



Нормативно-правовая база как основа организации эффективной системы защиты от коррозии морских промышленных объектов

Яблучанский Анатолий Игнатьевич

г. Санкт-Петербург

10.11.2021



Морская вода – одна из агрессивных и наиболее распространенных сред.

В значительной степени надежность морских металлических объектов определяется наличием противокоррозионной защиты и ее эффективностью.

Надежность и эффективность работы противокоррозионной защиты зависит от многих факторов:

факторы технологические – степень агрессивности морской среды, коррозионная стойкость материала металлических конструкций, качество защитного покрытия, тип системы активной (электрохимической) защиты.

факторы нормативно-правовые (основные факторы) - наличие нормативно-правовой базы, определяющей требования к организации системы противокоррозионной защиты морских объектов, безусловное выполнение которых обеспечивает их безопасную и надежную эксплуатацию.



В Российской Федерации до 2019 г, в новой системе нормативных документов (национальные, отраслевые и общественные) основанных на технических регламентах и соответствующих Федеральному закону № 384-ФЗ, **нормативно-технические документы (НТД) национального уровня по защите от коррозии морских гидротехнических сооружений отсутствовали *).**

При разработке проектной документации по разделу защита от коррозии морских сооружений до ввода новых стандартов могли применяться имеющиеся нормативные документы, разрешенные к применению *(по согласованию, так как в соответствии с установленными правилами применение этих документов стало носить добровольный характер).*

Примечание *):

ГОСТ Р 54382-2011 Подводные трубопроводные системы. Общие технические требования
[идентичен DNV-OS-F101-2000 DNV-OS-F101-2000 Submarine pipeline systems]

Область применения распространяется только на подводные морские трубопроводные системы.

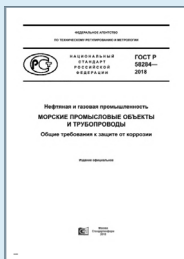
ГОСТ Р 54523-2011 Портовые гидротехнические сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния

Требования к организации системы защиты от коррозии гидротехнических сооружений отсутствуют



В период до 2019 г. защита от коррозии новых морских сооружений, в том числе и причальные комплексы нефтегазовой отрасли, ограничивалась, в основном, только средствами пассивной защиты (защитные покрытия).

На некоторых объектах дополнительно к защитным покрытиям применялись и системы активной (электрохимической) защиты от коррозии.



ГОСТ Р 58284-2018

Нефтяная и газовая промышленность.
Морские промысловые объекты и трубопроводы.
Общие требования к защите от коррозии



ГОСТ Р 58216-2018

Нефтяная и газовая промышленность.
Арктические операции.
Защита от коррозии морских сооружений

Стандарты устанавливают общие требования к защите от коррозии:

- **стальных и железобетонных морских нефте- и газодобывающих сооружений;**
- **магистральных, технологических и коллекторов сборных трубопроводов;**
- **обсадных колонн скважин;**
- **стальных платформ;**
- **подводно-добычных комплексов;**
- **портовых сооружений;**
- **к организации коррозионного мониторинга морских объектов.**



- морские сооружения в зоне погружения и периодического смачивания подлежат комплексной защите от коррозии защитными покрытиями и средствами ЭХЗ (электрохимическая защита) независимо от коррозионной агрессивности среды;
- ЭХЗ осуществляется протекторами (протекторная защита) и/или установками катодной защиты (катодная защита наложенным током);
- для защиты морских платформ, подводных добычных комплексов, скважин и портовых сооружений предпочтительно использовать ЭХЗ установками катодной защиты;
- все технические решения, направленные на обеспечение противокоррозионной защиты, включая выбор типа защитного покрытия, элементы системы электрохимической защиты, средства коррозионного контроля и мониторинга требуют технико-экономического обоснования.



8.1.4.1 Основным критерием защищенности морского сооружения является величина его защитного (поляризационного) потенциала U_p , измеренная относительно хлор-серебряного электрода сравнения (ХСЭ).

8.1.4.4 Для морских платформ и береговых причальных сооружений применяют дополнительный критерий по плотности защитного тока j на специальном электроде, при этом его величину предварительно определяют в рамках комплекса специализированных исследований с учетом внешних коррозионных условий или моделируемых условий эксплуатации конкретного сооружения.

Требуемая НТД величина защитного потенциала U_p должна находиться в диапазоне значений $-0,80 \div -1,10$ В



Морские сооружения РФ, особенно береговые причальные комплексы, размещены в зонах, характеризующихся низкой соленостью морской воды и ее большими перепадами в сезонные и приливо-отливные периоды.

Катодная защита гальваническими анодами (протекторная защита)

Алюминиевые аноды в такой среде склонны к пассивации и их применение нецелесообразно;

Цинковые аноды менее склонны к пассивации, но сравнительно высокое удельное сопротивление морской воды приводит к слабому выходному току что требует большого числа гальванических анодов и значительных объемов работ по их монтажу и замене в процессе эксплуатации.

С учетом реальных условий, применение гальванических анодов не является оптимальным и технико-экономически обоснованным решением.

Катодная защита наложенным током (КЗ)

В такой среде система КЗ является наиболее целесообразным и надежным решением.

При оптимальной технологической схеме система КЗ функционирует длительный срок при минимальных эксплуатационных затратах.



Система катодной защиты наложенным током (КЗ) создается установкой катодной защиты (УКЗ) в составе которой 2 основных элемента: станция катодной защиты (СКЗ) и анодное заземление (АЗ).

Уровень поляризационного потенциала U_p , основного критерия защищенности морских сооружений, определяется:

- плотностью катодного тока j на дефекте в защитном покрытии и как дополнительный критерий защищенности определяется с учетом внешних коррозионных характеристик среды;

- величина плотности защитного тока на дефекте зависит от разности потенциалов $dU = U_{Me} - U_{more}$

U_{Me} - электрический потенциал металла сооружения, смещенный в отрицательную сторону под действием катодного тока СКЗ;

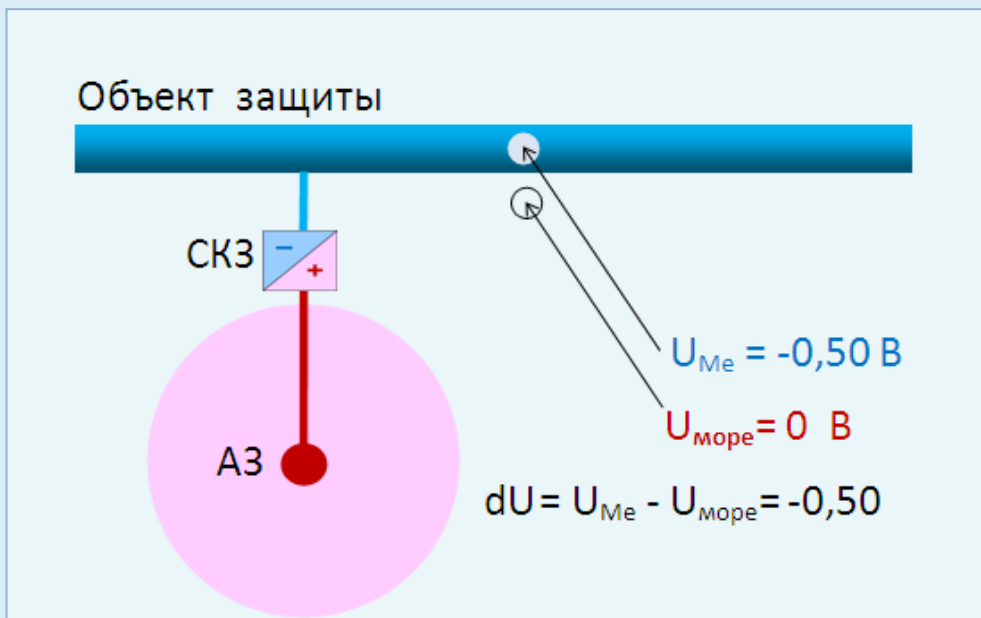
U_{more} - электрический потенциал внешней среды в области дефекта определяемый анодным током СКЗ, технологической схемой УКЗ и электрическим сопротивлением среды, вмещающей сооружение.



