

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Океанотехника и кораблестроение»

ЗАЩИТА МОРСКИХ СУДОВ И СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

Методические указания
к выполнению лабораторных работ

Севастополь
СевГУ
2024

УДК 629.51/.58:620.197(076.5)

ББК 39.42-08:34.66я72

З-402

Р е ц е н з е н т :

М. Г. Балашов – канд. техн. наук, доцент
кафедры «Океанотехника и кораблестроение»

Составители: А.В. Родькина, О.А. Иванова, В.С. Мылымко

З-402 Защита морских судов и сооружений от коррозии: методические указания к выполнению лабораторных работ / Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Океанотехника и кораблестроение» ; сост. А.В. Родькина, О.А. Иванова, В.С. Мылымко. – Севастополь: СевГУ, 2024. – 31 с. – Текст : электронный.

Целью настоящих методических указаний является оказание методической помощи студентам всех форм обучения по направлениям 26.03.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры»; 26.05.01 «Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники» при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Защита кораблей, судов и объектов океанотехники от коррозии».

УДК 629.51/.58:620.197(076.5)
ББК 39.42-08:34.66я72

Рассмотрено и рекомендовано к изданию на заседании кафедры «Океанотехника и кораблестроение» Морского института ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» в качестве методических указаний к выполнению лабораторных работ для обучающихся по дисциплине «Защита кораблей, судов и объектов океанотехники от коррозии» студентами направления подготовки 26.03.02 и специальности 26.05.01 всех форм обучения, протокол № 8 от 08 мая 2024 г.

© Родькина А.В., Иванова О.А.,
Мылымко В.С., сост., 2024
© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Изучение Требований Правил Регистра к судостроительным сталям	4
Лабораторная работа № 2. Определение электрохимических характеристик судокорпусных металлов в морской воде различной солёности.....	6
Лабораторная работа № 3. Защитные покрытия.....	12
Лабораторная работа № 4. Методы подготовки судовой поверхности к нанесению лакокрасочных материалов. Способы нанесения лакокрасочных покрытий на судовую поверхность.	15
Лабораторная работа № 5. Электрохимическая защита. Протекторная защита конструкций корпуса судна от коррозии.....	18
Лабораторная работа № 6. Электрохимическая защита. Катодная защита корпуса судна от коррозии.....	25
Библиографический список.....	30

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ РЕГИСТРА К СУДОСТРОИТЕЛЬНЫМ СТАЛЯМ

Цель работы: изучение и применение при разработке конструкций корпуса требований Правил Регистра [13] к защите от коррозии.

1.1. Теоретический раздел

Коррозией называется разрушение металлов, происходящее в результате электрохимического взаимодействия их с коррозионной средой в морской воде, влажном воздухе. По характеру разрушения коррозия бывает сплошная и местная. На интенсивность коррозии оказывают влияние внутренние и внешние факторы.

Коррозию судостроительных сталей в морской воде существенно ускоряет наличие окалин. На состояние корпусных конструкций и наружной обшивки корпуса влияют внешние, конструктивные и технологические факторы.

При эксплуатации судна, в результате коррозионного износа, происходит уменьшение толщины наружной обшивки и элементов балок набора корпуса. Это приводит к снижению общей прочности корпуса и местной прочности отдельных конструкций, а также повреждению отдельных элементов. Следует учитывать, что большинство деталей судовых механизмов и элементов корпуса подвергается одновременному воздействию механических напряжений и коррозионного разрушения.

На практике наиболее часто встречаются коррозионно-усталостные разрушения, которые могут привести к появлению трещин и постепенному их распространению в глубину металла перпендикулярно действию нормальных напряжений.

Коррозионное разрушение обшивки и других элементов корпуса судна – это результат процесса, скорость которого зависит от многих внешних и внутренних факторов.

К внешним факторам принадлежит среда, в которой протекает коррозионный процесс, т. е. химический состав и температура воды транспортных рек, а также скорость движения воды относительно корпуса судна.

К внутренним факторам следует отнести химический состав и структуру металла корпуса судна, состояние поверхности, а также внутренние напряжения и деформации, появление которых связано с технологией постройки, ремонта и условиями эксплуатации судна.

Из внешних факторов, влияющих на коррозионный процесс обшивки корпуса судна, наибольшее значение имеет химический состав воды, т. е. концентрация растворенных в ней солей, кислот и щелочей, и наличие в

акваториях блуждающих токов, размер которых зависит от степени энерговооруженности судоремонтных предприятий, портов и самого флота.

Движение воды имеет также существенное значение. С одной стороны, оно, способствуя удалению продуктов коррозии, ускоряет тем самым этот процесс. С другой стороны, усиление доставки к катодным участкам свежего кислорода во время движения воды стремится ослабить анодное растворение металла. В этом случае процесс протекает с кислородной деполяризацией и скорость его в значительной степени зависит от скорости диффузии кислорода на поверхности металла.

Коррозионное разрушение заметнее проявляется у поверхности воды в районе переменной ватерлинии и на выступающих частях корпуса, где обычно повышены скорости обтекания и есть наклеп, т. е. на кормовом подзоре, скуловых листах, острых углах, кромках листов и т. д. Кроме того, силовые линии любых электрических полей блуждающих токов всегда концентрируются на выступающих и скуловых частях корпуса судна.

Влияние скорости обтекания на интенсивность коррозионного процесса связано с содержанием свободного кислорода в жидкости и удалением защитных пленок. [3]

В связи с этим, Правила Регистра требуют при выполнении расчетов прочности корпусных конструкций, учета снижения толщины листов за счет коррозионного износа к середине срока службы.

Величина износа, мм, листов определяется по формуле

$$\Delta S = u \cdot (T-12),$$

где u – среднегодовое уменьшение толщины связей, мм/год, вследствие коррозии или износа; T – планируемый срок службы конструкции, год. Если срок не установлен, то принимается $T = 24$ года.

Среднегодовое уменьшение толщины связей различных конструкций корпуса приведены в Правилах Регистра.

1.2. Задание на работу

Проанализировать процессы коррозии в морской воде судостроительной стали с учетом факторов, повышающих интенсивность коррозии.

Изучить и сформулировать основные требования Правил Регистра к защите корпуса и судовых конструкций от коррозионного износа.

Для корпуса судна, разрабатываемого по дисциплине «Конструкция корпуса судов» («Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники»), вычислить износ листов и элементов набора судна к середине и окончанию срока службы.

Выполнить эскиз миделевого сечения корпуса по отсеку и цистернам на формате А4, с указанием рассчитанной величины износа ΔS .

Контрольные вопросы

1. Опишите конструкцию корпуса судна.
2. Опишите подход к определению уровня износа конструкций от коррозии.
3. Опишите районы повышенной коррозии корпуса морского судна.
4. Дайте определение электрохимической коррозии стали в морской воде.
5. Опишите коррозию стали, анодный и катодный процессы.
6. Опишите факторы, повышающие интенсивность коррозии корпуса судна.

Лабораторная работа № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУДОКОРПУСНЫХ МЕТАЛЛОВ В МОРСКОЙ ВОДЕ РАЗЛИЧНОЙ СОЛЁНОСТИ

Цель работы: изучение влияния солёности морской воды на потенциалы различных металлов, а также определение потенциалов на поверхности металла и в локальном дефекте.

2.1. Теоретический раздел

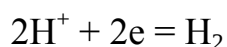
Морская вода имеет солёность в бассейнах мирового океана от 7 до 35 ‰. Присутствие иона хлора в морской воде – основная причина ее коррозионной активности к большинству конструкционных материалов.

Основной электрохимической характеристикой является потенциал.

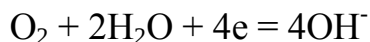
При погружении металла в электролит между поверхностью металла и электролитом возникает разность электрических потенциалов, называемая потенциалом электрода.

Катодный процесс зависит от кислотности среды (рН) [1]:

а) если $\text{pH} < 7$ (в растворах кислот и солей, гидролизующихся по катиону), то деполяризатором являются ионы водорода H^+ , и на катодных участках осуществляется водородная деполяризация, протекающая по схеме



б) если $pH \geq 7$ (в нейтральных и щелочных средах), то деполяризатором являются молекулы кислорода, растворенные в электролите, и на катодных участках осуществляется кислородная деполяризация, протекающая по схеме:



Как показывает многолетняя практика эксплуатации, корпусные конструкции из коррозионно-нестойких материалов (углеродистая, низколегированная сталь и др.) имеют интенсивные коррозионные повреждения при воздействии быстро движущейся морской воды, которые являются концентраторами напряжения и при определенных условиях могут привести к разрушению изделий вследствие низкой коррозионно-усталостной прочности [1].

Существующие коррозионно-стойкие стали и цветные сплавы имеют свои недостатки, в особенности – склонность к коррозионному растрескиванию другим локальным дефектам.

