

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

Кафедра «Гидравлика»

И.В. Карпенчук  
В.Н. Шарий

КОНСЕРВАЦИЯ КОРАБЛЯ

Конспект лекций  
для студентов специальности  
1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация  
водного транспорта»

Минск  
БНТУ  
2011

УДК 629.5 (075.8)

ББК 39.42я7

К 26

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра «Машины и технология обработки металлов давлением»  
БНТУ, профессор кафедры, д-р техн. наук, профессор *Л.А. Исаевич*;  
кафедра «Сопротивление материалов машиностроительного профиля»  
БНТУ, доцент кафедры, канд. техн. наук, доцент *А.А. Хмелев*

**Карпенчук, И.В.**

К 26 Консервация корабля: конспект лекций для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» / И.В. Карпенчук, В.Н. Шарий. – Минск: БНТУ, 2011. – 74 с.

ISBN 978-985-525-657-2.

Издание включает текст лекций по консервации корабля. Содержит описание сущности физико-химических процессов, связанных с консервацией кораблей, рассмотрены материалы и приборы контроля, используемые при консервации, изложены наиболее прогрессивные способы консервации – статическое и динамическое осушение воздуха, применение ингибиторов коррозии, электрохимическая защита, защитные атмосферы, приведена краткая технология консервации кораблей указанными способами.

УДК 629.5 (075.8)  
ББК 39.42я7

ISBN 978-985-525-657-2

© Карпенчук И.В.,  
Шарий В.Н., 2011  
© БНТУ, 2011

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ. . . . .	4
1. КОНСЕРВАЦИЯ ЗАЩИТНЫМИ СМАЗКАМИ И МАСЛАМИ. . . . .	4
1.1. Подготовка поверхностей перед консервацией. . . . .	4
1.2. Подготовка масел и смазок. . . . .	9
1.3. Технология применения масел и смазок. . . . .	10
2. СТАТИЧЕСКОЕ ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА. . . . .	12
2.1. Влияние относительной влажности на коррозию. . . . .	12
2.2. Способы осушения воздуха. . . . .	13
2.3. Силикагель. . . . .	15
2.4. Герметизация осушаемых объемов. . . . .	18
2.5. Подготовка и процесс статического осушения воздуха. . . . .	24
3. ДИНАМИЧЕСКОЕ ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА. . . . .	28
3.1. Воздухоосушительные установки. . . . .	28
3.2. Распределение воздуха по корабельным помещениям. . . . .	34
3.3. Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха. . . . .	39
3.4. Контроль за состоянием материальной части и работой воздухоосушительных установок. . . . .	41
4. ЗАЩИТНЫЕ АТМОСФЕРЫ. . . . .	43
4.1. Получение защитных атмосфер. . . . .	43
4.2. Применение защитных атмосфер для консервации. Вакуумная установка. . . . .	44
4.3. Вакуумирование объема. . . . .	48
4.4. Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер. . . . .	49
5. ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ. . . . .	50
5.1. Классификация ингибиторов коррозии. . . . .	50
5.2. Нелетучие контактные ингибиторы коррозии. . . . .	52
5.3. Летучие ингибиторы коррозии. . . . .	55
5.4. Способы применения ингибиторов коррозии. . . . .	56
6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА КОРПУСОВ КОРАБЛЕЙ. . . . .	59
6.1. Сущность электрохимической защиты. . . . .	59
6.2. Протекторная защита. . . . .	60
6.3. Катодная защита. . . . .	63
6.4. Электрокоррозия и борьба с ней. . . . .	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ. . . . .	73

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Консервация корабля» является обязательной базовой из группы специальных дисциплин, читаемых по программе подготовки инженеров-кораблестроителей, и предусматривает изучение материала с целью дальнейшего более осознанного освоения таких дисциплин, как «Судовые энергетические установки», «Технология судоремонта», «Технологии судостроения».

Изучение материала, основанного на знаниях физико-химических явлений и законов природы, формирует навыки при проведении комплекса мероприятий по консервации судов любых классов.

