

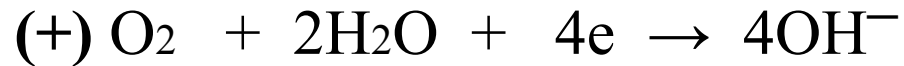
Электрохимическая защита

Наряду с лакокрасочными покрытиями является основным средством защиты от коррозии корпусов судов и различных металлических конструкций в морской воде. Позволяет обеспечить предотвращение коррозионных и коррозионно-механических разрушений всех металлических конструкционных материалов судостроения, в том числе наиболее опасных локальных видов – контактной, щелевой, язвенной, питтинговой, межкристаллитной коррозии, коррозионного растрескивания.

Механизм действия электрохимической защиты заключается в превращении всей поверхности защищаемой металлической конструкции в один общий неразрушающий катод. В зависимости от источника тока катодной поляризации различают две разновидности. При питании от внешнего источника тока (выпрямителя, генератора) защита называется **катодной**, а при подключении конструкции к более электроотрицательного металла – **протекторной**. Электрический защитный ток в этом случае получается при работе гальванической пары протектор – защищаемая конструкция. Протекторы постепенно изнашиваются, защищая основной металл.

Протекторная защита

Protector – защитник, металл более активный, чем защищаемый. Если защите подлежит железо, то \mathcal{E} протектора $< \mathcal{E}$ Fe. Этому условию удовлетворяют алюминий, магний и цинк, точнее сплавы на их основе.



В пресной воде неэффективна!!!

Требования, предъявляемые к протекторным сплавам

1. Стабильный низкий электродный потенциал анодно поляризованного протектора в морской воде, обеспечивающий в паре с защищаемым металлом катодный сдвиг его потенциалы на заданную защитную величину от стационарного значения.
2. Высокий и стабильный выход по току (кпд).
3. Равномерность анодного растворения и высокая токоотдача (А•ч/кг).
4. Невысокая стоимость и недефицитность компонентов.
5. Простота технологии изготовления и удовлетворительные механические свойства.

Чистые металлы не удовлетворяют этим требованиям. Магний имеет низкий выход по току всего 25-30%, у алюминия недостаточно низкий потенциал при анодной поляризации, а цинк склонен к пассивации.

Химический состав протекторных сплавов

Основа сплава	Марка сплава	Химический состав						
		Основные компоненты, %						
		Al	Zn	Mg	Mn	Sn	Zr	In
Al	АП2	Ост.	0,06-1		0,01-0,2			
	АП3	Ост.	4,0-6,0				0,001-0,01	
	АП4Н	Ост.	4,0-5,0			0,1-0,2		0,01-0,06
Zn	ЦП1	0,4-0,6	Ост.				0,01-0,1	
Mg	МП1	5,0-7,0	2,0-4,0	Ост.	0,02-0,5			

Электрохимические характеристики протекторов

Марка сплава	Электрохимические характеристики			
	Рабочий потенциал, мВ	Теоретическая токоотдача, А • ч/кг	Фактическая токоотдача, А • ч/кг	Выход по току %
АП2	– 600	2940	2360	80
АП3	– 700	2880	2300	80
АП4Н	– 850	2880	2450	85
ЦП1	– 730	820	780	95
МП1	– 1210	2200	1430	65

Требования к конструкции протекторов

1. Обеспечение заданного срока службы, составляющего для подводной части корпусов судов 3-4 года, для балластных и грузовых танков – 10-12 лет, для недокуемых морских сооружений - 25-30 лет.
2. Обтекаемость (для подводной части).
3. Надежность крепления на корпусе.
4. Надежность электрического контакта протектора с защищаемой конструкцией.
5. Технологичность монтажа и замены.

Обозначение протекторов по ГОСТ 26251-84

- Первая буква – **П** (протектор);
- вторая буква – **К** (короткозамкнутый), **Н** (неотключаемый), **Р** (регулируемый) или **П** (подвесной) ;
- третья буква – **О** (одиночный), **Л** (линейный) или **К** (концевой) ;
- Четвертая буква – **А** (алюминиевый сплав), **М** (магниевый сплав), **Ц** (цинковый сплав).

Например, тип **П-КОА-4** – протектор короткозамкнутый одиночный из алюминиевого сплава массой 4кг.

Для защиты подводной части судов используют плоские брусковые короткозамкнутые из алюминиевого сплава марок АПЗ и АП4Н типа: П-КОА-4, П-КОА-10, П-ККА-13, П-ККА-15.