Если в металле происходит развитие местного коррозионного разрушения в виде очень узких углублений, то вполне очевидно, что растягивающие напряжения, перпендикулярные к направлению этих углублений, будут способствовать возникновению концентрации напряжений на дне их, причем, чем больше углубления и меньше радиус дна углублений, тем больше будет концентрация напряжений. При таком состоянии металла создаются все условия для разрушения его вдоль этих более или менее протяженных локальных коррозионных разрушений, и поэтому при достаточной концентрации напряжений металл может начать разрушаться за счет механического воздействия. В результате механического разрушения будет локально обнажаться свежая, незащищенная окисной пленкой поверхность металла, которая, будучи более анодной, подвергается интенсивному воздействию коррозионной среды, что приведет к увеличению тока между дном углублений и неповрежденной поверхностью металла, а, следовательно, и к ускорению коррозии. Ускорение коррозионного процесса вызовет дальнейшее механическое разрушение, и, как результат, увеличится скорость развития трещин благодаря совместному действию коррозионной среды и растягивающих напряжений (рис. 2.1) [2].

2.2. Задание на работу

Провести эксперимент в модельных растворах NaCl с концентрацией 1,8% и 3%, что соответствует концентрации соли в морской воде и океане. Составить отчет, построить графики зависимости изменения потенциала металлов от времени. Сравнить полученные результаты.

2.3. Порядок выполнения работы

Лабораторное оборудование и материалы:

- образцы судокорпусных материалов (Ст3, 09Г2, 20Х13, АМг15-61, Л62);
- установка для создания свежеобразованной поверхности;
- хлорсеребряный электрод сравнения;
- 1,8 % и 3 % раствор NaCl в дистиллированной воде;
- вольтметр для измерения потенциала на поверхности металла;
- источник постоянного тока Lab Tools 30V/15A;
- однокоординатный самописец Н-307/2;
- секундомер;
- миллиметровая бумага.

Схема подключения приборов в лаборатории представлена на рис. 2.2.

Образцы судокорпусных материалов (Ст3, 09Г2, 20Х13, АМг15-61, Л62) изолированы от электролита краской ЭП-755, таким образом получаем только одну рабочую поверхность. Изготовленные образцы для проведения исследований представляли собой диск диаметром 25 мм ($0,002 \text{ м}^2$) и толщиной около 3мм, и прикрепленной к ним соединительной ножкой. Внешний вид используемых образцов представлен на рис. 2.3.

Установка для создания свежеобразованной поверхности металла показана на рисунке 4 и состоит из основания (1), выполненного из эбонитовых плит, стальной станины (2), стальных полозьев (3), к которым сваркой крепиться двигатель Д-25-1 (5), приваренный к полозьям посредством хомута (4). Установка включает в себя стакан (7), выполненный из оргстекла по разработанным эскизам. Образец, а также хлорсеребряный электрод сравнения помещается в стакан (7). Стакан закреплен на основании крепежными уголком (8) и кольцами – держателями (6). При креплении использованы стандартные болты (9), (10). Кронштейн (11) закреплен на верхней части основания. Индикатор часового типа (13) прикреплен к мотору на шпильке (14). Шпилька фиксируется в кронштейне с помощью шайбы (12), что позволяет поднимать и опускать мотор для погружения образца в стакан.

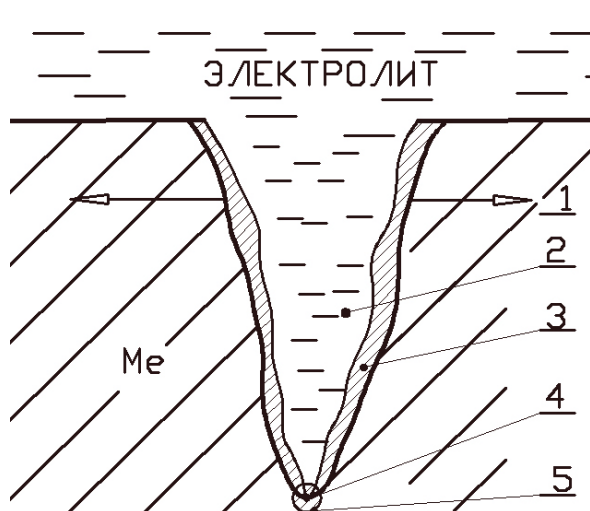


Рис. 2.1. Схема коррозионной трещины:
1 – направления растягивающих напряжений; 2 – трещина, заполненная электролитом; 3 – оксидная пленка (катод коррозионной пары); 4 – непрерывно обновляемое острие трещины (анод коррозионной пары); 5 – максимально напряженная зона металла

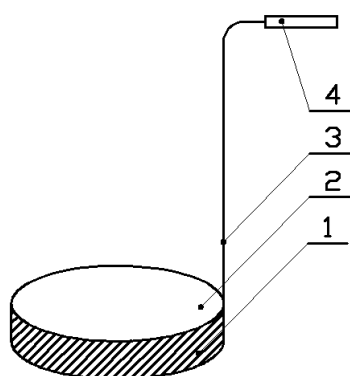


Рис. 2.3. Внешний вид унифицированных по форме образцов металлов:
1 – нерабочая поверхность, покрытая краской ЭП-755; 2 – рабочая поверхность образца; 3 – соединительная ножка; 4 – контактная клемма

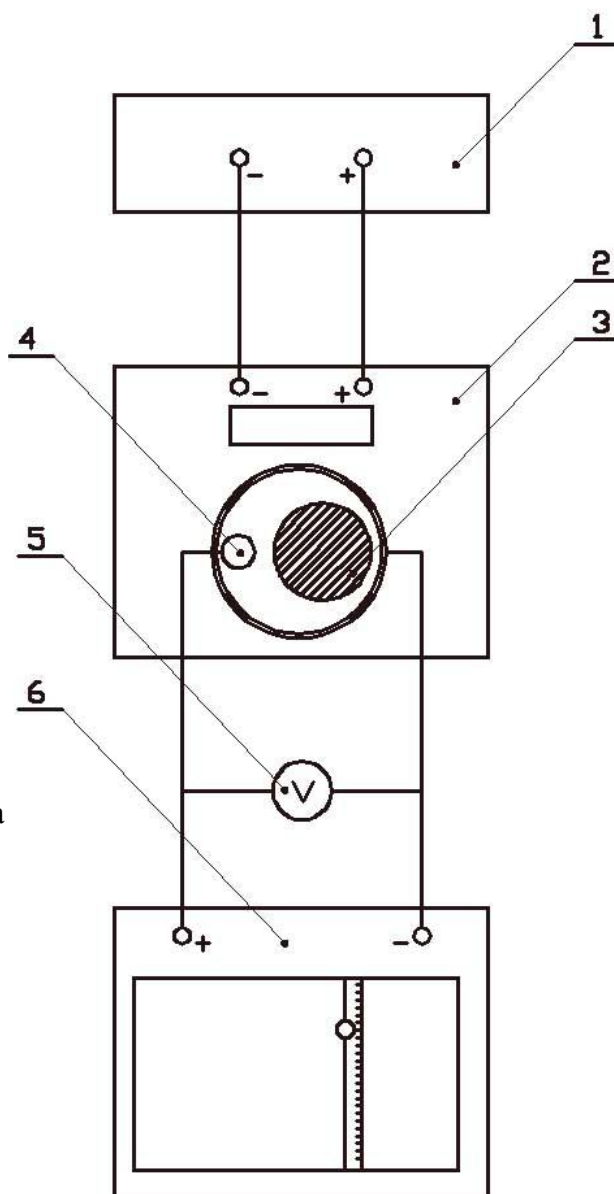


Рис. 2.2. Схема подключения приборов:
1 – источник постоянного тока Lab Tools 30V/15A; 2 – установка для создания свежеочищенной поверхности; 3 – исследуемый образец металла; 4 – хлорсеребряный электрод сравнения; 5 – вольтметр; 6 – однокоординатный самописец Н-307/2

Хлорсеребряный электрод сравнения служит для измерения потенциала подводной части корпуса судна или любой защищаемой конструкции (рис. 2.5). Хлорсеребряный электрод сравнения – электрод, потенциал которого является стабильным и обратимым к металлическим материалам в хлоридах натрия, в том числе и в морской воде [3].