### **1. КОНСЕРВАЦИЯ ЗАЩИТНЫМИ СМАЗКАМИ И МАСЛАМИ**

#### **1.1. Подготовка поверхностей перед консервацией**

Ни один из применяемых в настоящее время способов консервации материальной части кораблей для защиты их поверхностей от коррозии не исключает использования различных защитных покрытий. В одних случаях покрытия являются единственными средствами защиты оборудования от возникновения и развития коррозии, в других – играют роль вспомогательного средства, обеспечивающего защиту оборудования при кратковременных нарушениях режимов хранения, например при кратковременном повышении относительной влажности воздуха (при использовании статического и динамического осушения воздуха в помещениях корабля).

Для создания стойкого защитного покрытия необходимо тщательно подготовить поверхность, правильно выбрать защитные покрытия, организовать технологический процесс нанесения защитных покрытий и уход за покрытиями в процессе хранения оборудования.

Твердые поверхности имеют весьма сложное строение. Их атомы сохраняют то положение, в котором они находились в момент образования поверхности. Поверхность металла состоит из участков, обладающих различными физическими и химическими свойствами. Поверхность металла, особенно металлических сплавов, неоднородна. Дефектами поверхности являются механические повреждения,

отдельные царапины, крупные и мелкие поры, раковины, шероховатости, риски и т. д. Даже самое тщательное полирование не в состоянии устранить их полностью. Поэтому истинная величина площади поверхности металлов и других материалов (вследствие наличия пор и трещин) значительно превышает величину площади поверхности, видимой невооруженным глазом.

Поверхности металлов по своему физическому состоянию сильно отличаются от внутренних областей металла. Атомы металла, находящиеся на границе с внешней средой, вследствие одностороннего воздействия со стороны других атомов обладают ненасыщенными силовыми полями, и на поверхности металлов могут адсорбироваться молекулы, атомы и ионы посторонних веществ. При прочих равных условиях с увеличением доступной поверхности твердого тела повышаются ее адсорбционные свойства

Адсорбционные свойства поверхности металла приводят к образованию на поверхности при относительной влажности воздуха ниже 100 % адсорбционной пленки влаги, при этой же влажности обычно происходит конденсация влаги в капиллярных щелях. При снижении температуры на поверхности металла образуется сплошная тонкая пленка влаги. В пленке влаги растворяются различные загрязнения воздуха: сернистый газ, соли, пыль, что повышает электропроводность электролита и таким образом способствует увеличению коррозионного тока. Этими свойствами металлических поверхностей и объясняется значительная скорость коррозии грубо обработанных поверхностей по сравнению с полированными.

Плохая подготовка металлических поверхностей даже при наиболее эффективном способе консервации сокращает срок действия защиты, приводит к трате средств на повторную консервацию, вызывает разрушение поверхностей даже под защитным покрытием.

Подготовка поверхностей к нанесению покрытий производится механическим, термическим, химическим и электромеханическим способами и заключается в удалении с поверхностей окислы, продуктов коррозии, старой краски, жировых и масляных загрязнений, влаги, а также устранении царапин, неровностей, рисков и других дефектов. Способ очистки зависит от материала, из которого изготовлена деталь, подлежащая очистке, формы ее поверхности, точности обработки, вида загрязнений и наносимого на нее защитного покрытия.

Наиболее распространен механический способ очистки. Применяются следующие ее виды: пескоструйная, дробеструйная или дробе-метная, крацевание, шлифование и очистка ручным инструментом.

Пескоструйная очистка является одним из эффективных способов подготовки поверхностей. Она особенно пригодна для удаления окалины, ржавчины и старых покрытий с грубообработанных крупногабаритных деталей. Сущность процесса пескоструйной очистки состоит в том, что струя просеянного и просушенного кварцевого песка через специальное сопло направляется сжатым воздухом на поверхность детали. Песок, ударяясь о поверхность детали, очищает ее. Эффективность очистки значительно снижается, если поверхность детали сильно замаслена. Поэтому перед пескоструйной очисткой поверхность целесообразно освободить от жиров и масел. Обработанная песком поверхность обладает большой активностью, легко корродирует, адсорбирует пыль и различные загрязнения, поэтому отпескоструенную поверхность необходимо как можно скорее подвергнуть дальнейшей обработке. Основным недостатком пескоструйной очистки — это пыль, вследствие чего данный вид очистки не может применяться во внутренних помещениях корабля. Этот недостаток в значительной мере устраняется при применении гидropескоструйной очистки, когда вместо сухого песка используется смесь песка с водой. При гидropескоструйной очистке к воде часто примешивают замедлители коррозии: нитрит натрия 1–5 г/л, тринатрийфосфат 5–20 г/л, хромпик 5 г/л и др. Использование пассивирующих растворов обеспечивает получение при очистке чистой пассивированной поверхности металла, сохраняющей свои свойства в течение нескольких часов.