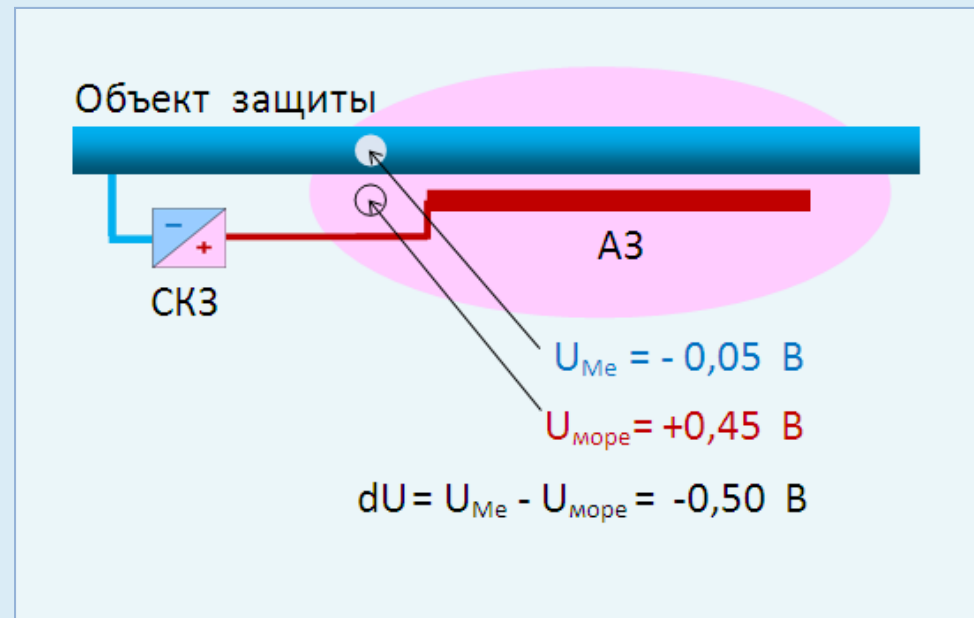
Основной элемент, определяющий технологическую схему УКЗ – анодное заземление (АЗ) и его размещение относительно защищаемого сооружения.

Требуемая плотность катодного тока на дефекте в защитном покрытии, может быть создана, если выполняется одно из следующих условий:

1 Потенциал U_{Me} объекта смещается в отрицательную сторону на величину потенциала коррозионного элемента



2 Потенциал $U_{\text{море}}$ смещается в положительную сторону на величину потенциала коррозионного элемента



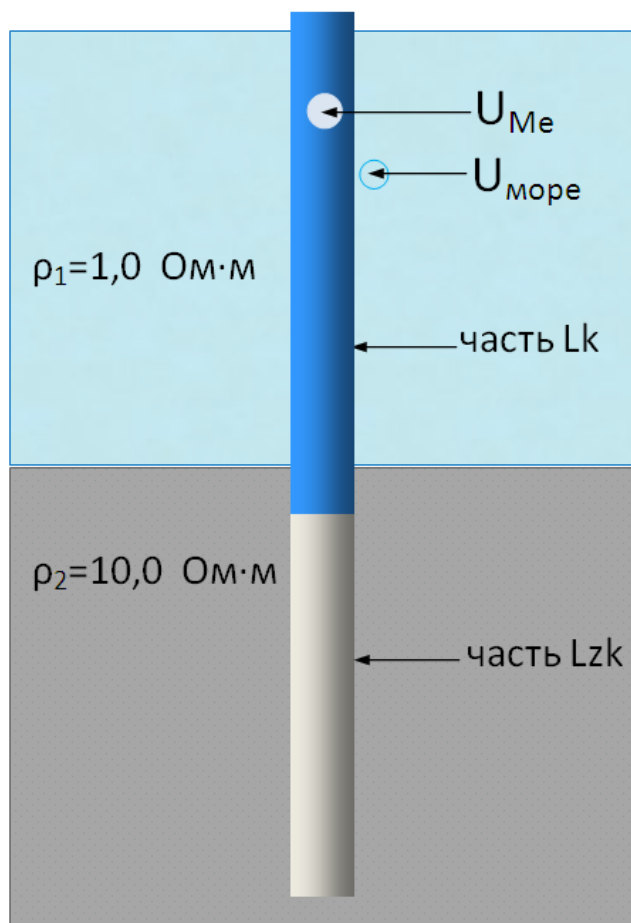


Проектная документация по противокоррозионной защите морских сооружений, в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58284-2018 и ГОСТ Р 58216-2018, должна иметь технико-экономическое обоснование в том числе:

- выбранной схемы УКЗ подтверждающее, что количество анодных заземлений и их размещение относительно защищаемого объекта обеспечивают требуемый защитный потенциал U_p сооружения при заданной плотности тока j на всех элементах защищаемого сооружения в регламентируемом диапазоне значений;**
- требуемых энергозатрат с учетом применяемой схемы УКЗ.**



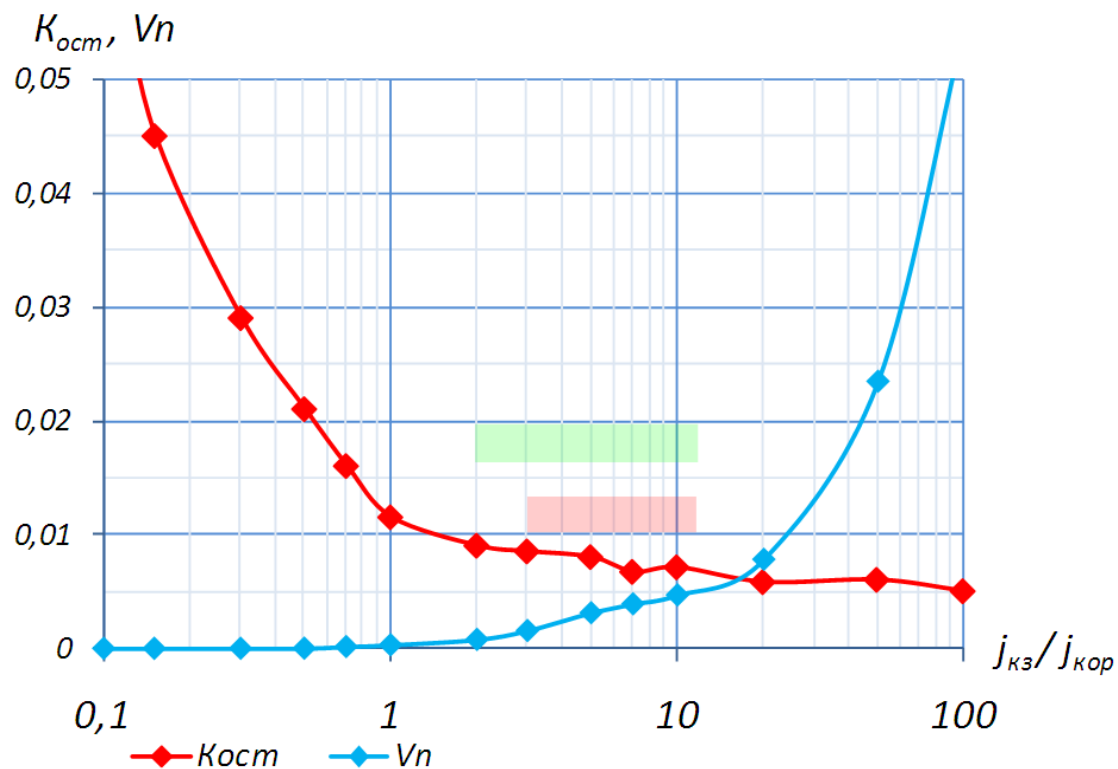
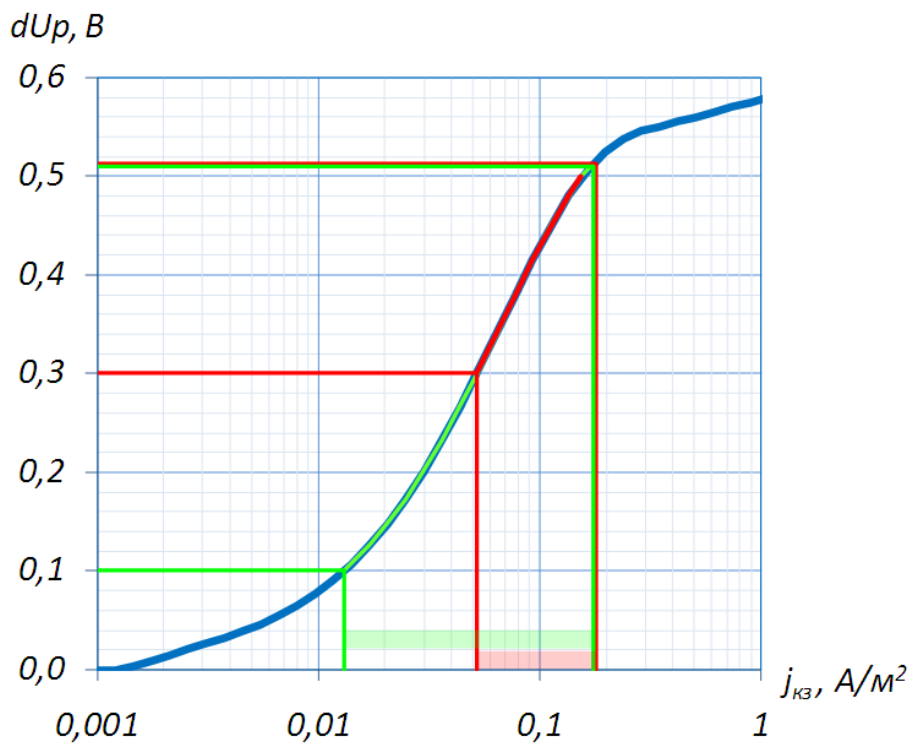
Параметры расчетной модели элемента причального сооружения



