_{\text{металл}} \times l}{E_{\text{металл}} \times F_{\text{металл}}} = \frac{N_{\text{бетон}} \times l}{E_{\text{бетон}} \times F_{\text{бетон}}} \quad \text{отсюда}$$

$$\frac{N_{\text{металл}}}{2.1 \times 10^6 \times F_{\text{металл}}} = \frac{N_{\text{бетон}}}{3 \times 10^5 \times F_{\text{бетон}}} \quad \text{получаем.}$$

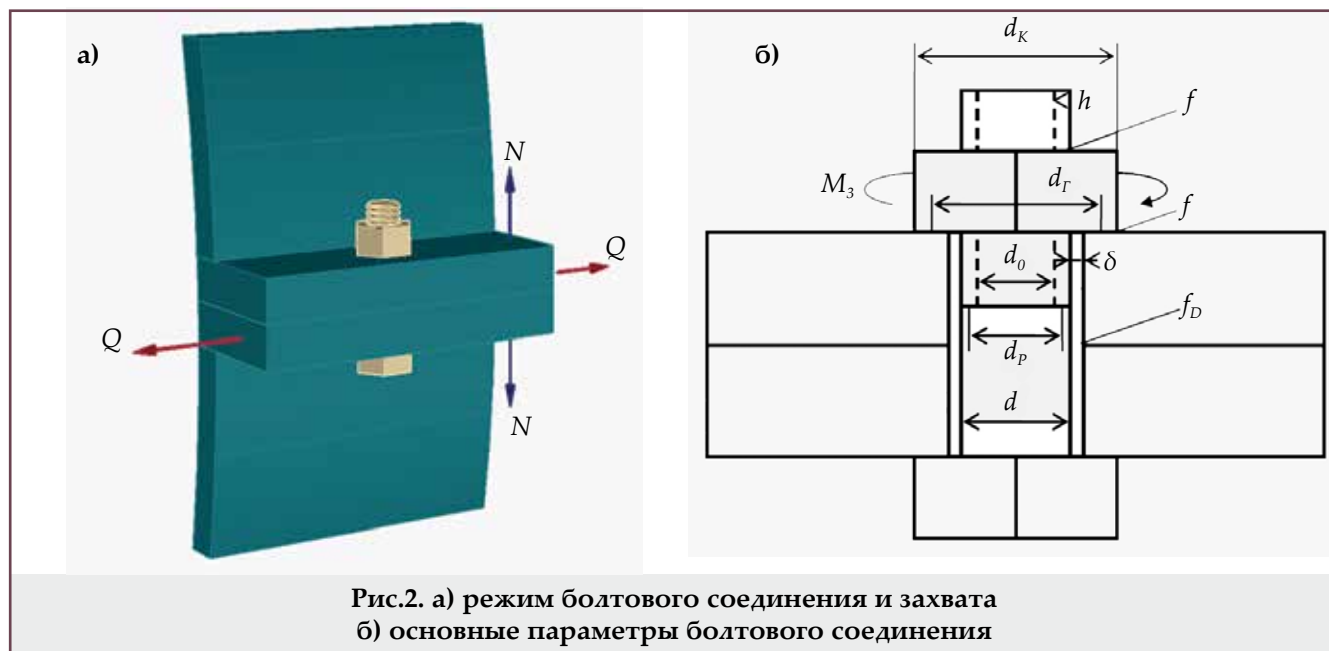
Определив нормальные силы и напряжение отдельно в металлической трубе и бетонном цилиндре и определив их прочность по отдельности была проверена общая прочность опорной сваи.

$$\sigma_{\text{металл}} = \frac{N_{\text{металл}}}{F_{\text{металл}}}$$

$$\sigma_{\text{бетон}} = \frac{N_{\text{бетон}}}{F_{\text{бетон}}}$$

Поскольку SKS-2 является единственным стратегически важным объектом для транспортировки почти всего морского газа на побережье, дальнейшая эксплуатация этой станции всегда является главным приоритетом для SOCAR, так как это вопрос государственной важности.