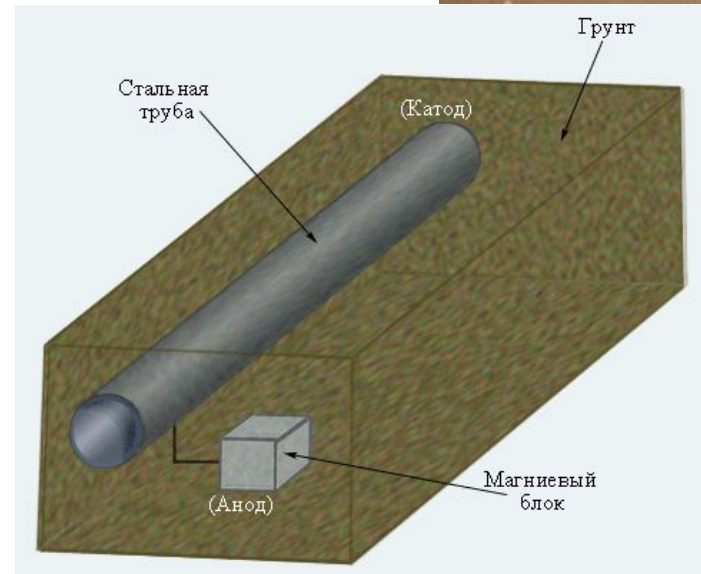
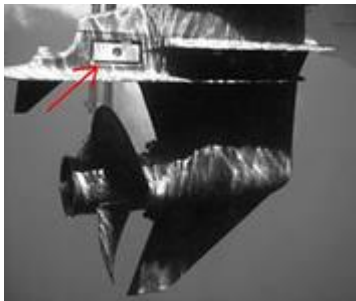
Другие области применения

- Для защиты внутренней поверхности балластируемых танков и цистерн используются призматические короткозамкнутые протекторы из алюминиевого сплава марки АП-3 типа П-КОА-3, 5, 8, 12, 20.
- Для защиты стоечных судов, а также морских и береговых сооружений используются подвесные протекторы из алюминиевого сплава марки АП-4Н типа П-ПОА-10, 15, 30, 45, 60 а также подвесные протекторы из магниевое сплава марки МП1 типа П-ПОМ-4, 10, 30, 60.
- Для защиты внутренней поверхности грузовых и балластируемых танков нефтеналивных судов, к которым предъявляются высокие требования по взрывопожаробезопасности, используются протекторы из цинкового сплава марки ЦП-1 типа П-КОЦ-5, 10, 15, 18, 36.
- Для защиты подводной части корпусов судов из алюминиевых сплавов используются регулируемые протекторы из магниевое сплава марки МП-1 типа П-РОМ-3, 6 ,7, которые устанавливаются изолированно от корпуса, имеют ввод внутрь корпуса и подключаются к нему через регулировочные сопротивления.

Площадь внутренней поверхности S неокрашенного балластируемого танка или цистерны, защищаемая одним протектором, и срок службы протекторов

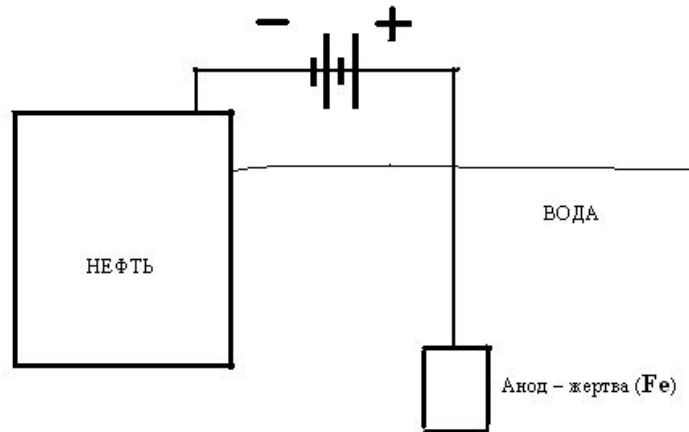
Материал протектора	Тип протектора	Для судов неограниченного района плавания		Для судов внутреннего плавания (бассейны Каспийского, Черного, Белого и Азовского морей)	
		S, м ²	T, годы	S, м ²	T, годы
Алюминиевый сплав марки АПЗ	П-КОА-5	6,0	5	3,5	8
	П-КОА-8	6,5	7	3,5	12
	П-КОА-12	7,5	9	4,0	15
	П-КОА-20	8,5	12	5,0	20
Цинковый сплав марки ЦП1	П-КОЦ-18	10	4	6,0	6
	П-КОЦ-36	12	7	7,0	10