1,0	удельное сопротивление морской воды, Ом·м [8 промилле при $T=10^{\circ}\text{C}$]
10,0	удельное сопротивление морского дна, Ом·м
10,0	глубина морского дна, м
1420,0	диаметр опор свайного основания, мм
11,0	длина L_k части опоры от уровня моря, м
21,0	длина L_{zk} части опоры в морском дне, м
10 000	защитное покрытие части L_k опоры, Ом·м ²
-0,5	естественный потенциал металла опор, В
30	период эксплуатации t , год
На части L_{zk} опоры защитное покрытие отсутствует. Средний коэффициент дефектности k защитного покрытия за время $t=30$ лет: $k=0,02 + t \cdot 0,012$ (DNV)	
38,0	оголение защитного покрытия за время t , %
1,218	S дефекта на каждом метре части опоры L_k , м ²
11	Количество дефектов на части опоры L_k , шт.



Отношение плотности тока катодной защиты $j_{кз}$ к плотности тока коррозии $j_{кор}$ как показатель эффективности катодной защиты



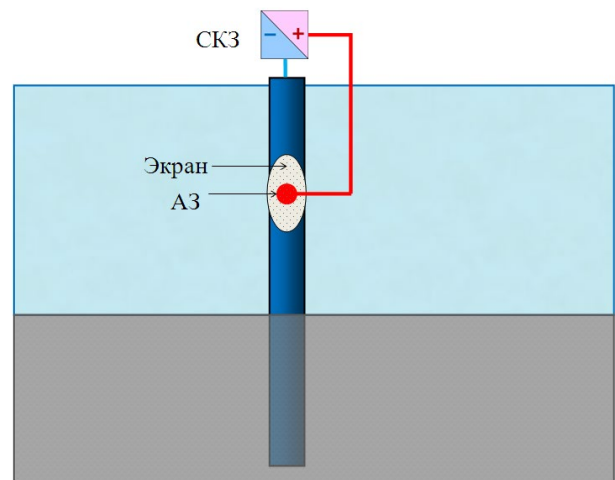
1,0
8,0
0,05 – 0,180
0,015

ρ морской воды, Ом·м
соленость воды при T=10°C, ‰
допустимый диапазон $j_{кз}$, A/m²
плотность тока коррозии $j_{кор}$, A/m²

Зависимость скорости остаточной коррозии $K_{ост}$, мм/год и объема V (V=Vn·640 мл/см²) выделившегося водорода от соотношения плотности тока катодной защиты к плотности тока коррозии $j_{кз}/j_{кор}$ [$j_{кз}/j_{кор} = 3 ÷ 12$]

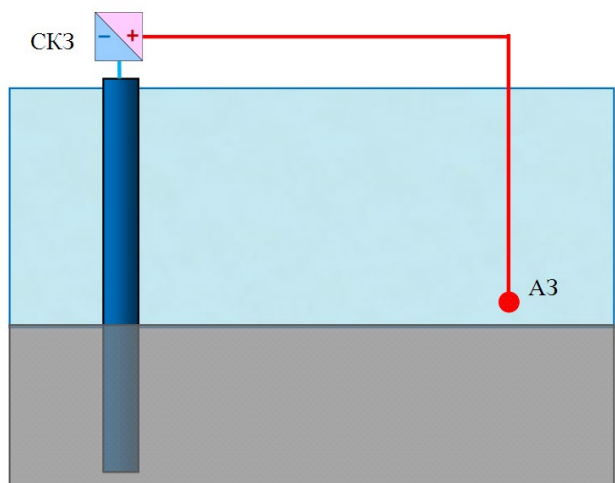


Основные схемы установок катодной защиты (УКЗ) на морских сооружениях



1 Анодные заземления устанавливаются непосредственно на защищаемых элементах подводного сооружения.

Для равномерного распределения защитных потенциалов на подводном сооружении и исключения процессов возможного наводораживания стали в дефектах защитного сооружения требуется большое число анодных заземлений, оборудованных специальными экранами.

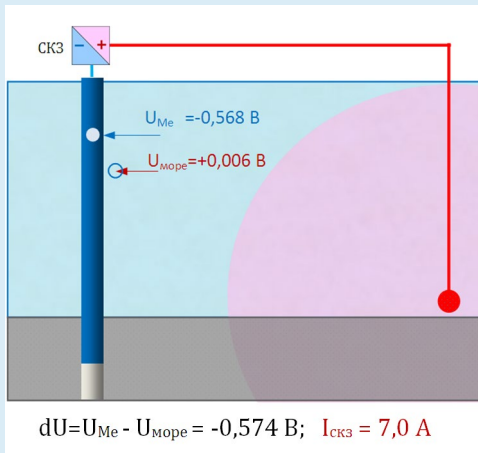


2 Анодные заземления устанавливают за пределами защищаемого сооружения на расстояниях соизмеримых с размером сооружения.

Снижение количества анодных заземлений.