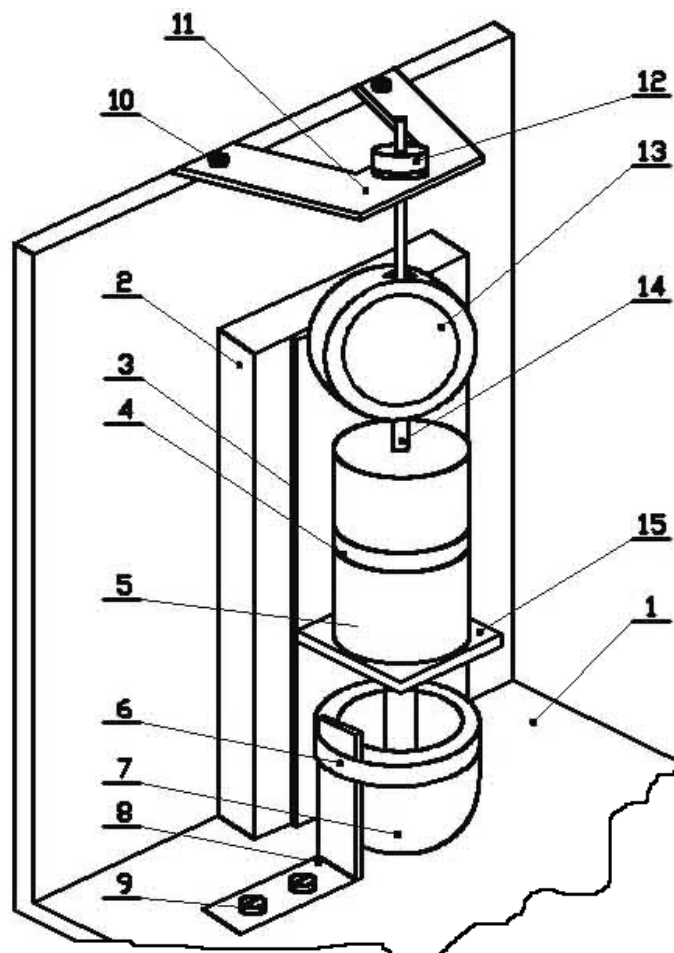


Рис. 2.4. Установка для создания свежесформированной поверхности

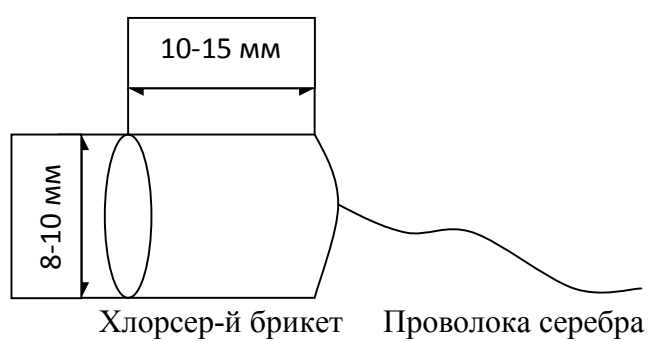


Рис. 2.5. Пористый хлорсеребряный электрод сравнения

Серьезной опасностью для хлорсеребряных открытых электродов сравнения является отравление рабочей поверхности продуктами, имею-

щимися в морской воде и, как следствие, изменение потенциала электрода [4]. Поэтому для точности эксперимента мы применяем **1,8 % и 3 % раствор NaCl в дистиллированной воде**. Периодическая замена электролита обеспечивает постоянство потенциала электрода.

Лабораторный эксперимент выполнить в следующем порядке.

Подготовить раствор NaCl с концентрацией 1,8 % и 3 %.

Обновить поверхность образцов (Ст3, 09Г2, 20Х13, АМг15-61, Л62).

Проверить наличие и целостность изоляционного покрытия на образцах, контакты на образцах и электроде сравнения, работоспособность приборов.

Собрать схему согласно рис. 2.2. Заполнить ячейку электролитом.

Записывать показания вольтметра каждые 30 секунд, начиная с первой (сразу после заполнения ячейки электролитом) и непосредственно перед включением (выключением) установки и сразу после включения (выключения) установки.

После погружения образца в раствор электролита образец выдерживать в нем 3 минуты. На третьей минуте включить установку для создания свежееобразованной поверхности. Зачистку образцов производить со скоростью 2700 об/мин, и нагрузкой в $5 \cdot 10^{-3}$ кг/мм². На шестой минуте эксперимента отключить установку и в течение трех минут продолжать записывать показания вольтметра.

Для остальных соленостей и образцов эксперимент проводить аналогично. Результаты заносить в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Лабораторная работа № 2

Время, мин.	Раствор NaCl с концентрацией 1,8 %					Раствор NaCl с концентрацией 3 %				
	Ст3	09Г2	20Х13	АМг15-61	Л62	Ст3	09Г2	20Х13	АМг15-61	Л62
0										
0,5										
...										
3										
3										
3,5										
...										
5,5										
6										
6										
...										
9										

Контрольные вопросы

1. Дайте определение потенциала металла.
2. Дайте определение анодного и катодного процессов. Назовите их отличия.
3. Обоснуйте необходимость применения установки для создания свежееобразованной поверхности в ходе эксперимента.
4. Перечислите лабораторное оборудование и материалы, используемые Вами в ходе лабораторной работы. Приведите их краткое описание.
5. Используя графопостроитель программного пакета Excel, составьте табличный отчет проведенного эксперимента.
6. Приведите график, построенный по результатам эксперимента.
7. Опишите график, построенный по результатам эксперимента.

Лабораторная работа № 3 МЕТОДЫ ПОДГОТОВКИ СУДОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ К НАНЕСЕНИЮ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ. СПОСОБЫ НАНЕСЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СУДОВУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Цель работы: Описать методы очистки судовой поверхности и контроля чистоты для нанесения лакокрасочных материалов. Дать характеристику лакокрасочных материалов и покрытий корпуса, обеспечивающих защиту от коррозии и обрастания, изучить схемы окраски.

3.1. Теоретический раздел

3.1.1. Очистка

Коррозию судостроительных сталей в морской воде существенно ускоряет наличие окалин, ржавчины. Окалины вызывает интенсивную коррозию даже под слоем краски, вследствие диффузии через её слой. Поэтому тщательная очистка металла от окалин способствует повышению стойкости корпуса против коррозии.

Особую роль методы очистки судовых поверхностей приобретают при судоремонте при постановки судна в док.

Различают следующие методы очистки судовых поверхностей.

Механическая очистка

При ручной механической очистке применяются щетки или звездочки различной конструкции.

Для очистки судовой поверхности используются машины, обладающие большой производительностью до 50 - 120 м²/ч и более.

Струйно-эрозийная очистка судовых конструкций от коррозии и обрастания

Гидродинамическая очистка производится высоконапорной струей давлением $p = 55$ МПа установками «Вома-Атомат 752» и «В-А1502», которые применяются для очистки подводной части корпуса судов, трюмов, якорных цепей, гребных валов. Иногда в высоконапорную струю добавляют абразивные материалы. Производительность 8 - 12 м²/ч при расходе 40 - 50 кг/м².

Пескоструйная очистка предусматривает в виде абразивного материала песок. Применяются пневматические и гидроструйные аппараты с производительностью от 8 до 80 м²/ч с расходом песка 200 - 300 кг/ч.

Перспективным является комбинированный метод очистки, заключающийся в том, что к песковысасывающему эжектору пистолета «Вома-Автомат 752» подключается напорный рукав гидроструйного аппарата.

Дробеструйная очистка использует в качестве абразива стальную или чугунную дробь. Дробеструйные и дробеметные установки обеспечивают высокую степень очистки и шероховатости. На судоремонтных заводах используют передвижные аппараты «Каскад» с производительностью 3,7 м²/ч и японские аппараты «Магстар» с производительностью 60 - 90 м²/ч.

Контроль степени очистки судовых конструкций перед окраской производится с помощью специальных «Эталонов степеней очистки корпусных конструкций под окраску при ремонте судов». Они представляют собой набор цветных фотографий образцов сталей и стальной обшивки корпусов судов, очищенных различными методами до разной степени чистоты. В инструкциях по применению лакокрасочных покрытий для каждой схемы окраски требуется соответствующая эталону фотография чистоты поверхности.

3.1.2. Окраска

Лакокрасочные покрытия – надежный широко применяемый метод, применяется как самостоятельный вид защиты, либо комплексно, совместно с электрохимическими методами защиты.

Лакокрасочные материалы разделяют на грунтовки, шпаклевки, краски и эмали. Грунтовки в зависимости от входящих в состав пигментов подразделяются на: антикоррозионные, фосфатирующие и протекторные.

Судовые краски делятся преимущественно на: антикоррозионные, покрывные и противообрастающие. Отечественные краски классифицируются также в зависимости от пленкообразователей: ГФ – глифталиевые, ПФ – пентафталиевые.

Для нанесения окраски на судовые конструкции используются различные схемы, зависящие от типа конструкций и условий их эксплуатации (наружная обшивка подводной части корпуса, районы интенсивной коррозии, надводный борт, палубы, внутренние поверхности отсеков и др.) Основной схемой окраски предусматривается покрытие антикоррозионной краской ЭКЖ – 40 в 4 слоя и противообрастающей краской ХВ-53. К новым материалам относятся эмаль ХС-413 однокомпонентная, наносимая в 2-3 слоя по грунтам ВЛ-02 или ВЛ-023 при температуре $t^{\circ} = -15...+30^{\circ}\text{C}$.