Судовые протекторы

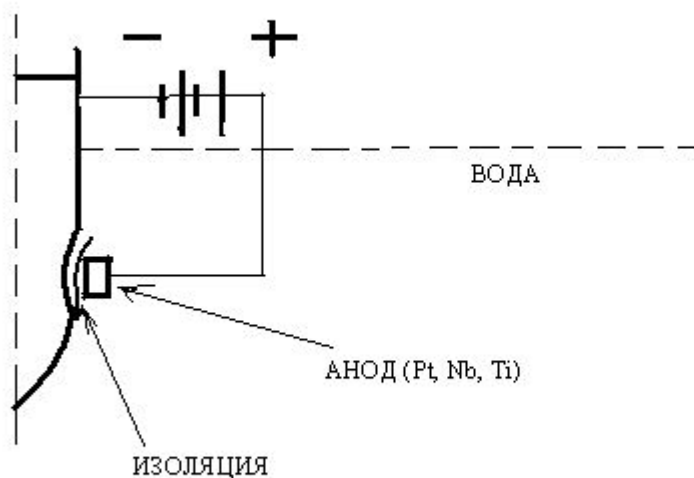
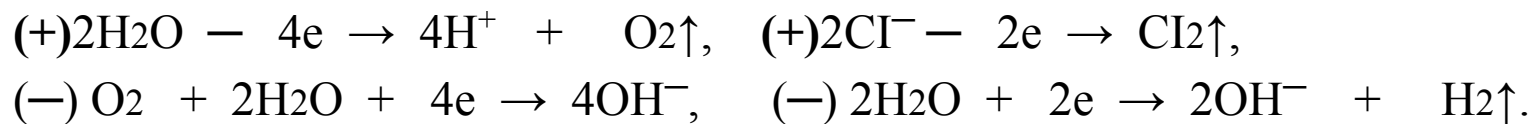


Катодная защита

С растворимым подвесным анодом: (+) $\text{Fe} - 2\text{e} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$,
(-) $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \rightarrow 4\text{OH}^-$
(-) $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2\uparrow$.



С инертным стационарным анодом



Анодный узел

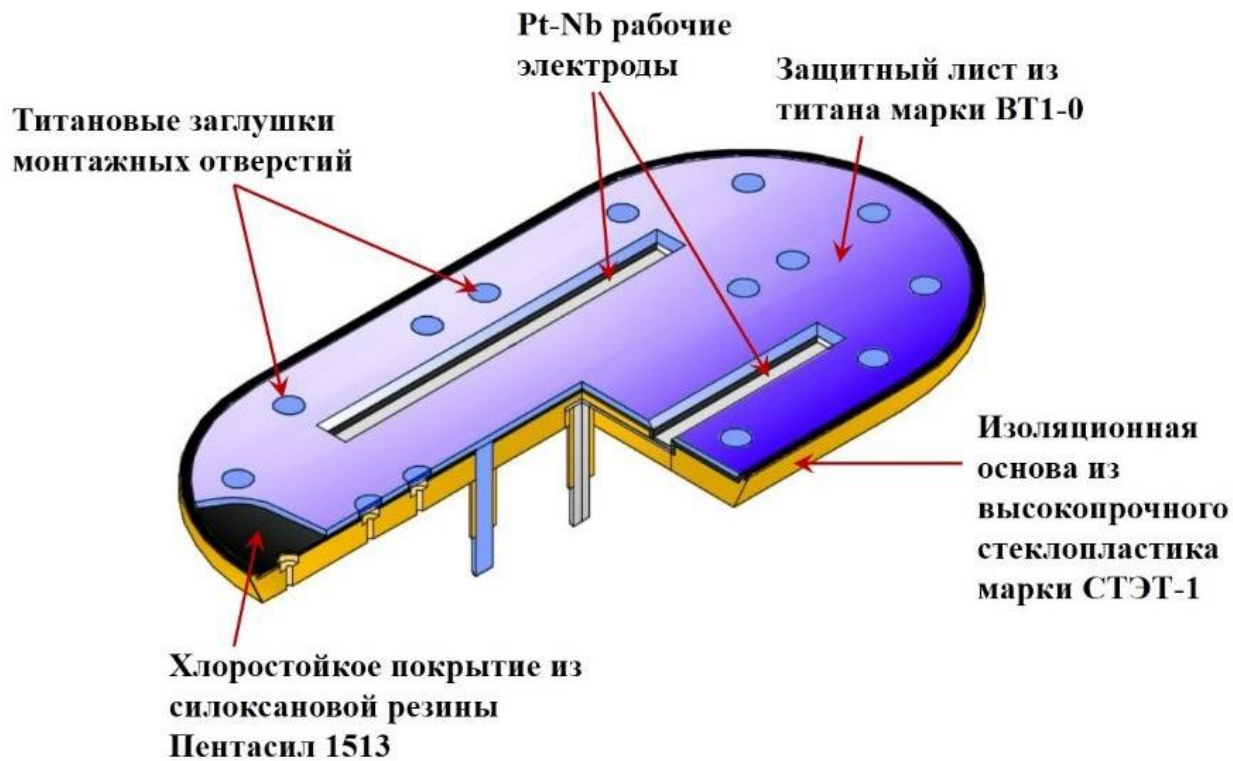
Аноды являются основными элементами систем катодной защиты наложенным током, определяющими технический уровень и срок службы защиты. Устанавливаются на подводной части корпуса судна и обеспечивают стекание защитного тока в морскую воду. Выполняются в виде композитной конструкции, состоящей из рабочего электрода из анодного материала и изоляционной основы, в которую заформовывается рабочий электрод и посредством которой осуществляются крепление анода к корпусу судна и электроизоляция рабочего электрода от корпуса.