Заданная плотность тока $j = 0,130 \text{ A/m}^2$



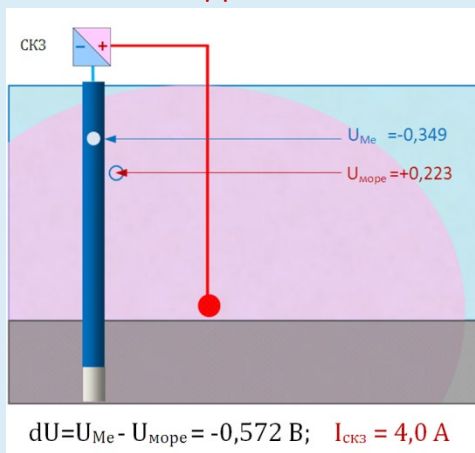
АЗ удалено на 1800 м от опоры

$$dU = U_{Me} - U_{\text{море}} = -0,574 \text{ B}$$

$$j = 0,130 \text{ A/m}^2$$

$$U_p = -1,01 \text{ B}$$

Ток СКЗ 7,0 А



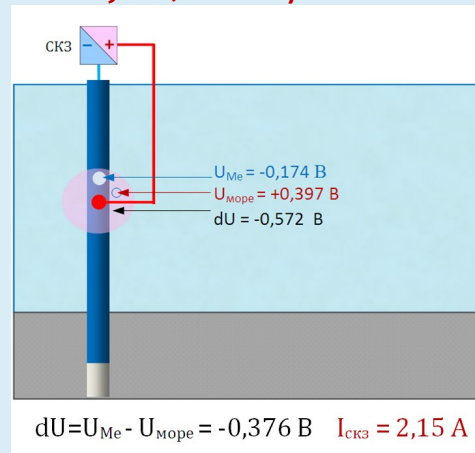
АЗ удалено на 5 м от опоры

$$dU = U_{Me} - U_{\text{море}} = -0,572 \text{ B}$$

$$j = 0,130 \text{ A/m}^2$$

$$U_p = -1,01 \text{ B}$$

Ток СКЗ 4,0 А



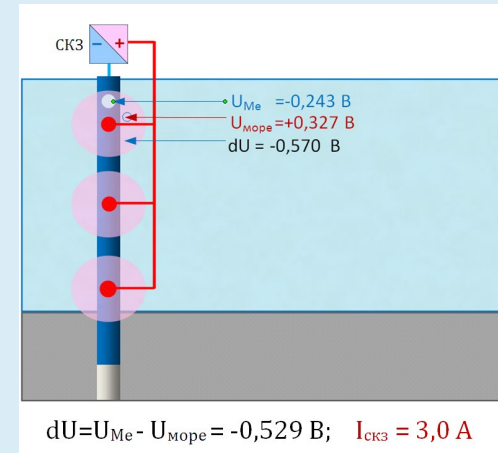
АЗ на опоре

$$dU = -0,572 \text{ B} \text{ в области анода}$$

$$j = 0,130 \text{ A/m}^2 \text{ в области анода}$$

$$U_p = -1,01 \text{ B} \text{ в области анода}$$

Ток СКЗ 2,15 А



АЗ на опоре

$$dU = -0,529 \text{ B} \text{ среднее на опоре}$$

$$j = 0,130 \text{ A/m}^2 \text{ в области анодов}$$

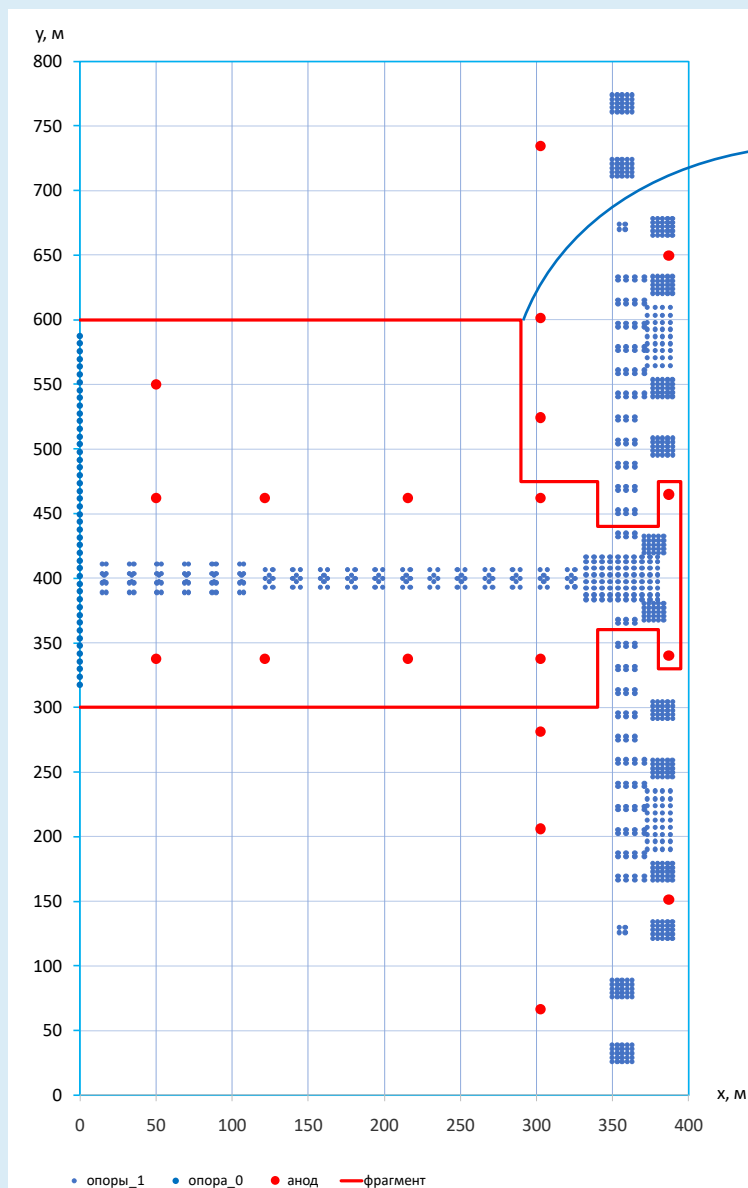
$$j = 0,113 \text{ A/m}^2 \text{ среднее на опоре}$$

$$U_p = 0,98 \text{ B} \text{ среднее на опоре}$$

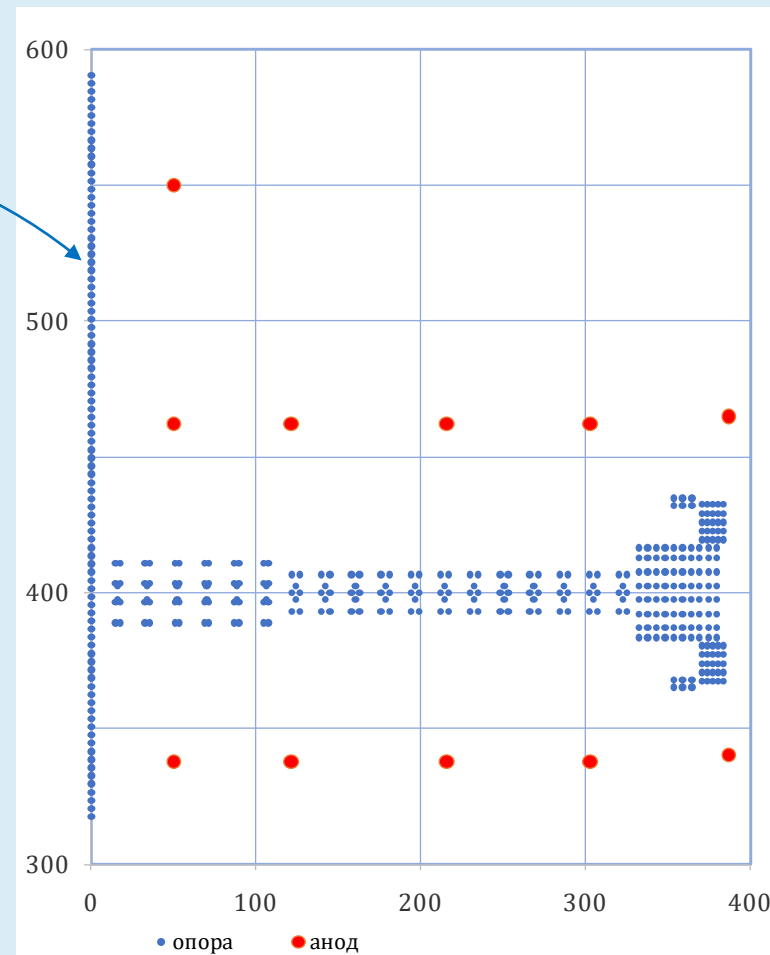
Ток СКЗ 3,0 А



План свайного основания причала



План фрагмента свайного основания причала





Проектная документация

1,0	удельное сопротивление морской воды, Ом·м
3,0	удельное сопротивление морского дна, Ом·м
10,0	глубина морского дна, м
1420,0	диаметр опор свайного основания, мм
11,0	длина L_k части опоры от уровня моря, м
21,0	длина L_{zk} части опоры в морском дне, м
-0,5	стационарный потенциал опор, В
10000,0	защитное покрытие части L_k опоры, Ом·м ²
30	период эксплуатации t , год
435	всего опор, шт.
62 066,5	площадь поверхности опор причала, м ²

На части L_{zk} опоры защитное покрытие отсутствует.

Средний коэффициент дефектности k защитного покрытия за время t (DNV): $k=0,02 + t \cdot 0,012$

38,0 оголение защитного покрытия за время t , %

Энергопотребление

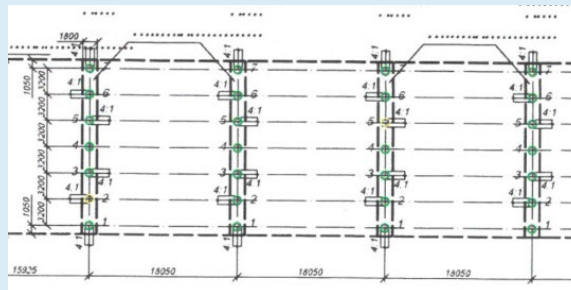
Требуемая средняя плотность тока на прогнозируемый период эксплуатации для указанных удельных сопротивлений сред:

море, мА/м ²	– 130,0
грунты морского дна, мА/м ²	– 20,0
площадь оголения части опор L_k , м ²	– 8 107,4
площадь части опор L_{zk} , м ²	– 40 731,1

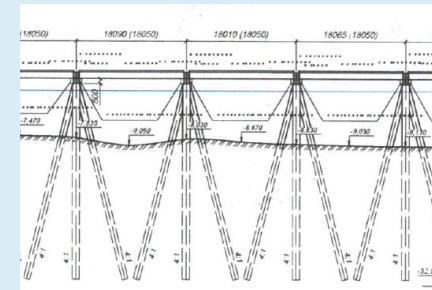
Требуемый ток катодной защиты, А – 1 870

План (а) и разрез (б) фрагмента причального комплекса

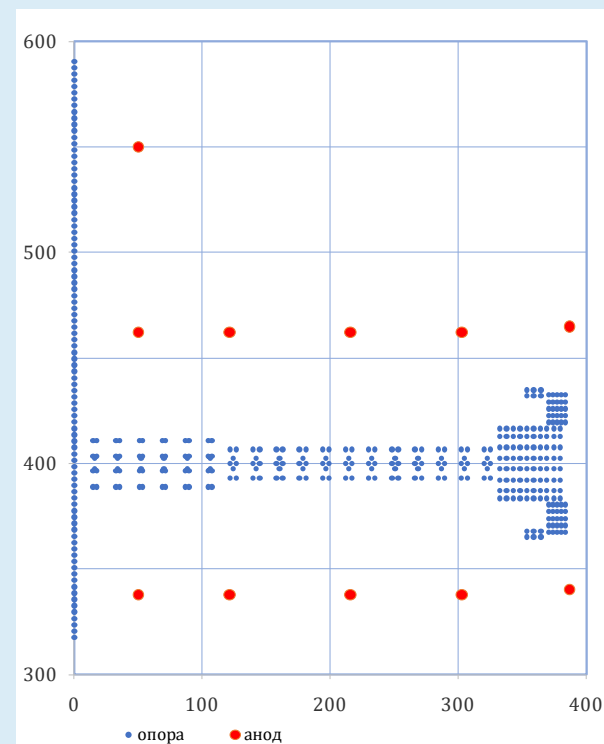
а



б



План свайного основания модели





Энергопотребление на период 30 лет

Требуемая средняя плотность тока:

в морской воде, мА/м^2 130,0

в отложениях морского дна, мА/м^2 20,0

требуемый ток катодной защиты, А 1 870

АЗ – электроды 1,2 x 0,032 м на основе смешанных металлооксидов

Анодных заземлений, шт. 11

Нагрузка на одно анодное заземление, А 170

Сопротивление морской воды ρ , Ом·м 1,0

R растеканию 1-ого электрода (с учетом $k_z=0,73$), Ом 0,813

U одного электрода при токе 170 А, В 138

Критический U электрода с ММО покрытием, В 10

Количество электродов в одном АЗ не менее, шт 14

Всего электродов, шт. 154

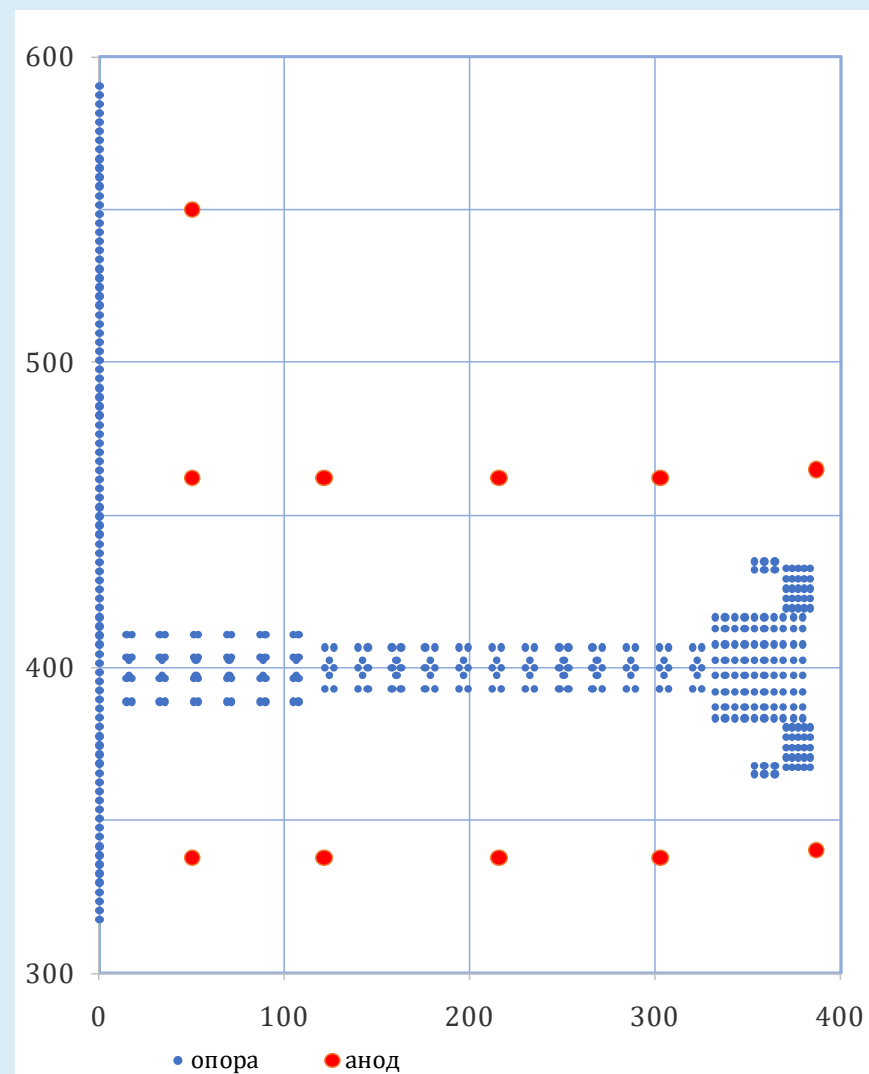
Количество секций в одном АЗ, шт 2

Количество электродов в одной секции, шт. 7

Ток на одну секцию, А 85

Количество СКЗ (100 А) на одно АЗ, шт. 2

Всего СКЗ (100 А) 22



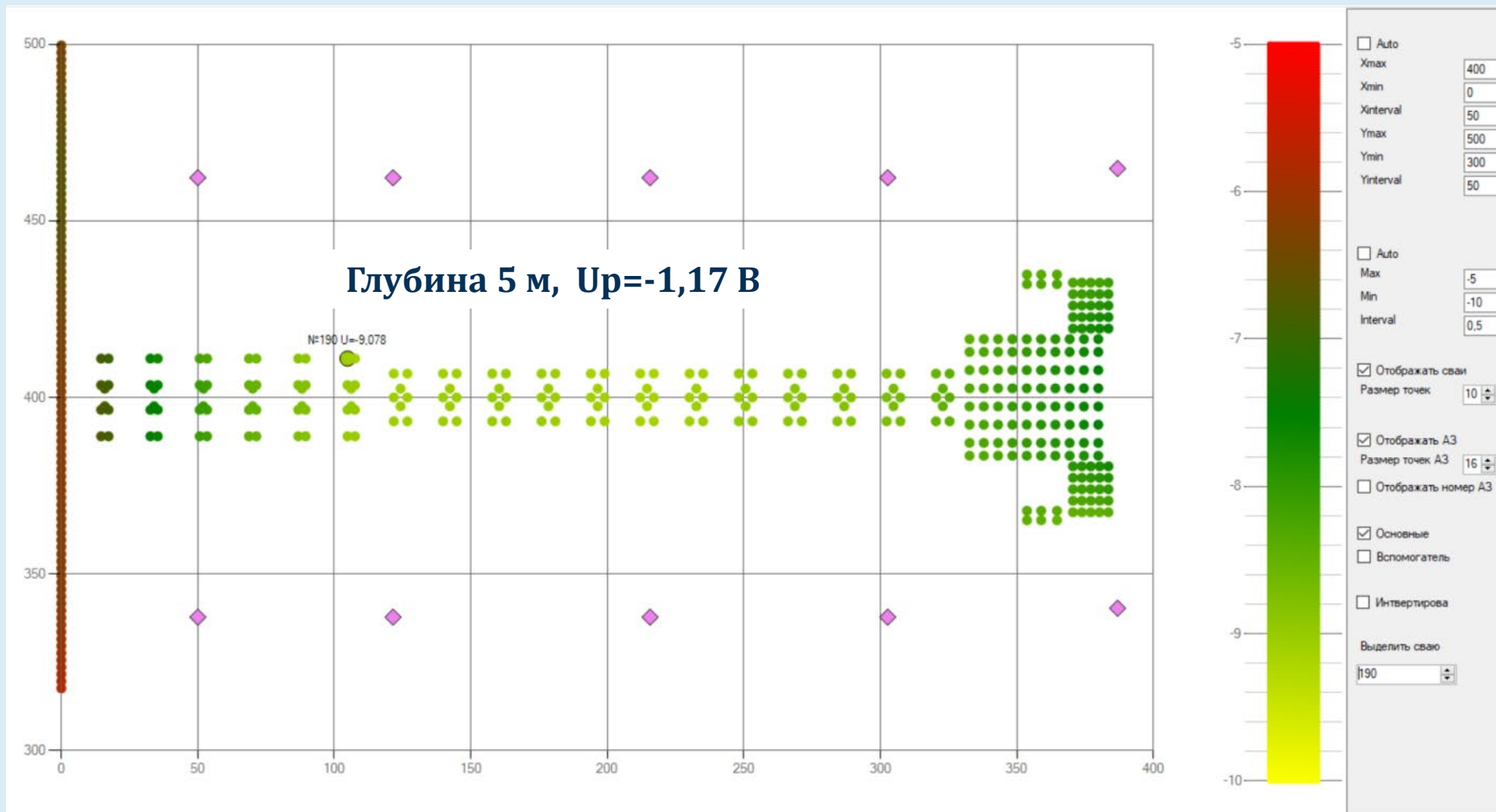


Техническое обоснование выбранной схемы УКЗ подтверждающее, что количество анодных заземлений и их размещение относительно защищаемого объекта обеспечивают требуемый уровень защитного потенциал U_p всех элементов сооружения для заданной плотности тока в регламентируемом диапазоне значений с учетом коррозионных характеристик среды **в проектной документации отсутствует.**

Энергозатраты выбранной схемы установки катодной защиты обосновываются только регламентируемой величиной плотности защитного тока на прогнозируемой площади повреждений защитного покрытия сооружения без учета применяемой схемы УКЗ.