Для усиления опорных свай объекта в форме полумесяца с помощью конструкции из двух частей «стальная рубашка», в основном использовались болтовые соединения. Как известно, существует два режима работы болтовых соединений, которые принципиально различаются [3].



Первый из этих соединений работает в штифтовом режиме (рис.2а), и в основном предотвращает смещение соединяющих деталей от контактной (поперечной) силы Q . Второй - это шарнирное соединение (рис.2а), которое, в основном, предотвращает разделение болтовых соединений под нормальным усилием N .

Расчет болтовых соединений конструкций «стальная рубашка» проводился с учетом обоих указанных режимов, кроме того, учитывался коэффициент герметичности соединительных деталей. На рисунке 2б показаны основные параметры, используемые в отчете о болтовом соединении «стальная рубашка»:

d – номинальный (внешний) диаметр болта;
 d_0 – внутренний диаметр резьбы;
 $d_p = (d_0 + d)/2$ – средний диаметр резьбы;
 d_k – размер гайки;
 d_r – средний диаметр опорного диска гайки;
 h – шаг резьбы;
 δ – ширина зазора в отверстии;
 f – коэффициент трения пары болт/гайка и гайка / шайба;

f_D – коэффициент трения между соединяющимися частями;

$S = \pi d^2/4$ – номинальная площадь поперечного сечения болта;

$S_0 = \pi d_0^2/4$ – номинальная площадь под резьбой поперечного сечения болта;

$k_0 = d_0/d$, $k_p = d_p/d$ – резьбовые коэффициенты;

$k_T = d_r/d$ – коэффициент гайки;

M_3 – крутящий момент гайки.

Расчет прочности болтового соединения был сделан по методу Губера-Мизеса [4], и эквивалентное напряжение определялось по следующей формуле:

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_2 + \sigma_3)^2 + (\sigma_3 + \sigma_1)^2}{2}}$$