3.2. Задание на работу

Изучить и описать действующие в настоящее время методы очистки поверхности корпуса и судовых конструкций.

Изучить и описать основные методы контроля очистки металла корпуса.

Разработать методику очистки наружной поверхности корпуса судна (борт, днища), рассматриваемого в работе, подобрать оборудование для очистки, определить время очистки корпуса, и провести контроль очистки поверхности. Площадь поверхности обшивки корпуса определить приближенно.

Вычертить боковой вид корпуса и конструктивный мидель-шпангоут (формат А4), на которых показать районы и виды очистки.

Изучить основные схемы окраски корпусных конструкций

Для рассматриваемого судна разработать схемы окраски следующих конструкций: подводной части корпуса; для корпуса в районе переменной ватерлинии; для корпуса выше переменной ватерлинии; для открытой верхней палубы; крышки рубок; для трюмов и внутренних помещений.

Показать районы окраски на формате А4 (боковой вид, мидель-шпангоут).

Контрольные вопросы

1. Охарактеризуйте способы контроля очистки поверхности корпуса.
2. Опишите влияние дефектов металла на поверхности корпуса на интенсивность электрохимической коррозии.
3. Назовите основные методы подготовки поверхности корпуса к нанесению лакокрасочных материалов.

4. Определение, назначение лакокрасочных материалов.
5. Назовите характерные схемы окраски судовой поверхности.
6. Опишите основные способы нанесения лакокрасочных материалов на судовую поверхность.

Лабораторная работа № 4

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Цель работы: изучить защитные покрытия, их классификацию и свойства.

Теоретический раздел

Защитные покрытия различают:

1. Металлические покрытия – цинк, кадмий, алюминий, олово, серебро и др., а также сплавы – бронза, латунь и т.д. В свою очередь металлические покрытия разделяются на:

а) анодные покрытия – покрытие, у которого потенциал меньше потенциала защищаемой поверхности. При нарушении такого покрытия в первую очередь будет окисляться само покрытие.

б) катодные покрытия – покрытие, у которого потенциал больше потенциала защищаемой поверхности. При нарушении такого покрытия в первую очередь будет окисляться защищаемая поверхность.

2. Неметаллические покрытия. Их можно разделить на:

а) неорганические покрытия – неорганические эмали (различные силикаты), оксиды металлов, соединения хрома и фосфора и т.д.

б) органические покрытия – лакокрасочные покрытия, покрытия смолами, резиной, полимерными пленками и т.п. [1].

Покрытия защищают поверхность металла от коррозии путем ее изоляции от агрессивной среды, а также за счет торможения диффузии и электродных реакций. Для этого покрытия должны обладать протекторным эффектом, коррозионной стойкостью и долговечностью, хорошей адгезией к подложке, сплошностью и беспористостью, сочетаться с другими средствами защиты и пр. В зависимости от конкретных условий необходимо преобладание тех или иных факторов.

Антикоррозионные покрытия классифицируются:

а) по типу материала: металлические (металлы и сплавы); неметаллические: органические, (лакокрасочные, пластмассовые, гумировочные), неорганические (силикатные, оксидные, фосфатные) и комбинированные или композиционные;

б) по деформационным свойствам (упругие, упругоэластичные, эластичные, пластичные);

в) по химической стойкости (химстойкие, относительно стойкие, нестойкие);

г) по теплостойкости (для диапазонов температур 50 – 70 °С, 70 – 100 °С, 100 – 150 °С, свыше 200 °С);

д) по степени усиления (простые, усиленные, весьма усиленные);

е) по состоянию в момент поставки или выпуска (монолитные, пастообразные, пленочные, листовые, порошковые, штучные);

ж) по методам нанесения (обкладкой, оклейкой, ручным или механическим нанесением в виде, жидкостей, паст, порошков).

Механизм торможения коррозии определяется типом материала.

Металлические катодные покрытия состоят из более электроположительного М₁, чем защищаемый М. Они действуют, преимущественно механически изолируя М от агрессивной среды и должны быть беспористыми, в противном случае на обнаженных участках начинается локальный анодный процесс, который может распространиться под покрытие. Если защищаемый М склонен к пассивации, а покрытие является катодным протектором, действует электрохимический механизм защиты, например, медное покрытие на сталях 12Х13 или 12Х18Н9Т в растворах серной кислоты.

Анодные металлические покрытия защищают механически и главным образом электрохимически за счет протект-эффекта. Пористость покрытия не играет существенной роли, т.к. окисляется металл покрытия, а на основном металле восстанавливается окислитель. Характер действия покрытия зависит не только от природы М, но также от состава агрессивной среды, t и других факторов. Например, оловянное покрытие по отношению к железу играет роль катодного в растворах неорганических кислот и солей и анодного – в растворах органических кислот. Цинковое покрытие на стали является анодным в холодной воде и катодным – в горячей.

Лакокрасочные покрытия в зависимости от природы пигмента и пленкообразующей основы служат преимущественно барьером, пассиватором или протектором. Это самый распространенный способ защиты.

Лаками называются коллоидные растворы высыхающих масел, смол, эфиров целлюлозы в летучих органических растворителях. Твердое покрытие образуется при испарении растворителя или в результате полимеризации масла или смолы при нагреве или действии катализатора.

Красками называются суспензии минеральных пигментов в пленкообразователе, т.е. в органическом связующем. **Пигменты** – оксиды свинца, цинка, железа, титана, хромат цинка, карбонат свинца, сульфат бария, алюминиевая или цинковая пудра. Связующим является высыхающее растительное масло (льняное, конопляное), олифа. В краски также вводятся катализатор полимеризации (сиккатив), разжижитель, наполнитель для повышения механической прочности (слюда, графит).

Механическая изоляция достигается, если покрытие сплошное, лишено пор, обладает высокой степенью адгезии, не набухает в агрессивной среде, газо- и влагонепроницаемо, химически стойко. Беспористые покрытия дают при многослойном нанесении, когда происходит закупорка пор, большинство пигментированных лакокрасочных материалов, при отверждении которых образуется трехмерная структура пленкообразователя. Однослойные покрытия в процессе высыхания образуют поры диаметром $10^{-2} - 10^{-4}$ см и обладают структурной пористостью с диаметром пор $10^{-5} - 10^{-7}$ см. При открытой пористости компоненты агрессивной среды поступают к поверхности М за счет капиллярной конденсации и капиллярного течения. При плотной однородной структуре пленки агрессивные агенты перемещаются по механизму активированной диффузии в материале покрытия и частичного растворения в нем агентов. Эффективный диффузионный барьер достигается созданием критической толщины многослойного покрытия, когда сопротивление в его порах приближается к сопротивлению самого покрытия за счет устранения сквозных пор и капилляров. При чрезмерном увеличении толщины покрытия в нем возникают внутренние напряжения, вызванные усадкой и другими процессами при формировании пленки, снижаются адгезия и прочность покрытия.

Защитные свойства зависят от природы пигмента-ингибитора. Свинцовый сурик и хромат цинка являются пассиваторами, цинковая пудра – анодным протектором, алюминиевая пудра – протектором в солевых растворах и кроме того препятствует набуханию.

В случае многослойных покрытий слои выполняют различные функции. Особая роль отводится первому слою грунта, который обеспечивает прочную адгезию с металлом и с последующими слоями покрытия, а также антикоррозионную защиту за счет введения в состав пигментов и применения пленкообразующих веществ с высокой водостойкостью и малой газопроницаемостью. Для улучшения свойств применяют сополимеры, т.к. изменение природы полимеров неодинаково влияет на их химстойкость и способность к адгезии. Например, в ряду функциональных групп полимеров: COOH , OH , CONH_2 , CH_3 , CN , Cl , F – адгезия падает, хотя линейные полимеры типа фторопластов и перхлорвиниловых смол, содержащих Cl и F , отличаются высокой химстойкостью.

Оксидные и фосфатные пленки обладают невысокой химстойкостью, но являются отличным грунтом для лакокрасочных покрытий.

Эмалевые покрытия и покрытия на основе штучных силикатных материалов обладают высокой химстойкостью и изолирующим действием. При высокой пористости, достигающей 30 % для углеграфитных материалов, пропитываются силиконовыми жидкостями и растворами на основе фенолформальдегидных смол.

Покрывтия смолами и пластмассами обладают также изолирующим действием и высокой химстойкостью.

Свойства покрытий

Для обеспечения долговечной защиты покрытия должны обладать комплексом свойств, среди которых следует подчеркнуть деформационно-прочностные свойства, адгезию, химическую стойкость, проницаемость, тепло- и морозостойкость.