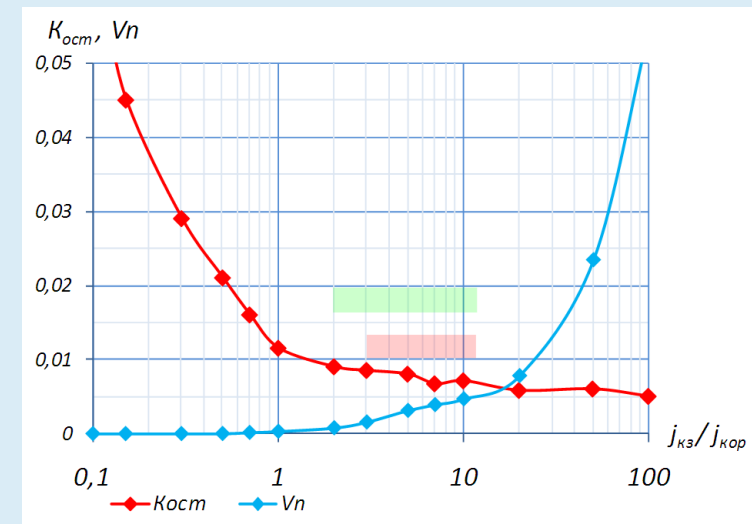
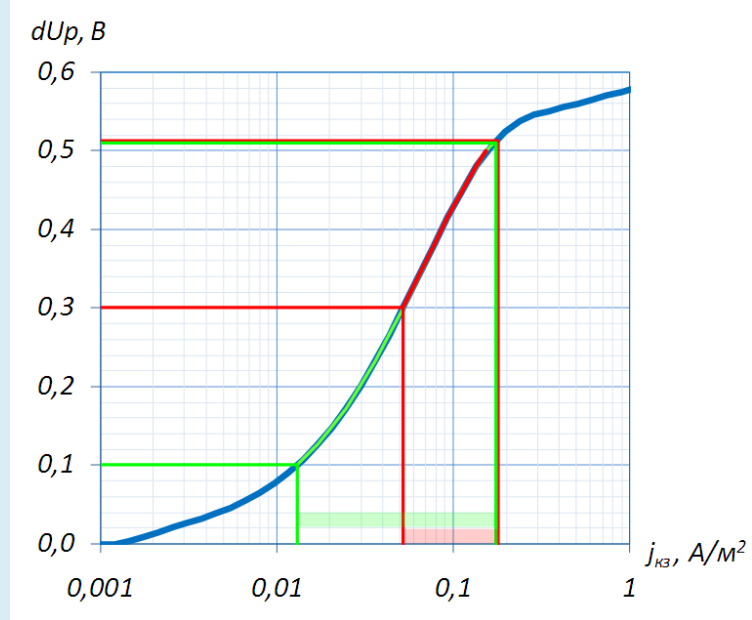
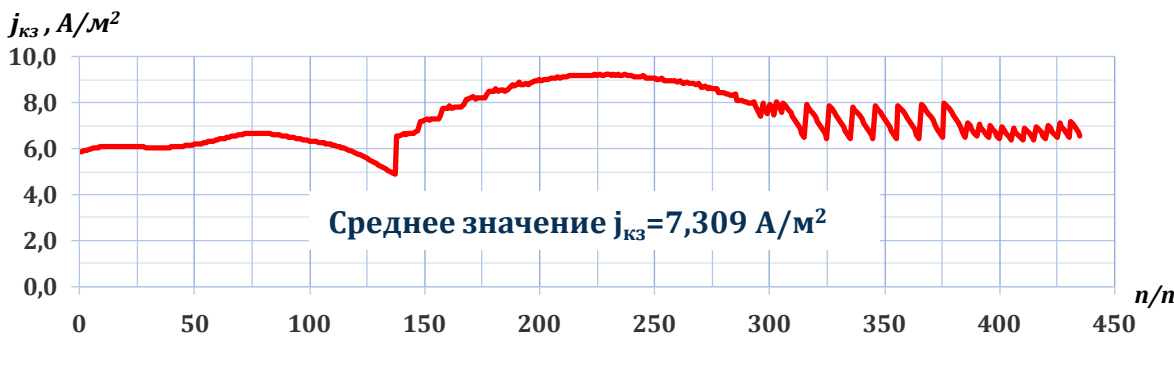
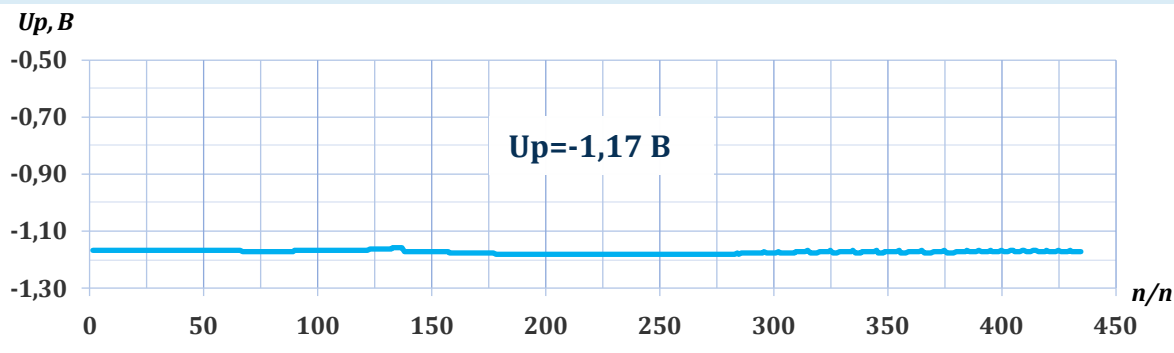
Токовая нагрузка на одно АЗ 170 А на прогнозируемый срок 30 лет



Общий ток катодной защиты 1 870 А



Параметры КЗ опор на глубине 5 м при общем токе 1870 А



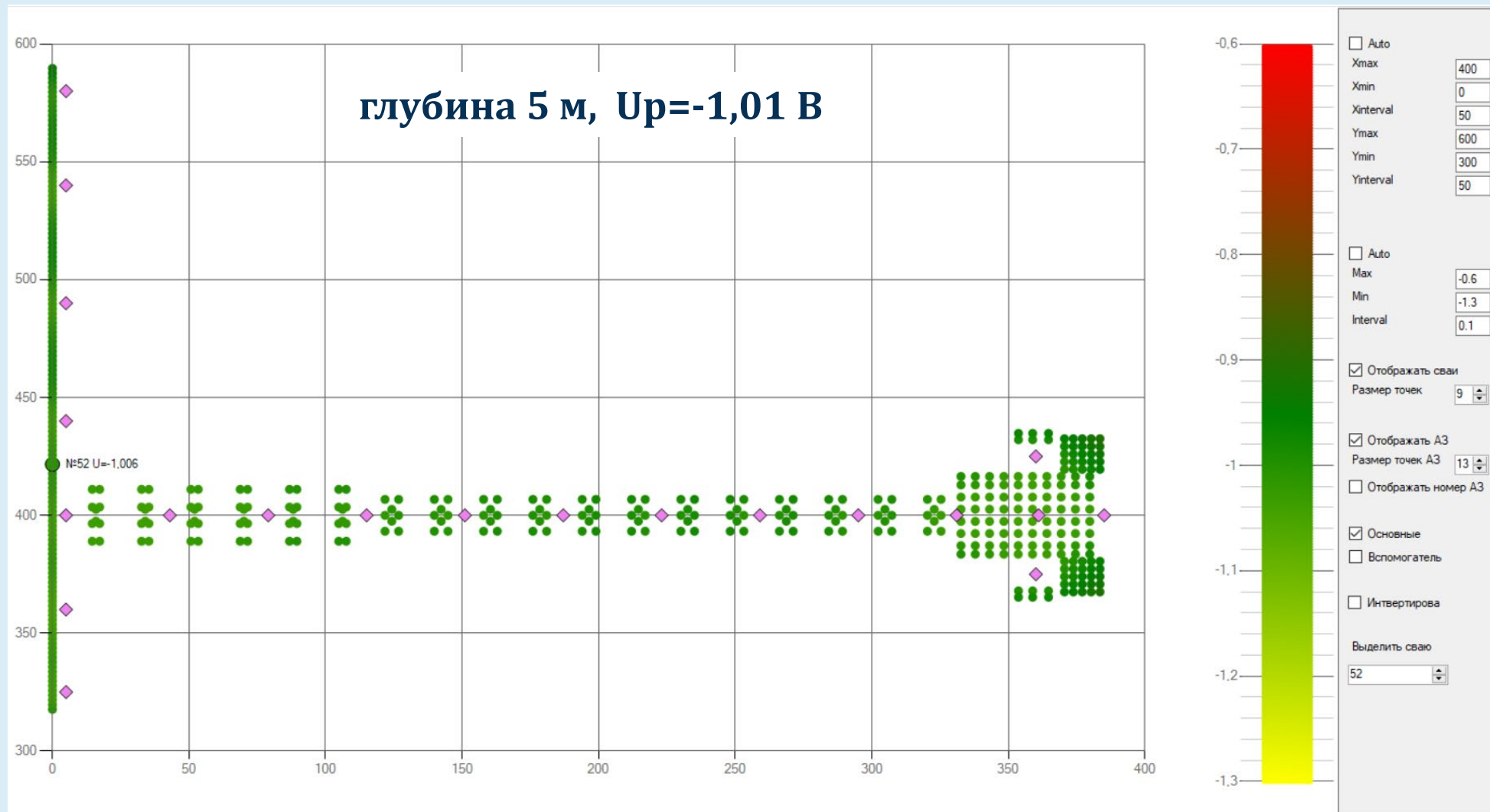
сопротивление морской воды, Ом·м	1,0	
плотность тока коррозии $j_{кор}$, А/м ²	0,015	
заданная ПД плотность тока $j_{кз}$, А/м ²	0,130	
Параметры катодной защиты	расчетные	допустимые
защитный потенциал U_p , В	-1,17	-1,1
диапазон плотности тока $j_{кз}$, А/м ²	5,0-9,2	0,05-0,180
плотности токов средние $j_{кз}$, А/м ²	7,309	0,130
отношение $j_{кз} / j_{кор}$	487	12