Здесь σ_1 , σ_2 , σ_3 – начальные напряжения. В рас-

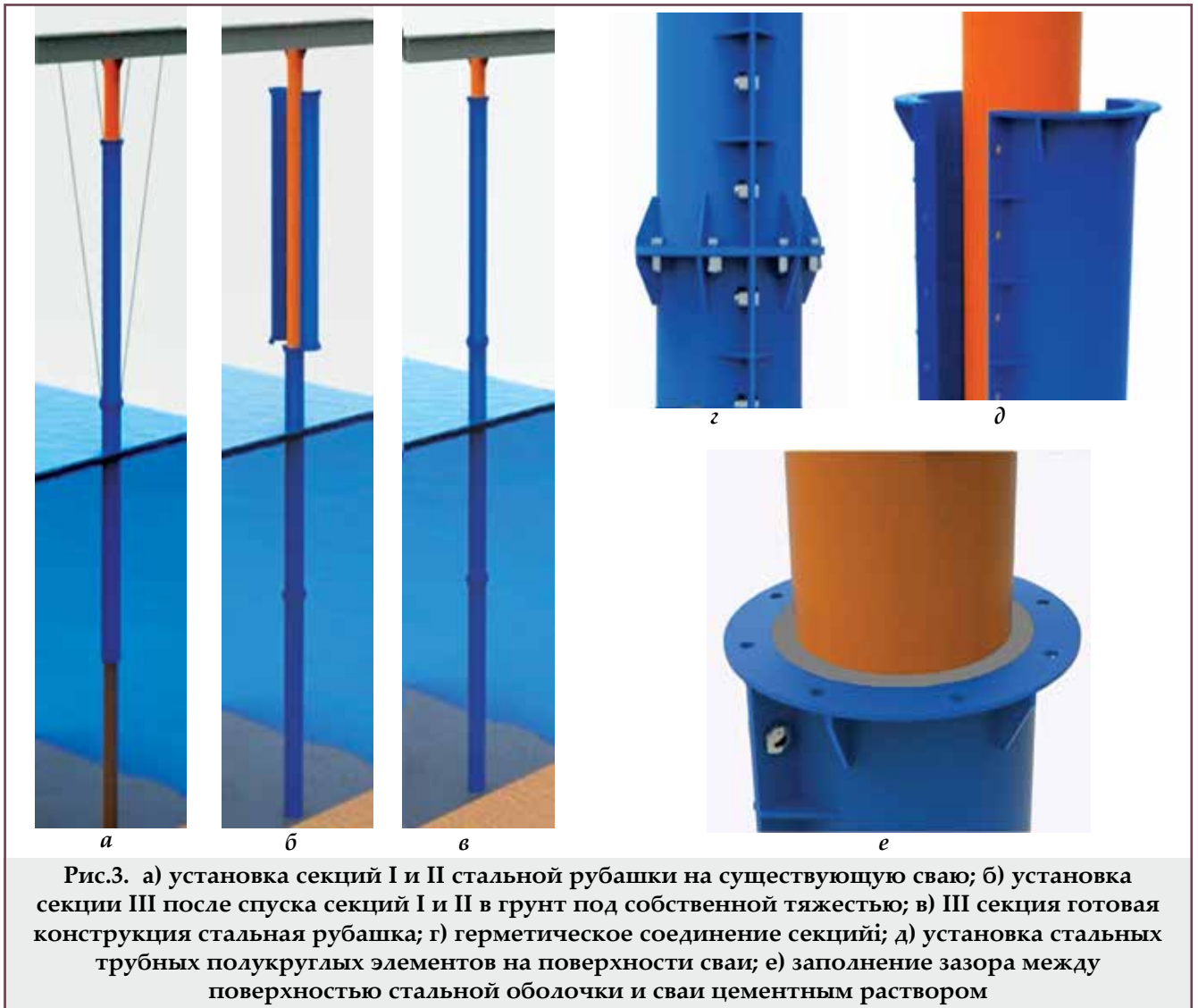
чете для обеспечения запаса прочности выполнено следующее условие:

$$\sigma_E^{maks} \leq \frac{\sigma_T}{k_T}$$

Здесь σ_E – максимально возможное эквивалентное напряжение, σ_T – предел текучести материала болта, k_T – нормативный коэффициент запаса на предел текучести.