На кафедре «Гидравлика» БНТУ (Карпенчук И.В., Недбальский В.К.) разработан метод гидроочистки корпуса корабля с добавками высокомолекулярных полимеров и дилатантными добавками. В качестве псевдопластичной добавки, снижающей гидродинамическое сопротивление, использовался полиэтиленоксид (или полиакриламид), в качестве дилатантной добавки — бентонитовая глина натриевой формы.

Лучшее качество очистки при большей коррозионной устойчивости обработанной поверхности дает применение мелкой стальной дроби вместо кварцевого песка — так называемый дробеструйный способ. Однако как пескоструйный, так и дробеструйный методы

очистки вытесняет более прогрессивный способ — дробеметный.

**Крацевание** заключается в обработке изделий с помощью быстро вращающихся дисковых проволочных щеток. Для крацевания стальных изделий применяются щетки из стальной проволоки диаметром 0,2–0,4 мм, для изделий из цветных металлов — щетки из лагунной или медной проволоки. Этот способ очистки дает хорошие результаты при подготовке под окраску корпусных конструкций, подготовке поверхностей для герметизации донных, забортных отверстий и т. д.

**Шлифование** — наиболее часто применяемый способ подготовки поверхностей к нанесению защитных покрытий. Изделия шлифуются для придания им ровной, гладкой поверхности, удаления окисных пленок, различных механических повреждений: рисок, царапин, заусенцев, а также для снятия коррозионных поражений с чисто обработанных поверхностей. Большое применение при шлифовке получили мягкие абразивные материалы, изготавливаемые главным образом из окисей различных металлов: окиси хрома, окиси железа, окиси алюминия, твердость которых ниже твердости закаленной стали. Процесс шлифовки при пользовании этими материалами заключается в многократном удалении с поверхности металла тонкой окисной пленки, которая быстро восстанавливается за счет окислений обнажаемой поверхности металла. Наиболее широкое применение из материалов этой группы получила паста ГОИ.

Ржавчину, старую краску, масла, жировые отложения можно удалять при помощи пламени. Для этой цели применяются кислородно-ацетиленовые или керосиново-кислородные горелки и обычные паяльные лампы. При такой обработке ржавчина разрыхляется и легко удаляется проволочной щеткой или наждачной шкуркой, пленки красок легко растрескиваются и отслаиваются, после чего удаляются скребками или металлическими щетками. В основном этот способ применяется для очистки корпусных конструкций от старой краски и ржавчины.

Химическая очистка стальных изделий от ржавчины производится путем их травления в разбавленных кислотах, содержащих ингибиторы. Под действием кислоты слой ржавчины отделяется от металла, в результате чего с деталей, вынутых из травильной ванны, ржавчина легко смывается водой. Ингибитор замедляет реакцию растворения металла в кислоте, не влияя на скорость растворения ржавчины. При

очистке металла от ржавчины в ингибированной кислоте линейные размеры металлических изделий после травления не изменяются. При химической очистке от ржавчины применяются следующие ингибиторы: в серной кислоте — тиомочевина, тиодигликоль, регулятор травления (состав Р); в соляной кислоте — уротропин, регулятор травления (состав Р), ингибитор ПБ-5. Травление проводится в эмалированных, деревянных или стальных сварных ваннах. Поверхность стальных ванн должна быть защищена кислотостойким покрытием (резина, фаолит и др.). Температура травильного раствора и погружаемых в него изделий должна быть в пределах 10–30 °С. Продолжительность травления определяется опытным путем в зависимости от состава травильного раствора, степени поражения ржавчиной поверхности изделий и свойств металла. Время, требуемое для травления, составляет от 20 мин до 20 ч. Ингибированную травильную кислоту используют примерно для 20 операций травления (закладок изделий) при средней его продолжительности.