Технологическая схема системы катодной защиты подводных стальных сооружений и расчет параметров катодной защиты, обеспечивающих нормативные значения защитных потенциалов U_p и регламентируемых плотностей защитного тока j , должна разрабатываться с учетом обоснованного выбора установки катодной защиты и схемы размещения ее анодных заземлений.



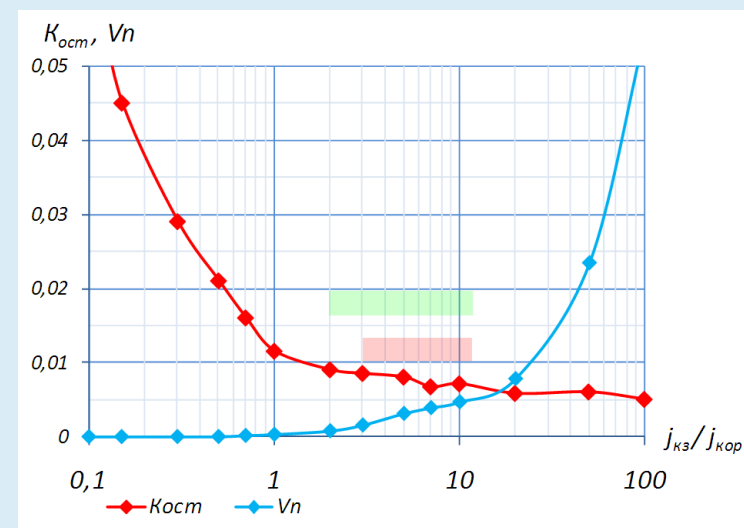
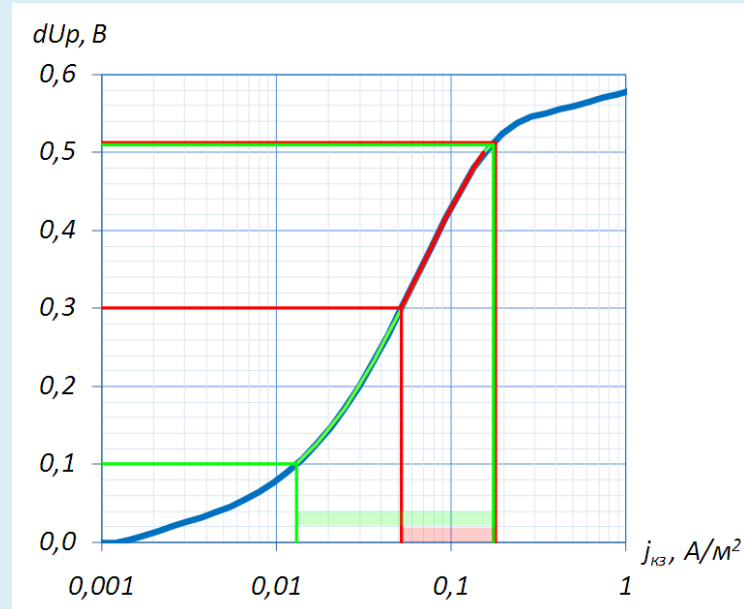
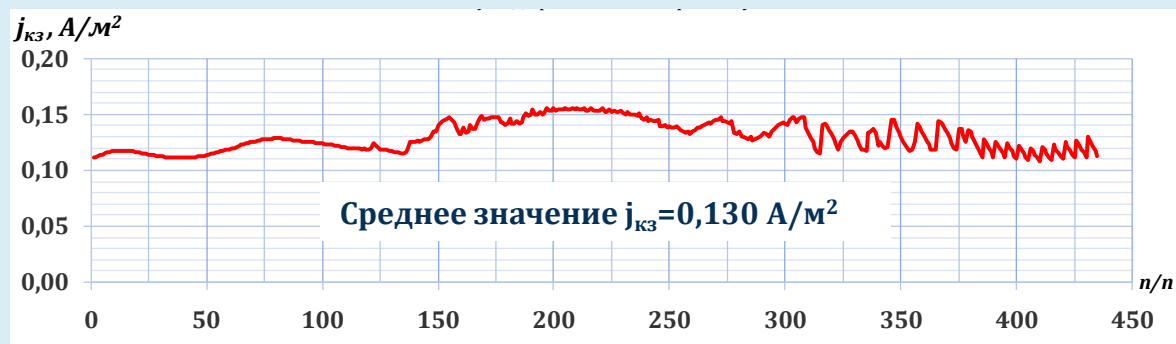
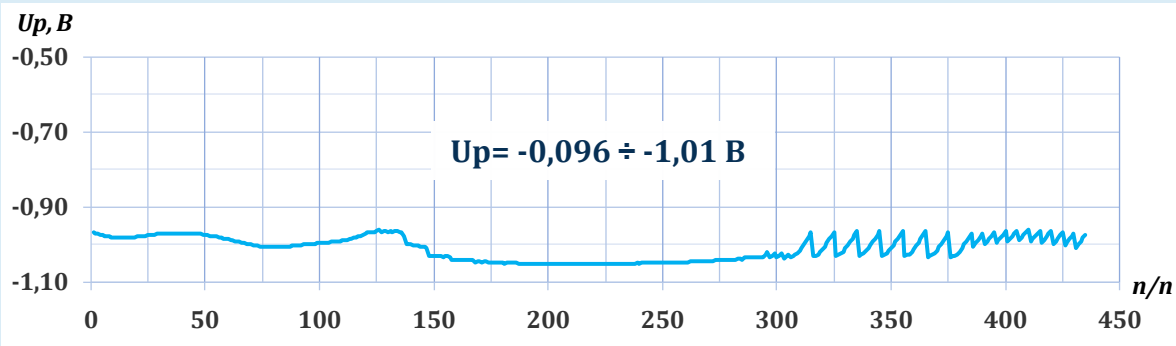
Средняя токовая нагрузка на одно АЗ 6,0 А на прогнозируемый период 30 лет



Общий ток катодной защиты 120 А



Параметры КЗ опор на глубине 5 м при общем токе 120 А



сопротивление морской воды, Ом·м	1,0	
плотность тока коррозии $j_{кор}$, А/м ²	0,015	
заданная средняя плотность тока $j_{кз}$, А/м ²	0,130	
Параметры катодной защиты	расчетные	допустимые
защитный потенциал U_p , В	-1,0	-1,1
диапазон плотности тока $j_{кз}$, А/м ²	0,110-0,156	0,05-0,180
плотности токов средние $j_{кз}$, А/м ²	0,130	0,130
отношение $j_{кз} / j_{кор}$	8,7	12