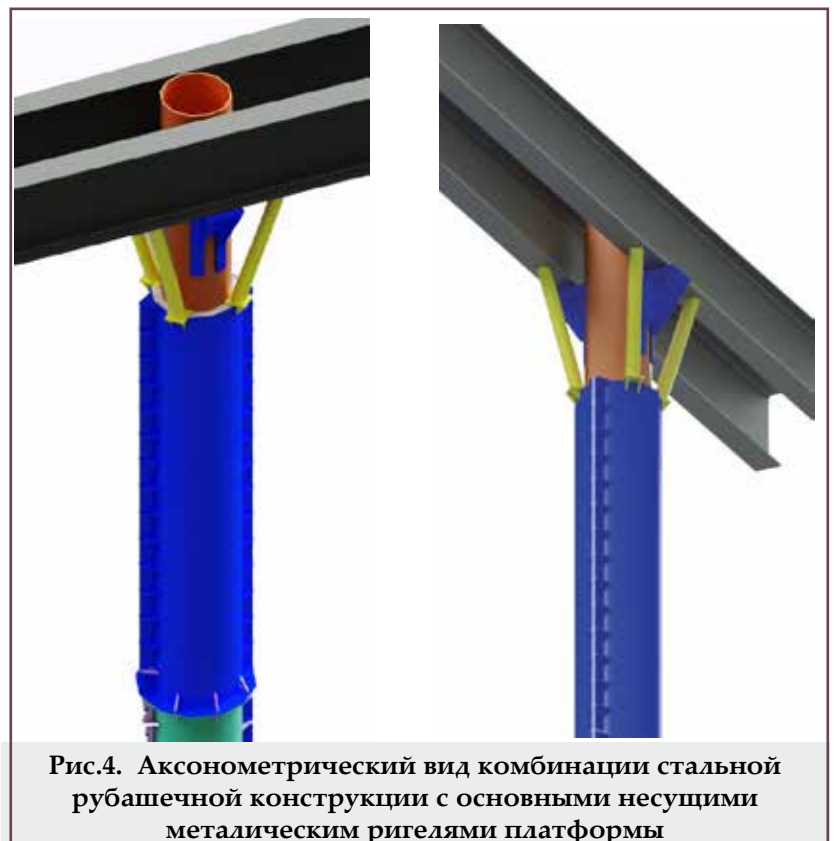
Ремонт периодических смачивающих зон опорных свай, состоящих из металлических труб с использованием «стальных рубашек» с предложенной новой методологией, в основном предназначен для морских глубин максимум 12 м, и предназначен для опорных свай металлических труб гидротехнических сооружений, которые использовались до 25 лет, и в зависимости от диаметра существующей сваи, длина стальной рубашки состоит из нескольких частей и приблизительно равна длине сваи. В сущности конструкции «стальных рубашек» изготавливаются из двух полукруглых элементов в форме полумесяца с длиной секций максимум 6 метров (рис.3а). Полукруглые элементы герметически соединенные между собой болтовыми соединениями постепенно опускаются в воду по бокам существующей сваи (рис.3а,г). В зависимости от глубины воды, несколько секций также опускаются в воду вдоль поверхности сваи под собственным весом после герметичного уплотнения между секциями (рис.3б,е). В этом случае решается задача работы рубашки и существующей сваи в концентрическом положении на глубине 1.5 м, а иногда и более. Зазор между стальной конструкцией рубашки и существующей свайей, который прикреплен к земле собственным весом, заполнен высоковязким цементным раствором от дна воды до верхнего уровня (рис.3е).

Сочетание общей опорной конструкции с основными несущими металлическими ригелями площадки было выбрано так, что нормаль-



ная нагрузка в основном, принимается вместе с существующей главной опорной свайей и «стальной рубашкой» (рис.4).

Предлагаемый вариант капитального ремонта, в дополнение к обеспечению восстановления исходных прочностных свойств существующей опорной сваи, позволил снизить затраты на капитальный ремонт объекта в 10 раз. Для ремонта одной опорной сваи на глубине 9 м, требуется в среднем 3.5 т металла и 1.3 м³ цементного раствора. В то же время использование малогабаритных талевых конструкций при проведении ремонтных работ не требует использования тяжелой техники. Это позволяет говорить об экономической эффективности и экономии времени данных работ.



Выводы

1. Обеспечена бесперебойная работа компрессорной станции, предназначенной для сбора и транспортировки газа, добываемого из нефти скважин низкого давления на месторождении «Гюнешли».
2. Основные опорные элементы площадки, на которой расположена насосно-компрессорная станция № 2, срок эксплуатации которой истек, из-за коррозии пришли в негодность, они были отремонтированы с использованием конструкций «стальная рубашка», и срок службы этих элементов был продлен еще на 25 лет.
3. Обеспечение второго срока службы морских объектов большого значения гидравлическими опорными конструкциями, которые имеют особое значение в течение короткого периода времени при очень низких затратах при сохранении непрерывного режима работы.
4. Разработана новая методология ремонта свай любого участка в аварийной ситуации с использованием конструкции «стальная рубашка», применяемой на конкретном объекте.
5. В результате ремонта существующего СКС-2 по предлагаемому методу «стальная рубашка», была получена выгода в 200 млн.манат.

Литература

1. РД 31.35.13-90 «Указания по ремонту гидротехнических сооружений на морском транспорте».
1. Павлов, П. А., Паршин, Л. К., Мельников, Б. Е., Шерстнев, В. А. (2003). Сопrotивление материалов. Санкт-Петербург: Изд-во «Лань».
2. Sukhanov A.A. (2016) Engineering calculations of bolt connections. In: *Evgrafov A. (eds) Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.*
3. Биргер, И. А., Шорр, Б. Ф., Иосилевич, Г. Б. (1979). Расчет на прочность деталей машин: Справочник. Москва: Машиностроение.