Требования к анодным материалам

- Минимальный удельный расход при анодной поляризации в морской воде, определяющий срок службы анода;
- Высокая электропроводность ;
- Низкое перенапряжение при анодной поляризации в морской воде ;
- Высокие допустимые значения рабочей плотности тока на аноде ;
- Технологичность при получении анодного материала и его обработке.

Технические характеристики анодных материалов в морской воде

Анодный материал	Рабочая плотность тока, А/м²	Срок службы, годы	Использ. драгметаллы	Область применения	
Биметалл платина - ниобий	До 5000	25-30	Платина	Морские суда и недокуемые морские сооружения	
Платинированный титан	До 500	10-12		Серебро	Морские суда
Свинцово-серебряный сплав	200-400				
Ферросилид	50-100	3-5	нет	Стоечные суда и морские сооружения	

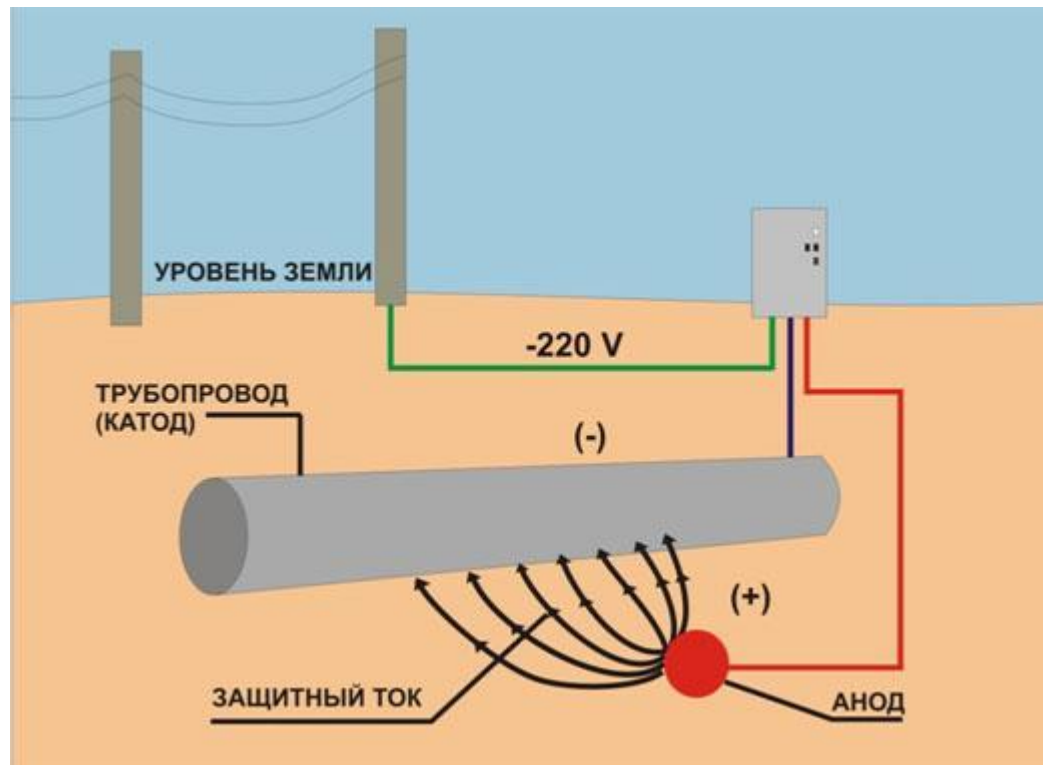


Ледостойкий анодный узел АКЛ-2МУ

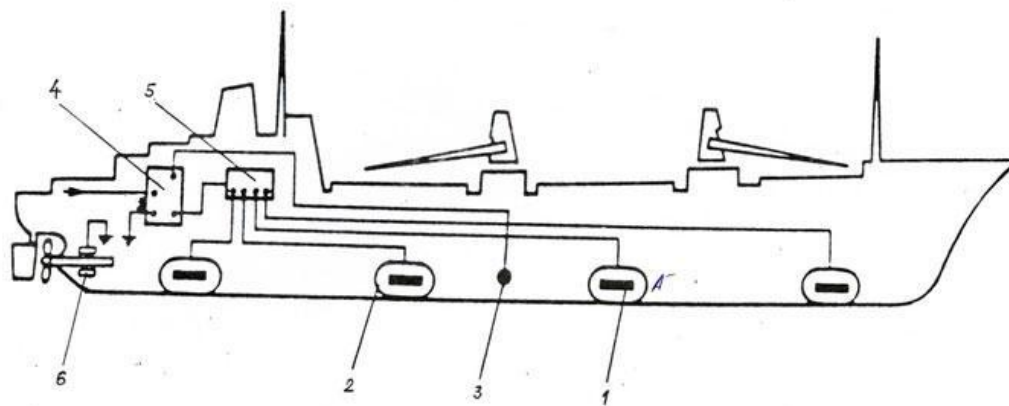
Основные характеристики систем катодной защиты судов неограниченного района плавания при использовании анодов типа АУ-1М, АУ-2М, АУ-3м

Водоизмещение судна, т	Количество анодов на один борт корпуса судна, шт.	Количество электродов сравнения на корпус судна, шт	Количество источников питания (преобразователь с номинальным током 200А), шт
До 1000т	2	2	1
1000-3000	3	2	1
3000-5000	4	2	1
5000-8000	5	4	2
8000-11000	6	4	2
11000-14000	7	4	2
14000-17000	8	4	2
22000-27000	10	6	3
32000-39000	12	6	3