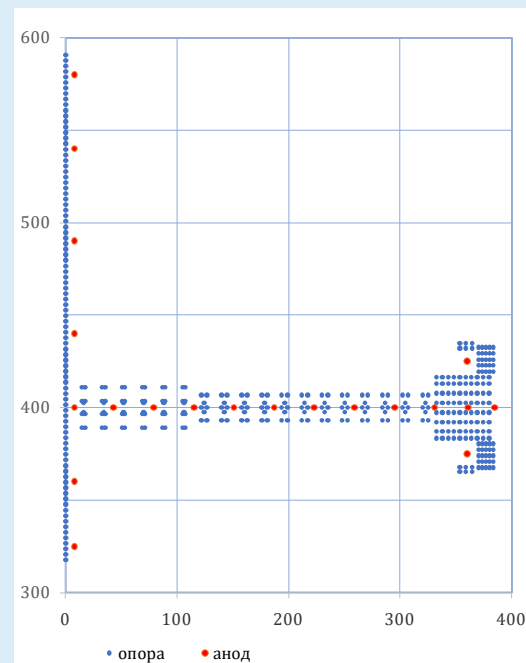
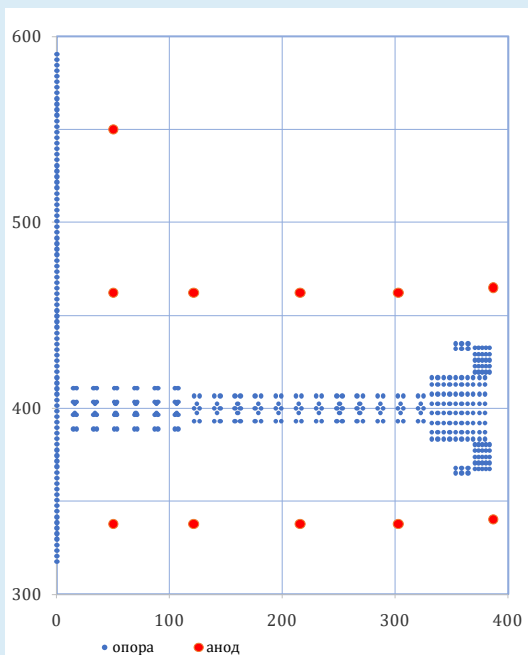
Система катодной защиты наложенным током

Проектная документация

Период эксплуатации, год	30
Общий ток катодной защиты, А	1870
Анодных заземлений, шт	11
Количество электродов в одном АЗ, шт	14
Количество электродов всего, шт	154
Количество СКЗ (100 А), шт.	22

Обоснование в соответствии с ГОСТ Р 58284-2018

Период эксплуатации, год	30
Общий ток катодной защиты, А	120
Анодных заземлений, шт	20
Количество электродов в одном АЗ, шт	1
Количество электродов всего, шт	20
Количество СКЗ (100 А), шт.	2



**Оптимальный
вариант:**

ПЭКЗ(10 А), шт: 20

Габариты:

0,146 x 0,255 x 0,083 м





Система коррозионного мониторинга

ГОСТ Р 58284-2018 в требованиях к катодной защите наложенным током предусматривает применение систем катодной защиты с возможностью дистанционного контроля и управления параметрами катодной защиты сооружения.

В настоящее время в РФ разработаны и успешно функционируют цифровые платформы коррозионного мониторинга для дистанционного контроля и управления параметрами катодной защиты трубопроводного транспорта.

Аналогичные цифровые системы дистанционного коррозионного мониторинга могут и должны применяться в системах катодной защиты морских сооружений.



Система дистанционного коррозионного мониторинга

Цифровая система коррозионного мониторинга обеспечивает дистанционный контроль и управление параметрами катодной защиты в режиме реального времени с рабочего места инженера службы ЭХЗ.

Анализ получаемых данных, позволяет отслеживать изменения состояния противокоррозионной защиты сооружения, принимать необходимые решения и, при необходимости, оперативно корректировать параметры катодной защиты сооружения.

Выявление и предупреждение коррозионных угроз эксплуатируемого объекта, количественное определение и контроль остаточной скорости коррозии катодно-защищаемых конструкций для обеспечения требуемого срока службы.



Система коррозионного мониторинга может функционировать с различными каналами связи



— Спутниковый



— GSM/GPRS/3G



— УКВ-радиоканал



— Оптоволоконная
линия



— Проводной
интерфейс
RS-485



— Только ручной
съем накопленных
данных



1 Разработка оптимальной схемы установки катодной защиты с учетом обоснованного размещения анодных заземлений, позволяет в несколько раз снизить энергопотребление системы катодной защиты.

2 Снижение энергопотребления позволяет использовать маломощные компактные станции с возможностью дистанционной регулировки тока на отдельных локальных участках, создавая оптимальный защитный потенциал и плотности защитного катодного тока не превышающие критических значений.

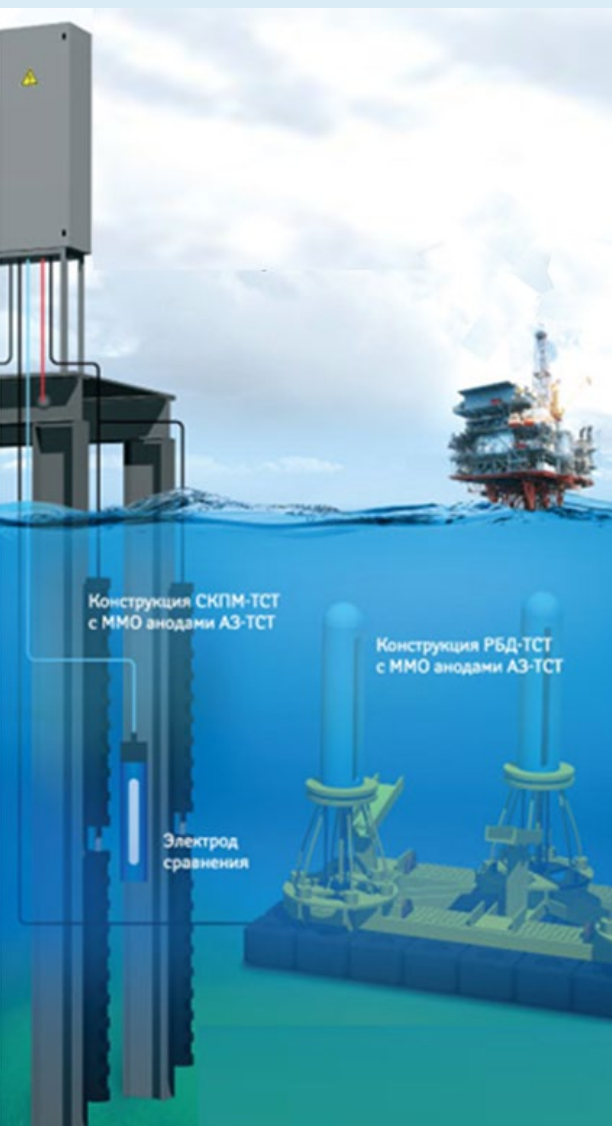
3 С учетом значительных сезонных и суточных изменений геоэлектрических характеристик морской среды в прибрежных зонах акватории система катодной защиты должна работать в режиме автоматической стабилизации установленных нормативных параметров катодной защиты независимо от состояния коррозионной среды.

4 Организация дистанционного контроля и управления параметрами катодной защиты и мониторинг коррозионной ситуации на сооружении с рабочего места инженера службы ЭХЗ позволит повысить эксплуатационную надежность системы и существенно снизить:

- эксплуатационные затраты на обслуживание оборудования;
- затраты на периодические измерения;
- объемы работ на комплексные диагностические обследования.



Элементы системы катодной защиты подводных и причальных сооружений, изготавливаемые ЗАО «Трубопроводные системы и технологии»



1 Источники питания для катодной поляризации металлических поверхностей защищаемого объекта:

-малогабаритные станции катодной защиты;
-многорежимные источники питания большой мощности для систем с анодами, располагаемых в отдалении от объекта.

2 Малорастворимые анодные заземлители с рабочим покрытием на основе смешанных металлооксидов:

могут устанавливаться в отдалении от объекта, непосредственно на элементах (опоры, сваи...) или занимать иное проектное положение

3 Долговечные первичные элементы контроля:

Зонды скорости коррозии, электроды сравнения

4 Системы коррозионного мониторинга:

Обеспечивают дистанционный контроль и управление параметрами катодной защиты объекта



- проработку концепции защиты от коррозии морских сооружений системой катодной защиты наложенным током, расчётное обоснование схем, режимов работы станций и определение оптимальных параметров катодной защиты;**
- консультации по вопросам монтажа, установки, применения и обслуживания систем катодной защиты наложенным током;**
- изготовление оборудования и комплексная поставка системы защиты и мониторинга;**
- шефмонтаж и сервисное обслуживание.**

Помимо производства и поставки оборудования, осуществляет комплектацию систем катодной защиты подземных, подводных и причальных сооружений.



**ТРУБОПРОВОДНЫЕ
СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

ЗАО «ТРУБОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

141112, Московская обл., г. Щелково, ул. Московская, 73, стр. А

Телефон/Факс: +7 (495) 647-03-07

E-mail: info@pipe-st.ru

URL : www.pipe-st.ru