Деформационно-прочностные свойства оцениваются такими характеристиками материала покрытия, как разрушающее напряжение при различных видах нагрузки, твердость, модуль упругости, усадка, относительное удлинение и трещиностойкость.

Критериями долговечности являются прочность, в том числе адгезионная, деформируемость, химстойкость и проницаемость [12].

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию защитных покрытий.
2. Приведите классификацию антикоррозионных покрытий.
3. Чем отличаются катодные и анодные металлические покрытия?
4. Дайте определение лаков. Дайте определение красок.
5. Какие еще покрытия применяются? Их свойства.

Лабораторная работа № 5 ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА. ПРОТЕКТОРНАЯ ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА СУДНА ОТ КОРРОЗИИ

Цель работы: изучить и описать протекторную защиту корпуса судна: материал, причины и способы крепления протекторов и их схему расположения на корпусе.

5.1. Теоретический раздел

Электрохимическая коррозия – самопроизвольное разрушение металла или сплава в среде электролита: в растворах электролитов (растворы щелочей, кислот и солей; морская вода); в атмосфере любого влажного газа; в почве.

Металлы и сплавы неоднородны. При соприкосновении их с электролитами, участки с более низким значением потенциала играют роль анода, а другие, с более высоким значением потенциала – роль катода. Таким образом, на поверхности металла или сплава возникает множество микро-

гальванических пар, и, чем их больше, тем больше скорость разрушения поверхности металла или сплава в электролите [1].

Сегодня ущерб от коррозии в развитых странах оценивается в 2 – 4 % ВВП, а потери от вышедших из строя металлических конструкций, изделий и оборудования составляют 10 – 20 % годового производства стали. Эти цифры делают необходимым всестороннее теоретическое изучение коррозии, которое, в свою очередь, служит основой для разработки методов борьбы с коррозионными процессами.

Потеря эксплуатационной надежности судовых конструкций из-за их коррозионного износа в значительной степени зависит от вида коррозионных разрушений. При воздействии морской воды на судовые конструкции, изготовленные из разных металлов, возможны все известные виды коррозионных разрушений.

Равномерная и неравномерная коррозия снижает прочность конструкции только за счет уменьшения сечения ее элементов. При неравномерной коррозии, кроме того, возможна местная концентрация напряжений. При избирательной коррозии ухудшаются показатели прочности сплава в измененном слое [5].

Особую опасность для надежности конструкций представляют межкристаллитная коррозия и коррозионное растрескивание. В обоих случаях разрушение металла может наступить при напряжениях, меньших предела текучести. Внешних признаков коррозионного разрушения на металле может не быть. При межкристаллитной коррозии процесс идет внутри металла по границам зерен, нарушая прочную связь между ними. При коррозионном растрескивании под влиянием растягивающих напряжений и коррозионной среды происходит образование в отдельных точках зародышей трещин, которые далее распространяются по сечению металла, проходя по границам зерен или через зерна [6].

Один из перспективных способов защиты от коррозионно-механических разрушений стали в морской воде – *электрохимическая защита*, условно разделяется на протекторную и катодную. Эффект защиты выражается в изменении потенциала защищаемого металла. Для коррозии судостроительных металлов в морской воде это осуществляется катодной поляризацией конструкции. Вследствие катодной поляризации потенциалы анодных и катодных участков выравниваются (рис. 5.1), а сам защищаемый металл становится общим катодом [8].

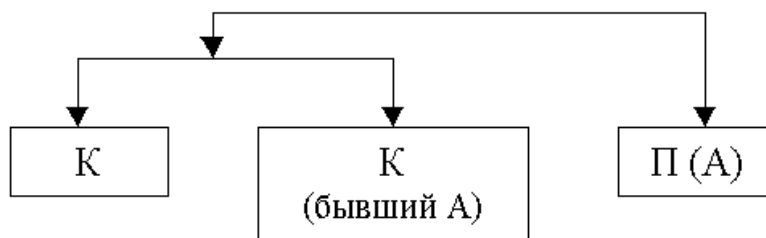


Рис. 5.1. Гальваническая пара:
К – катод, П – протектор, А – анод

В этой новой гальванической паре растворяется присоединенный металл с низким электродным потенциалом, т.е. новый анод. Это принципиальная схема защиты от коррозии.

Протекторная защита конструктивно проста и имеет низкую первоначальную стоимость, но она не предотвращает распространение трещин [7].

Протекторная защита металлических конструкций от электрохимической коррозии состоит в том, что к защищаемой конструкции присоединяют анодный протектор – какой-либо металл или сплав, имеющий в данной коррозионной среде потенциал, меньший, чем у материала защищаемой конструкции.

Механизм катодной защиты металлов от коррозии с помощью анодного протектора состоит в том, что при протекании электрического тока через границу защищаемого металла с коррозионной средой поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, ее потенциал уменьшается, что может приводить к почти полному прекращению коррозионного разрушения. При этом не важно, что является источником поляризующего тока на этой границе – катодная станция или протектор. Во втором случае на поверхности протектора при этом протекает анодный процесс, который постепенно приводит к его растворению. Потому протектор необходимо периодически возобновлять [9].

В случае системы протекторной защиты стального корпуса в качестве анода (протектора) выбирается металл с меньшим, чем у стали электрическим потенциалом (цинк, магний, алюминий и их сплавы). Между протектором и металлом корпуса создается электрический контакт и образуется гальваническая пара.

Протекторы изготавливаются нескольких типов: алюминиевые, цинковые – протекторы со стальной оцинкованной арматурой, которой они привариваются к корпусу, магниевые протекторы неармированные с монтажными отверстиями. По форме, в зависимости от материала и назначения, протекторы имеют форму бруска, усеченной призмы и полусферы.

5.2. Задание на работу

Изучить и описать процесс электрохимической протекторной защиты стального корпуса судна, разработанного по дисциплине «Конструкция корпуса судов» («Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники»).

Изучить и описать химический состав, конструкцию, обозначения и классификацию протекторов.

Для рассматриваемого в работе судна, разработать:

- местную протекторную защиту в кормовой части судна, определить количество и тип протекторов и их расположение на обшивке корпуса в районе винто-рулевой группы (рис. 5.3);
- общую протекторную защиту корпуса судна, определить количество и тип протекторов (рис. 5.4).

Показать расположение протекторов на общем виде судна (эскиз на формате А4), пример см. рис. 5.2.

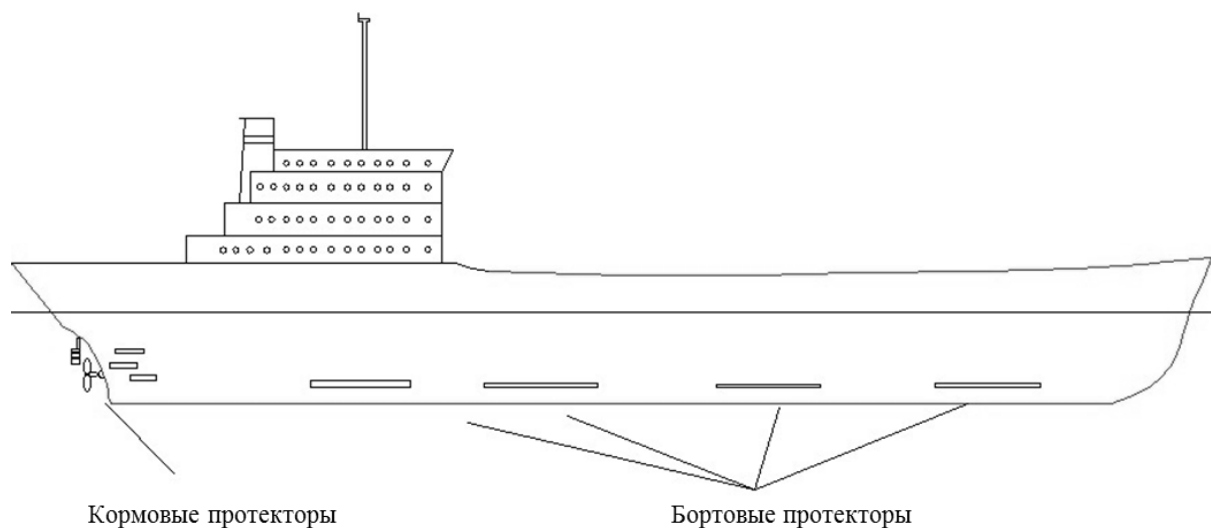


Рис. 5.2. Схема системы протекторной защиты

5.3. Порядок выполнения работы

В морском флоте протекторы применяются для местной и общей защиты корпусов, балластных танков и отсеков от коррозии, могут располагаться одинаково или группами.