Химический способ очистки поверхностей при помощи паст применяется, когда продукты коррозии необходимо снять с вертикальных поверхностей крупногабаритного оборудования, обрабатывать которые растворами кислот, содержащих ингибиторы, затруднительно. Процесс обработки поверхностей при помощи паст включает в себя следующие операции:

- нанесение кислотной пасты на обрабатываемую поверхность;
- удаление пасты и промывку поверхности водой;
- нанесение на обрабатываемую поверхность пассивирующей пасты и промывку поверхности водой;
- удаление пасты, промывку водой и сушку обрабатываемой поверхности.

Химическая очистка деталей из медных сплавов:

- а) серная кислота — 10 %, вода — 90 %;
- б) бисульфит натрия — 100 г, вода — 1 л;
- в) серная кислота — 30 см<sup>3</sup>, хромовый ангидрид — 90 г, хлористый натрий — 1 г, вода — 1 л.

*Обезжириванием* называется процесс удаления жиров и масел с поверхности деталей. Удаление с поверхности деталей жировых и масляных загрязнений производится при помощи веществ, которые растворяют жиры и масла или эмульгируют их.



При удалении жиров как органического, так и минерального происхождения можно применять органические растворители: бензин, скипидар, керосин, дихлорэтан, трихлорэтан, четыреххлористый углерод.

## **1.2. Подготовка масел и смазок**

Как правило, масла и смазки выпускаются промышленностью в полностью готовом к использованию виде. Однако для консервации корабельного оборудования требуется их специальная подготовка.

Большая часть применяемых при консервации смазок используется в расплавленном (подогретом) до жидкой консистенции состоянии. Масла применяются также в подогретом состоянии. Необходимость подогревания масел и смазок определяется тем, что при нанесении смазок в расплавленном состоянии образуемый ими слой обладает более высокими защитными свойствами. Кроме того, подогретая смазка лучше проникает во все узлы механизмов при консервации их без разборки. Подогревание масел и смазок необходимо также для удаления воды, которая может попасть в них в период хранения на складе, при транспортировке, разливке и т. д.

Значительное влияние на свойства смазок и масел оказывает способ их подогревания. Подогревание смазок и масел на открытом огне в баках при непосредственном соприкосновении с нагревательными элементами вызывает интенсивное окисление слоев, прилегающих к стенкам и элементам. Помимо окисления масла и смазки начинают гореть и образуют продукты, активно взаимодействующие с металлами, расслаиваются, теряют свою стабильность и становятся не только непригодными для защиты деталей от коррозии, но и сами могут вызывать ее. Нагревание масел и смазок острым паром влечет за собой насыщение их влагой, приводит к образованию эмульсии; масла и смазки при этом практически не могут защищать детали от коррозии.

Любое подогревание смазок, особенно длительное, вызывает ускорение процесса их окисления кислородом воздуха, поэтому подогреть смазки следует лишь до температуры, обеспечивающей возможность нанесения защитного слоя необходимой толщины или получение необходимой вязкости для прокачки внутренних узлов механизмов.

При получении смазки на основании паспорта, а также контрольного нагревания небольшого количества смазки до температуры 100–120 °С необходимо определить, имеется ли в ней вода; при отсутствии воды партия смазки может подогреваться до температуры нанесения (пушечная смазка, технический вазелин до температуры 75–85° С).

Нецелесообразно подогревать масла и смазки в количестве, превышающем требуемое, так как вторичное подогревание смазки приводит к понижению ее стабильности, излишним затратам электроэнергии, пара и т. д. Подготовка недостаточного количества смазки может привести к необходимости переконсервации оборудования, особенно крупногабаритного.

### **1.3. Технология применения масел и смазок**

Надежность и длительность защиты металлических деталей от коррозии под слоем смазки или масел зависит не только от свойств смазки, но и от толщины нанесенного слоя, способа нанесения, масел или смазок. При прочих равных условиях чем толще слой смазки, тем дольше она сможет защищать металл от коррозии, если только смазка не сползет с поверхности всем слоем. Оптимальная толщина слоя зависит от качества смазки, механизма ее защитного действия и условий хранения оборудования. При применении доброкачественных защитных смазок в обычных условиях слой в 0,5–1 мм вполне может обеспечить защиту металла от коррозии в течение длительного времени.