References

1. RD 31.35.13-90 «Ukazaniya po remontu gidrotekhnicheskikh sooruzhenij na morskome transporte».
2. Pavlov, P. A., Parshin, L. K., Melnikov, B. E., Sherstnev, V. A. (2003). Strength of materials. St. Petersburg: Publishing House «Lan».
2. Sukhanov A.A. (2016) Engineering calculations of bolt connections. In: *Evgrafov A. (eds) Advances in Mechanical Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham.*
4. Birger, I. A., Shorr, B. F., Iosilevich G. B. (1979). Calculation of the strength of machines components. Moscow: Mashinostroenie.

Применение конструкции «стальная рубашка» при капитальном ремонте металлических опорных свай на технологических морских объектах

Ф.Г.Гасанов

НИПИ «Нефтегаз», SOCAR, Баку, Азербайджан

Реферат

В статье рассматривается капитальный ремонт технологических морских объектов, конкретно таких как насосно-компрессорная станция №2 на СКС-2, расположенная на месторождении «Нефт Дашлары», срок эксплуатации которой подошел к концу, подверженной сильной коррозии металлических труб, и рассматриваются вопросы технологической и экономической целесообразности применения конструкции «Стальная рубашка» во время капитального ремонта стальных свайных конструкций из сильно корродированных металлических труб. Отмечено, что, несмотря на критическое сокращение долговечных металлоконструкций из-за коррозии в зоне периодического смачивания, срок службы этих конструкций можно продлить еще на 25 лет, используя улучшенные конструкции «Стальная рубашка». Впервые предлагается использовать усовершенствованные конструкции «Стальная рубашка» при ремонте приэстакадных площадок, морских нефтяных вышек, в частности, опор свай из металлических труб и эстакад, где расположены технологические объекты.

Ключевые слова: технологические объекты; эстакада; приэстакадная площадка; гидротехническая сооружения; стальная рубашка; сваи; ремонт.

Texnoloji dəniz obyektlərinin metal-boru dayaq svaylarının əsaslı təmiri zaman «polad köynək» konstruksiyasının tətbiqi

F.Q.Həsənov

«Neftqazəlmütədqiqatlayihə» İnstitutu, SOCAR, Bakı, Azərbaycan

Xülasə

Məqalədə texnoloji dəniz obyektlərinin, konkret hal kimi «Neft Daşları» sahəsində yerləşən «SKS-2» - 2 saylı Sıxıcı Kompresor Stansiyasının istismar müddəti başa çatmış, həmin dövr ərzində güclü korroziyaya uğramış metal borulardan inşa edilmiş dayaq svay konstruksiyalarının əsaslı təmiri zamanı «polad köynək» konstruksiyasının tətbiq edilməsi və əsaslı təmir layihələrinin iqtisadi səmərəliliyi məsələsinə baxılır. Göstərilir ki, uzun müddət istismarda olan metal svay konstruksiyaların ən kəsik sahələrinin dövrü islanma zonasında korroziya səbəbindən kritik azalmasına baxmayaraq bu konstruksiyaların təkmilləşdirilmiş «polad köynək» konstruksiyalarından istifadə etməklə istismar müddətini daha 25 il artırmaq olar. Dəniz neftqazmədən qurğuları, xüsusən də texnoloji obyektlərin yerləşdiyi metal boru svay dayaqlı estakadaların və estakadayanı meydançaların təmirində ilk dəfə olaraq təkmilləşdirilmiş «polad köynək» konstruksiyalarından istifadə edilməsi təklif edilir.

Açar sözlər: texnoloji obyektlər; estakada; estakadayanı meydança; hidrotexniki qurğu; polad köynək; svay; təmir.