Местная протекторная защита кормовой части корпуса и руля от контактной коррозии, обусловленной влиянием гребных винтов из цветных сплавов и нержавеющей стали, устанавливается на всех судах.

Расчет защиты выполняется из условия равенства суммарной токоотдачи всех протекторов, установленных в кормовом подзоре, току кон-

тактной пары винт – корпус. Протекторы устанавливаются равномерно по поверхности кормового подзора вблизи от гребного винта.

Для определения числа протекторов N кормовой оконечности, в зависимости от суммарной площади поверхности S гребного винта из цветных сплавов и нержавеющей стали, построены графики (рис. 5.3).

Площадь поверхности гребного винта:

$$S = 2 \cdot K \cdot \pi \cdot D_B^2 / 4,$$

где $K = 0,6 \dots 0,7$; $D_B = (0,6 \dots 0,7) \cdot d$ – диаметр винта, м; d – осадка судна, м.

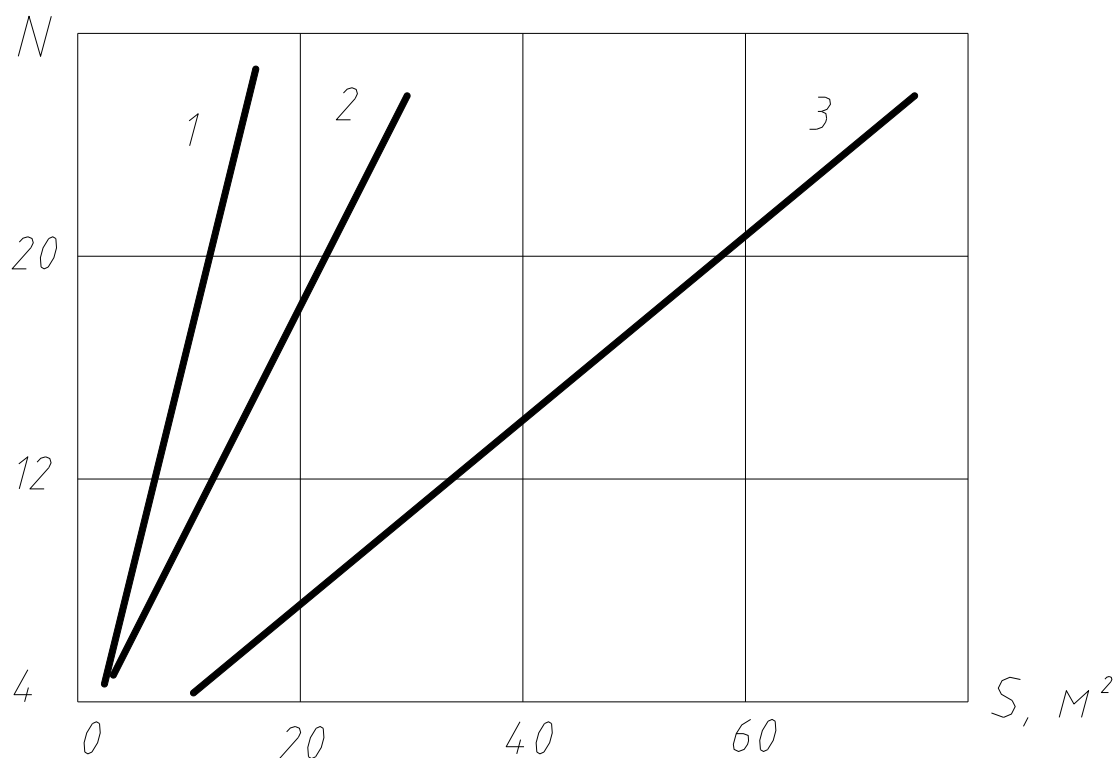


Рис. 5.3. Число протекторов N для местной защиты кормовой части корпуса и винто-рулевого комплекса в зависимости от суммарной площади гребного винта:
1 – протектор П-КОА-4, 2 – протектор П-КОА-10, 3 – протектор П-ККА-13

Общая протекторная защита подводной части корпуса рассчитывается, исходя из заданного срока службы защиты (2 - 4 года междоковый период), получения наибольшего токосяема с единицы массы протекторного материала при заданном сроке службы и технологичности изготовления и монтажа протекторов на корпусе судна.

Основным критерием, при выборе количества протекторов, является необходимость сдвига потенциала защищаемой конструкции от стационарного на 100 мВ наиболее удаленных от протектора участков.

Протекторы устанавливаются в районе скуловых поясов вдоль корпуса судна, в районе носовой и кормовой части – на уровне линии гребного вала. Расстояние между группами не должно превышать 15...20 м.

Для определения числа протекторов, при общей защите подводной части корпуса, в зависимости от водоизмещения судна Δ , разработан график (рис. 5.4).

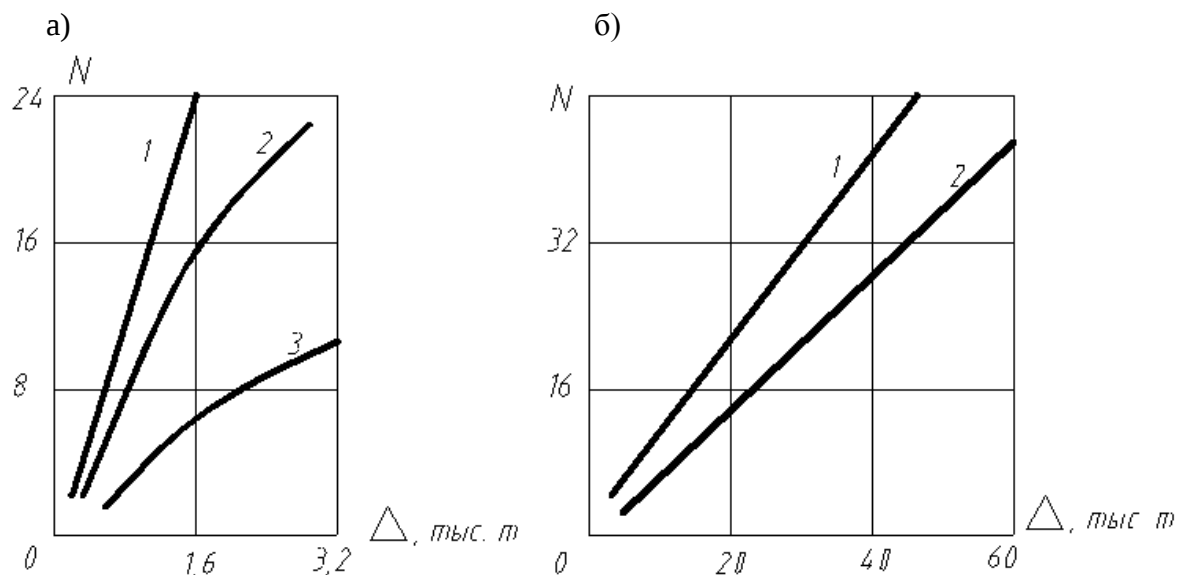


Рис. 5.4. Число одиночных протекторов и протекторных групп (N), на один борт судна при общей протекторной защите в зависимости от водоизмещения судна Δ :

а) водоизмещение $\Delta \leq 3500$ т. б) водоизмещение $\Delta \leq 60000$ т.

1 – протекторы П-КОА-4, 2 – протекторы П-КОА-10, 3 – протекторы П-ККА-13,
4 – протекторы по группе А-1, 5 – протекторы по группе А-11

Лабораторный эксперимент выполнить в следующем порядке.

Провести эксперимент в растворах NaCl с концентрацией 1,8 % и 3 %, что соответствует концентрации соли в морской воде и океане. Построить графики зависимости изменения разности потенциалов металлов от типа протекторного материала. Сравнить полученные результаты. Составить отчет.

Лабораторное оборудование и материалы:

– образцы судокорпусных материалов (Ст3, 09Г2, 20Х13, АМг15-61, Л62);

– 1,8%- и 3%-ный раствор NaCl в дистиллированной воде;

– вольтметр для измерения потенциала на поверхности металла.

Образцы судокорпусных материалов (Ст3, 09Г2, 20Х13, АМг15-61, Л62) изолированы от электролита краской ЭП-755, таким образом получаем только одну рабочую поверхность. Изготовленные образцы для проведения исследований представляли собой диск диаметром 25 мм (0,002 м²)

и толщиной около 3мм, и прикрепленной к ним соединительной ножкой. Внешний вид используемых образцов представлен на рис 2.3.

Необходимо выполнить серию опытов на следующих парах образцов:

Опыт 1. Ст3 и АМг15-61.

Опыт 4. 09Г2 и АМг15-61.

Опыт 2. Ст3 и Л62.

Опыт 5. 09Г2 и Л62.

Опыт 3. Ст3 и Ст3.