Толщина слоя смазки не является определяющим фактором эффективной защиты оборудования. Независимо от толщины слоя смазка эффективно защищает смазанные поверхности от коррозии только в том случае, если нанесенный слой сплошной, без разрывов и по возможности имеет равномерную толщину. Равномерность толщины слоя, как и появление разрывов, зависит не только от свойств самой смазки, но и от метода ее нанесения.

При проведении консервации смазки обычно наносятся с помощью лопаточки, ветоши или окунанием деталей в расплавленную смазку. Для нанесения смазки в расплавленном состоянии также применяются кисти, шприцы, пульверизаторы. Значительное влияние на прилипаемость смазки к металлу и ее непроницаемость для

водяных паров, а тем самым на защитную способность оказывают пузырьки воздуха, находящиеся в слое смазки. Пузырьков воздуха в смазке нет только в том случае, если она наносится в расплавленном состоянии путем окунания деталей в смазку. Поэтому метод окунания надо считать предпочтительным, если позволяют размеры, форма и конструкция детали. Особенно сильно слой смазки насыщается пузырьками воздуха при ее нанесении с помощью пульверизатора, а также при намазывании в нерасплавленном состоянии.

Метод нанесения смазки оказывает большое влияние и на толщину защитного слоя. Толщина слоя, остающегося на деталях после их окунания в расплавленную смазку, зависит от ее вязкости, которая, в свою очередь, зависит от температуры смазки. При необходимости нанесения сравнительно толстого слоя окунание производится слоем, достаточным для предохранения деталей от коррозии и в то же время устойчивым при повышении температуры окружающей среды до 40 °С. Повышение температуры смазки до 80–90 °С приводит к значительному снижению толщины слоя.

Снижение температуры смазки в момент ее нанесения до 55–65 °С приводит к росту толщины слоя, смазка начинает сползать всем слоем — «шубкой».

В случае динамического осушения воздуха в помещениях корабля, а также при использовании защитной атмосферы смазки практически не применяются. В этих условиях достаточно применять масла, по своим свойствам схожие с рабочими маслами, но обладающие большей прилипаемостью к металлам, или использовать рабочие масла, загущая их небольшим количеством пушечной смазки, церезином, парафином и т. д. (в последнее время для консервации корабельного оборудования используются ингибированные масла и смазки).

Наилучшей технологией применения масел и смазок при консервации оборудования следует считать ту, которая при надежной защите деталей от коррозии обеспечивает возможность проведения консервации и расконсервации оборудования в полностью собранном и отрегулированном состоянии. Эти требования должны быть определяющими при выборе технологии применения масел и смазок.

## 2. СТАТИЧЕСКОЕ ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА

### 2.1. Влияние относительной влажности на коррозию

Теоретически, если поверхность металла абсолютно ровная и чистая, конденсация паров воды на ней и, как следствие, коррозия наступают лишь при величине относительной влажности окружающего воздуха 100 %. При последующем снижении относительной влажности воздуха и частичном испарении капли конденсата на поверхности металла концентрация солей и кислот в капле может значительно возрасти, при этом скорость коррозии также возрастет. Коррозия в этом случае прекратится после полного испарения конденсата с поверхности металла.

Практически же вследствие наличия на поверхности металла различных капиллярных трещин, пор, а также гигроскопичной пыли, солей, продуктов коррозии вода может находиться на поверхности металла в жидкой фазе и при относительной влажности воздуха меньше 100 %.

Необходимо также учитывать, что относительная влажность замкнутого объема воздуха находится в прямой зависимости от его температуры. Чем ниже температура воздуха в герметизированном корабельном помещении, тем выше относительная влажность воздуха при той же его абсолютной влажности.

Если температура поверхностей деталей механизма или корпуса ниже температуры окружающего воздуха, то в непосредственной близости от таких поверхностей относительная влажность воздуха будет отличаться от относительной влажности воздуха в других точках отсека и может достигнуть 100 %, что приведет к выпадению росы на холодную поверхность.