46000-53000	14	8	4
60000-70000	16	10	5
70000-80000	18	12	6
80000-90000	22	12	6
90000-110000	24	14	7

Катодная защита трубопроводов



Анодные узлы на корабле



Морские буровые платформы



Система защиты ледокола

Для ледоколов наиболее уязвим ледовый пояс (0,5-1,5 мм/год). Лучшая в мире краска «Инерта-160» разрушается в начале эксплуатации, газотермическое алюминиевое покрытие толщиной 300-400мкм разрушается за 4 месяца в ледовых условиях (а/л «Леонид Брежнев»). Применение протекторов невозможно, размещение анодных узлов катодной защиты, даже ледостойких, - не представляется возможным.

Надежная защита ледового пояса может быть обеспечена применением двухслойной плакированной стали с наружным слоем из коррозионно-стойкой нержавеющей стали в сочетании с системой катодной защиты с ледостойкими анодами.

Плакированная сталь обеспечивает защиту в зоне истирающего и ударного действия льда и в зоне переменного смачивания, а защиту плакирующего слоя из нержавеющей стали от питтинговой коррозии в подводной зоне и подводной поверхности корпуса из гомогенной стали, в том числе по линии ее стыка с двухслойной сталью, обеспечит система катодной защиты. При этом аноды размещаются ниже ледового пояса. Высокая катодная поляризуемость наружного плакирующего слоя позволяет получить большую зону защитного действия анодов, перекрывающую всю подводную поверхность корпуса вплоть до ватерлинии.