Опыт 6. 09Г2 и Ст3.

Приступая к эксперименту, необходимо:

- приготовить раствор NaCl с концентрацией 1,8 % и 3 %;
- обновить поверхность образцов (Ст3, 09Г2, АМг15-61, Л62);
- проверить наличие и целостность изоляционного покрытия на образцах, контакты на образцах и электроде сравнения, работоспособность приборов.

Далее проводим вышеуказанные опыты следующим образом.

Погрузить два образца в раствор электролита, выдержать в нем 2 - 3 минуты.

Записать показания вольтметра в табл. 5.1.

Для остальных соленостей и пар образцов эксперимент проводить аналогично. Результаты заносить в табл. 5.1.

Построить точечные диаграммы для *Ст3 при 1,8 % NaCl*; *Ст3 при 3,0 % NaCl*; *09Г2 при 1,8 % NaCl*; *09Г2 при 3,0 % NaCl*, таким образом: ось абсцисс разделить на равные части тремя точками, точки подписать *АМг15-61*, *Л62* и *Ст3*; по оси ординат откладываем ΔU , мВ.

Таблица 5.1 – Результаты эксперимента

№ опыта	Раствор NaCl с концентрацией 1,8 % ΔU , мВ	Раствор NaCl с концентрацией 3,0 % ΔU , мВ
1		
2		
3		
4		
5		
6		

Контрольные вопросы

1. Дайте определение электрохимической коррозии.
2. Дайте определение электрохимической защиты.
3. Типы электрохимической защиты.
4. Опишите применяемые в судостроении протекторы: материал, тип, классификацию.
5. Опишите расположение протекторов в кормовой оконечности судна.

6. Опишите принцип определения и формулы для определения количества протекторов в кормовой оконечности корпуса судна.

7. Опишите принцип расположения и определение количества протекторов при общей защите корпуса от коррозии.

Лабораторная работа № 6 **ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА.** **КАТОДНАЯ ЗАЩИТА КОРПУСА СУДНА ОТ КОРРОЗИИ**

Цель работы: изучить и описать принцип действия катодной защиты наложенным током: принципиальную схему, анодные материалы и судовую систему катодной защиты; разработать комплексную систему защиты корпуса судна от коррозии и обрастания. Рассчитать наложенный ток корпусов судов для защиты от коррозионно-механических разрушений.

6.1. Теоретический раздел

Катодная электрохимическая защита отличается от протекторной тем, что электрический ток, необходимый для защиты, получается не от работы гальванической пары, а от источника тока. Защищаемый объект присоединяется к отрицательному выводу источника постоянного тока, а анод – к положительному выводу (рис. 6.1).

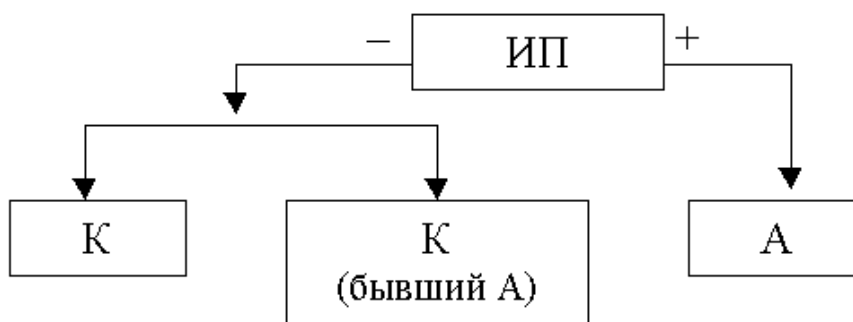


Рис. 6.1. Схема катодной защиты:
ИП – источник питания; К – катод; А – анод

Системы катодной защиты состоят из следующих основных элементов: анодов с околоанодными экранами, источников питания с измерительной и регулирующей аппаратурой, электродов сравнения, силовых кабелей для подключения анодов и кабелей для подключения электродов сравнения и других, а также щита управления системы катодной защиты. В систему катодной защиты входят также сальниковые уплотнения и защит-

ные коробки в местах токоподвода к анодам через обшивку корпуса и в местах установки электродов сравнения [10].

Аноды устанавливаются изолированно от защищаемой конструкции и подключаются к положительному полюсу источника питания (рис. 6.2).

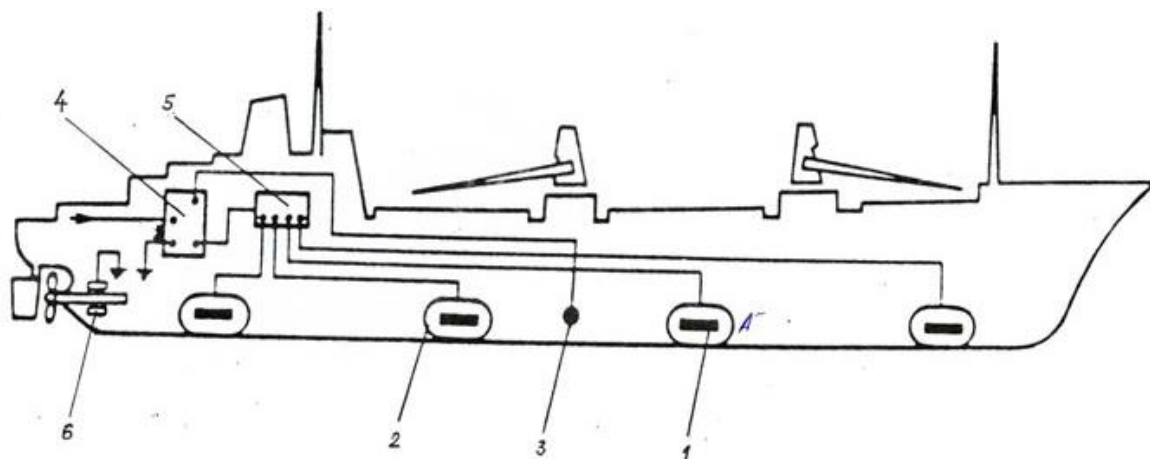


Рис. 6.2. Схема системы катодной защиты наложенным током подводной части корпуса судна:

- 1 – аноды, 2 – околоанодные экраны, 3 – электрод сравнения, 4 – источник питания, 5 – распределительный щит, 6 – контактно-щеточное устройство

Анодные материалы подразделяют на растворимые (сталь, алюминий), малорастворимые (ферросилид, графит, свинец и его сплавы, магнетит) и нерастворимые (платина и ее сплавы). В системах катодной защиты судов чаще всего используются аноды из платины в виде гальванического покрытия или фольги, реже – из свинцовосеребряного сплава.

Для защиты подводной части корпуса используют платиновые аноды в связи с их малым удельным расходом. Анод, выполненный в виде тонкой платиновой фольги, обычно заформовывается в диэлектрическую основу из пластмассы или стеклопластика, которая наформовывается непосредственно на корпус.

Околоанодные экраны предназначены для более равномерного распределения защитного тока по защищаемой поверхности и для предохранения близких к аноду участков поверхности от перезащиты и, соответственно, от разрушения лакокрасочного покрытия газообразным водородом. Околоанодные экраны изготавливаются в виде толстослойного покрытия из стеклопластика, резины, цемента и других материалов, обладающих необходимыми прочностью и диэлектрическими свойствами.

Источники питания катодной защиты судов преобразуют переменный ток судовой сети в постоянный ток напряжением 12...24 В. Для этого используются выпрямители с ручным или автоматическим регулированием выходного тока. При катодной защите подземных металлоконструкций

выходное напряжение источников питания обычно выше, чем в морской воде (до 48 В).

Регулирующие устройства служат для регистрации сигнала от датчиков, контролирующих эффективность защиты, для сравнения их показаний с заранее установленными эталонами напряжения, для регулирования значений выходного тока.

В качестве датчиков сигнала для регулирующего устройства источника питания

В качестве датчиков сигнала для регулирующего устройства источника питания (величины потенциала) применяются хлорсеребряные и цинковые электроды сравнения, установленные на защитной поверхности, имеющие постоянный собственный потенциал в широком диапазоне условий эксплуатации конструкции, равный 240 мВ. По показаниям приборов, расположенных на распределительных щитах и подключенных к электродам сравнения и корпусу, контролируется и при необходимости регулируется величина потенциала металла.

В качестве параметра электрохимической защиты принимается сдвиг электродного потенциала от стационарного значения. Полная защита от коррозии стали в морской воде достигается при сдвиге потенциала на 200...250 мВ. Однако, более экономично, при проектировании выбирать необходимый сдвиг потенциала на 100...180 мВ, при котором обеспечивается степень защиты на 90 – 93 % и полностью устраняется наиболее опасная язвенная коррозия.