Скорость коррозии убывает с уменьшением относительной влажности воздуха неравномерно. Быстрое падение скорости коррозии происходит при уменьшении относительной влажности воздуха примерно до 60 %, но и при влажностях немногим ниже 60 % скорость коррозии остается достаточно большой.

Снижение скорости коррозии до величины, которую практически можно не принимать во внимание, происходит только при относительной влажности воздуха 30–40 %. Это объясняется следующим. В морской атмосфере всегда присутствуют различные соли

(содержание морских солей в воздухе на берегу моря может достигать 0,85 мг/мл), поэтому в условиях корабля некоторое количество морских солей всегда будет находиться и на поверхностях механизмов, корпуса и различного оборудования. Морские и другие соли гигроскопичны и при достаточно большой относительной влажности окружающего воздуха будут образовывать электролит. Влагопоглощающая способность морских солей уменьшается с уменьшением относительной влажности окружающей атмосферы.

Обводняемость морских и других солей при относительной влажности воздуха менее 30–40 % практически ничтожна, и, естественно, при такой влажности они уже не будут образовывать электролит. Таким образом, чтобы избежать опасной коррозии, необходимо поддерживать относительную влажность воздуха не более 30–40 %. Обычно с учетом перекрытия возможных ошибок при определении влажности за оптимальные границы принимают относительную влажность 25–35 %.

Сказанное выше подтверждает опыт. Так, при изучении зависимости коррозии от относительной влажности прямыми наблюдениями было установлено, что при относительной влажности окружающего воздуха 50 % коррозия стали протекает в 10 раз медленнее, чем при влажности 80 %, а при относительной влажности 30–40 % коррозия практически прекращается.

## 2.2. Способы осушения воздуха

Воздух может осушаться различными способами: конденсационным, химическим и с помощью сорбентов-поглотителей.

**Конденсационный способ** заключается в охлаждении воздуха при помощи холодильной установки до температуры ниже точки росы, в результате чего часть влаги воздуха выпадает в виде росы или инея на холодильных элементах, тем самым снижая абсолютную влажность воздуха.

Данный способ осушения воздуха при консервации кораблей в настоящее время применения не находит из-за сложности холодильных установок и невозможности получить низкие значения относительной влажности при отрицательных температурах в отсеках.

**Химический способ** осушения заключается в следующем: воздух пропускается через вещества, вступающие в химическую реакцию с влагой, содержащейся в нем, и таким образом забирающие

ее. В качестве химических поглотителей могут быть использованы CaCl, NaOH, KOH и другие вещества.

Широкому применению химических влагопоглотителей препятствуют их недостатки:

- невысокая в большинстве случаев степень осушки;
- «оплывание» осушителя и возрастание его сопротивления потоку воздуха по мере обводнения;
- большой расход осушителя вследствие невозможности повторного использования (из-за сложности регенерации);
- необходимость частой замены осушителя.

Этих недостатков лишены сорбенты-поглотители.

Осушение воздуха с помощью сорбентов-поглотителей является наиболее простым и экономичным способом, который в последние годы получил широкое применение. На флоте осушение воздуха с помощью сорбентов-поглотителей применяется в двух формах – статической и динамической.

В первом случае (статическое осушение) сорбент-поглотитель размещается в загерметизированном осушаемом объеме и поглощает влагу из воздуха, находящегося в нем в *неподвижном* состоянии.

Во втором случае (динамическое осушение) воздух с помощью специальной установки забирается из загерметизированного объема, пропускается через слой сорбента-поглотителя, осушается в нем и вновь подается в загерметизированный объем.

Эффективность применения статического и динамического способов осушения воздуха зависит от ряда причин, находящихся в тесной взаимосвязи:

- от качества герметизации осушаемых объемов;
- степени удаления конденсированной и остаточной влаги из осушаемых объемов;
- качества подготовки сорбента-поглотителя к закладке в осушаемые объемы;
- правильности размещения сорбента-поглотителя в осушаемом объеме при статическом способе и правильности распределения воздуха в осушаемых отсеках при динамическом способе осушения;
- надежности и регулярности контроля за влажностью воздуха в осушаемых объемах;
- своевременности регенерации обводненного сорбента-поглотителя.