Плакирование без катодной защиты

На ледоколе «Капитан Николаев» финской постройки, при переоборудовании которого в 1990 году ледовый пояс был изготовлен из плакированной стали, после 9 лет эксплуатации без электрохимической защиты, при доковании в 2000 году была обнаружена интенсивная контактная коррозия корпуса из гомогенной корпусной стали в районах, прилегающих к ледовому поясу из плакированной стали глубиной до 18-22мм (!). Особенно выделялись подрезы сварных швов по всему периметру сварного соединения плакированной и гомогенной сталей.

В то же время сама плакированная сталь находилась в идеальном состоянии под действием катодной поляризации от контакта с корпусной гомогенной сталью.

Защита ледокола «50 лет Победы»

Система катодной защиты состоит из 30 анодов типа АКК-М-4, 8 анодов типа АКЛ и 16 хлорсеребряных электродов сравнения. Аноды разделены на 8 групп, каждая из которых питалась от своего источника – автоматического полупроводникового преобразователя типа ТПЦЗ-200-36.

Ледовый пояс от носовой оконечности до 95 шпангоута был выполнен из плакированной стали АБ1 + 08Х19Н10Г2Б с толщиной плакирующего слоя 4-7мм. Общая площадь поверхности плакированной стали составила 1500м².

Плакирующий слой приводит к облагораживанию корпуса в среднем на 90мВ.

Опыт эксплуатации убедительно показал, что изготовление ледового пояса из плакированной стали в сочетании с катодной защитой качественно улучшает ледопроездимость ледокола. Принята расчетная величина защитной плотности тока при проектировании систем КЗ от коррозионно-эрозионных разрушений подводной части корпусов ледоколов составляет **250 мА/м²**. Она предусматривает возможность разрушения ЛКП до 50% площади подводной поверхности.

Комбинированная защита недокуемых сооружений на примере «Приразломной»

Ледовый пояс борта имеет катодную защиту с ледостойкими Pt-Nb анодными узлами АКЛ-2МУ,

Вся защищаемая поверхность разделена на четыре зоны:

Зона 1. Верхняя часть наружной поверхности, изготовленная из плакированной стали, граничащая с морской водой. Защитная плотность тока на уровне **500** мА/м² с учетом запаса надежности.

Зона 2. Нижерасположенная часть наружной поверхности корпуса, изготовленная из низколегированной стали и граничащая с морской водой. $j = \mathbf{325}$ мА/м².

Зона 3. Нижняя часть наружной поверхности кессона из низколегированной стали и граничащая с засыпкой из гравия. $j = \mathbf{50}$ мА/м².

Зона 4. Часть верхней поверхности кессона из плакированной стали, граничащая со льдом. $j = \mathbf{50}$ мА/м².

Параметры катодной защиты

Принимая во внимание площади каждой из зон и принятые значения плотностей тока, максимальная суммарная величина тока составила **4515 А**, вся защищаемая площадь платформы составляла **11500м²**. При проектировании принята плотность тока $i = 390 \text{ мА/м}^2$. При запуске $i = 56 \text{ мА/м}^2$, через год эксплуатации **87,5 мА/м²** - такой запас надежности.

На срок 25 лет система защиты включает:

- 112 анодных узлов с размещением двумя рядами по высоте. Верхний ряд размещен на поверхности низколегированной стали ниже линии стыка плакированной и низколегированной стали, а нижний ряд анодов – выше уровня засыпки основания кессона гравием.
- 56 контрольных хлорсеребряных электродов сравнения типаЭСХП-СЛ.
- 28 преобразователей типа ТПЦЗ-200-36М.

Параметры протекторной защиты

На днище кессона установлены плоские алюминиевые протекторы П-КЛА-15 по ГОСТ 26251-84. Количество протекторов, необходимых для защиты днища на срок 25 лет и более определялось из расчета один протектор на **4м² без покраски днища** с целью увеличения трения и сцепления с грунтом. Протекторы плоские, так как при установке на грунт на протекторы приходится практически вся весовая нагрузка платформы, связанная с ее отрицательной плавучестью.

Для защиты внутренней поверхности резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов применены протекторы из цинкового сплава марки ЦП1 типа П-КОЦ-36 (при ударе не дают искру). На днище резервуара на один протектор приходится площадь **8м²**, а при установке на боковые стенки и нижние поверхности крыш – **12м²**.

При установке протекторов в цистернах, предназначенных только для морской воды, на один протектор должна приходиться площадь поверхности **8м²**.