При установке на судне системы катодной защиты (с расходуемыми анодами или наложенным током) подводной части корпуса, как правило, предусматривается установка контактно-щелочного устройства, предназначенного для подключения к защите валовинтового комплекса. Контактно-щеточное устройство состоит из разъемного кольца, установленного на гребном валу, щеткодержателя с медно-графитовыми щетками, зачистной проволоочной щетки и кронштейна для крепления щеткодержателей.

При проектировании систем электрохимической защиты встает вопрос о технико-экономической целесообразности применения того или иного типа катодной защиты. Обычно считают, что катодную защиту наложенным током, с учетом больших первоначальных затрат, экономически целесообразно устанавливать на судах водоизмещением более 10 тыс.т; на судах меньшего водоизмещения целесообразно устанавливать систему с расходуемыми анодами.

Потенциал защищаемой поверхности связан с плотностью тока катодной поляризации. Величина необходимой плотности тока зависит от многих факторов; состояния краски, скорости судна, солености и температуры морской воды и др. При расчете защиты принимают наиболее неблагоприятный вариант; обычно для систем с расходуемыми анодами плотность то-

ка составляет 30...60 мА/м², для систем с наложенным током – 75...150 мА/м².

Различие в значения плотности тока объясняется различной степенью неравномерности распределения тока: в связи с большим количеством расходуемым анодов ток в этом случае распределяется более равномерно.

Качественное лакокрасочное покрытие позволяет значительно (в 10-100 раз) снизить плотность тока, необходимого для достижения защитного потенциала, поэтому электрохимическую защиту наиболее рационально сочетать с лакокрасочным покрытием.

Следует также учитывать, что при катодной поляризации происходит подщелачивание среды вблизи поверхности металла до pH равной 12, поэтому краски, применяемые совместно с электрохимической защитой, должны быть стойкими в этих условиях. К нестойким относятся все краски на масляной основе.

Для судов без покрытия катодная защита от коррозии практически невозможна или неэкономична ввиду большого требуемого защитного тока и неблагоприятного его распределения. К тому же между стальной стенкой корпуса и противообрастающим покрытием должен иметься электроизолирующий слой, чтобы не допустить электрохимического восстановления токсичных соединений металлов. Катодные продукты электролиза сами по себе не могут предотвратить обрастания. Наоборот, медь, инертная против обрастания при свободной коррозии, при катодной защите может подвергнуться обрастанию.

В зависимости от объема зоны защиты различают полную и частичную защиту подводной части судна. При частичной защите защищается только корма, которая подвергается особой опасности коррозии вследствие сильного течения и аэрации, а также возможности образования коррозионного элемента с навесными устройствами – гребным винтом и рулями. Кроме того, частичная защита может быть распространена и на носовую часть судна, омываемую интенсивными потоками воды. Средняя часть судна при этом не включается в систему защиты по экономическим соображениям и в соответствии с ограничивающими правилами, по которым запрещается размещение протекторов в этой области [11].

Катодная защита целесообразна на судах водоизмещением более 22000-25000 т. В настоящее время используется отечественная система защиты «Луга-1».

6.3. Порядок выполнения работы

Изучить и описать процесс электрохимической и катодной защиты стального корпуса судна. Изучить и описать состав и процесс работы судовой системы катодной защиты «Луга-1».

Для рассматриваемого в работе судна разработать комплексную защиту от коррозии и обрастания подводной части корпуса и коррозии отсеков и цистерн: очистка металла корпуса; окраска судовых конструкций; протекторная и катодная защита корпуса.

Показать схему размещения катодной защиты корпуса на эскизе формата А4, пример – рис. 6.2.

Произвести расчет требуемого защитного тока.

По закону Ома:

$$R = \frac{U}{I}$$

Площадь подводной части корпуса судна вычисляется по формуле

$$S_0 = L_{KWL} (B_{KWL} + 2T_{KWL})\delta$$

где L_{KWL} – длина по конструктивной ватерлинии, м; B_{KWL} – ширина по конструктивной ватерлинии до кромки шаблона; T_{KWL} – конструктивная глубина на длине $0,5L_{KWL}$ (отнесенная к базе), м; δ – степень заполнения водоизмещения.

По плотности J_{si} для отдельных участков площади S_0 можно определить суммарный защитный ток

$$I_S = \sum J_{si} \cdot S_0$$

Требуемая плотность защитного тока J_{si} для отдельных участков зависит от качества покрытия на каждом участке, от условий обтекания и от вида защищаемого устройства. Для систем с наложением тока от постоянного источника принимают расчетную плотность тока 25 мА/м^2 , так чтобы при возможных более значительных повреждениях покрытия они могли бы отдавать соответственно больший защитный ток. Дополнительными затратами при этой системе защиты (в отличие от протекторной защиты) следует пренебречь.

Контрольные вопросы

1. Перечислить элементы, входящие в состав катодной защиты.
2. Опишите принцип действия катодной защиты.
3. Опишите состав и принцип катодной защиты «Луга-1».
4. Опишите, в чем заключается смысл и достоинства комплексной защиты корпуса судна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коррозия металлов. Методы защиты от коррозии: методические указания к лабораторной работе по химии для студентов технических специальностей / Сост. И.В.Савенкова, Е.А.Фатьянова – Курск: Курск.гос.техн.ун-т, 2005. – 22 с.
2. Ожиганов Ю.Г. Предотвращение коррозионного растрескивания судостроительных сталей на морских судах и сооружениях / Ю.Г.Ожиганов, А.В.Родькина // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений: материалы IV Всеукраинской студенческой науч.-техн. конф., 2-5 декабря 2009 г. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – С. 118 - 125.
3. Ожиганов Ю.Г. Крепление хлорсеребряного электрода сравнения для катодной защиты от коррозии с помощью пневматического и гидравлического приводов / Ю.Г.Ожиганов, А.В.Родькина, А.А.Огородова, О.И. Калинина // Удосконалювання проектування й експлуатації морських суден і споруд: матеріали VII Всеукраїн. наук.-техн. конф. молодих вчених і студентів, Севастополь, 5–7 грудня 2012 р. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. М.Г.Балашов – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2012. – С. 182 - 184.
4. Ожиганов Ю.Г. Конструкция и технология изготовления хлорсеребряных электродов сравнения для систем электрохимической защиты морских судов и сооружений / Ю.Г. Ожиганов, А.В. Родькина, А.А. Огородова, О.И. Калинина // Удосконалювання проектування й експлуатації морських суден і споруд: матеріали VI Всеукраїнської студентської наук.-техн. конф., Севастополь, 6-9 грудня 2011 р. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. А.В. Дологлонян. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2011. – С.139 - 144.
5. Бибииков М.М. Электрохимическая защита морских судов / М.М.Бибииков, Е.Я.Люблинский, Л.В.Поварова – Л.: Судостроение. – 1971. – 264с.
6. Саакян Л.С. Повышение коррозионной стойкости нефтегазопромыслового оборудования / Л.С. Саакян, А.П. Ефремов, И.А. Соболева – Москва: Надра. – 1988. – 211 с.
7. Ожиганов Ю.Г. Катодная поляризация при потенциале незаряженной поверхности как способ защиты судокорпусных конструкций от коррозионно-механических разрушений в морской воде / Ю.Г. Ожиганов, А.В. Родькина, А.А. Огородова, О.И. Калинина // Науковий вісник ХДМІ №2(5), 2011 – Севастополь, 2011. – С. 140 - 148.
8. Зобачев Ю.Е. Защита судов от коррозии и обрастания / Э.Л. Соминская, Ю.Е. Зобачев – М.: Транспорт, 1984. – 243 с.

9. Электрохимические технологии защиты от коррозии крупных объектов техники. Метод. указания к лабораторным работам / Сост: И.Н. Андреев, Ж.В. Межевич, Г.Г. Гильманшин – Казань: Казанск.гос.технол.ун-т, 2004. – 50 с.

10. Бэкман В. Катодная защита от коррозии / В. Бэкман, В. Швенк – М.: Металлургия. – 1984 . – 496 с.

11. Коррозия и защита морских судов / И.И.Богорад, Е.В.Искра, В.А.Климова, Ю.Л.Кузьмин – М.: Судостроение. – 1973. – 342 с.

12. Экилик В.В. Теория коррозии и защиты металлов. Методическое пособие по спецкурсу / В.В. Экилик – Ростов-на-Дону: Рост.гос.ун-т. – 2004. – 67 с.

13. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. – СПб.: Транспорт, 2012. – 1239 с.

ЗАЩИТА МОРСКИХ СУДОВ И СООРУЖЕНИЙ ОТ КОРРОЗИИ

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ*

Составители: **Родькина** Анна Владимировна,
Иванова Ольга Александровна, **Мылымко** Вячеслав Степанович

В авторской редакции

Изд. № 100/2024. Объем 2 п.л. Усл.печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,96.
Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»