### 2.3. Силикагель

Основные требования, предъявляемые к твердым сорбентам-поглотителям, применяемым при консервации кораблей, следующие:

а) большая поглощающая способность по отношению к парам воды и большая скорость сорбции как в статических, так и в динамических условиях;

б) высокая механическая прочность: сохранение механической прочности и отсутствие деформаций при поглощении паров воды;

в) инертность по отношению к металлам и другим материалам, применяемым в кораблестроении;

г) возможность легкой и простой многократной регенерации с сохранением первоначальных свойств.

Наиболее полно этим требованиям отвечают сорбенты-поглотители: силикагель, алюмогель, феррогель, активный кремнезем, активированный боксит и др.

Сорбенты-поглотители не изменяют своих механических свойств при насыщении влагой и легко могут быть регенерированы подогреванием. Срок службы сорбентов-поглотителей практически неограничен и определяется только механической прочностью зерен. При многократной регенерации сорбента его влагопоглощающие свойства практически не изменяются. Известны случаи, когда сорбенты-поглотители непрерывно работали до 10 лет и более.

В настоящее время в технике наибольшее распространение в качестве сорбента-поглотителя получил силикагель, представляющий собой твердые стекловидные зерна с пористым строением и отличающийся большой поверхностью и равномерным распределением пор. Удельная поверхность силикагеля достигает 300–400 м<sup>2</sup>/г.

В зависимости от формы зерен силикагель разделяют на кусковой и гранулированный. Гранулированный силикагель имеет зерна округлой формы более или менее одинакового размера. Для прочности в гранулированный силикагель в виде добавки вводится от 4 до 10 % окиси алюминия.

Промышленность выпускает несколько марок силикагеля.

А. К у с к о в о й с и л и к а г е л ь

а) силикагель мелкопористый:

КСМ — крупный силикагель мелкопористый,

ШСМ — шихта-силикагель мелкопористый,

МСМ — мелкий силикагель мелкопористый,  
АСМ — активизированный силикагель мелкопористый;

б) силикагель крупнопористый:

КСК — крупный силикагель крупнопористый,

ШСК — шихта-силикагель крупнопористый,

МСК — мелкий силикагель крупнопористый,

АСК — активизированный силикагель крупнопористый.

Б. Гранулированный силикагель

а) силикагель мелкопористый:

КСМ — крупный силикагель мелкопористый с упрочняющей добавкой глинозема,

ШСМ — шихта-силикагель мелкопористый с упрочняющей добавкой глинозема;

б) силикагель крупнопористый:

КСК — крупный силикагель крупнопористый,

ШСК — шихта-силикагель крупнопористый.

После марки всегда указывают, какой применяется силикагель: кусковой или гранулированный.

Рассмотрим некоторые свойства силикагеля. Его осушающая способность характеризуется так называемой изотермой сорбции, представляющей собой кривую зависимости максимальной обводненности силикагеля от относительной влажности осушаемого воздуха при постоянной температуре (рис. 2.1, 2.2).

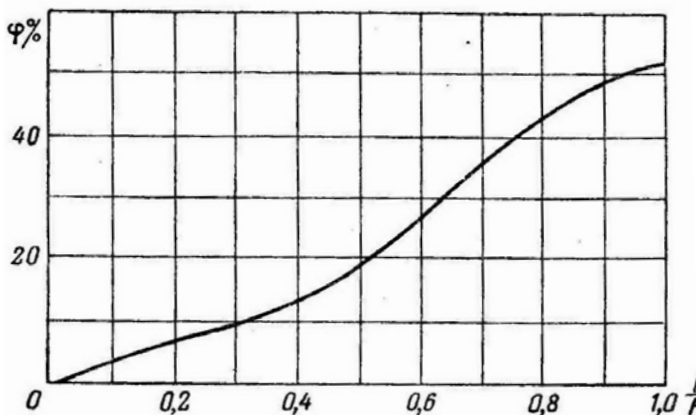


Рис. 2.1. Изотерма сорбции для крупнопористого силикагеля



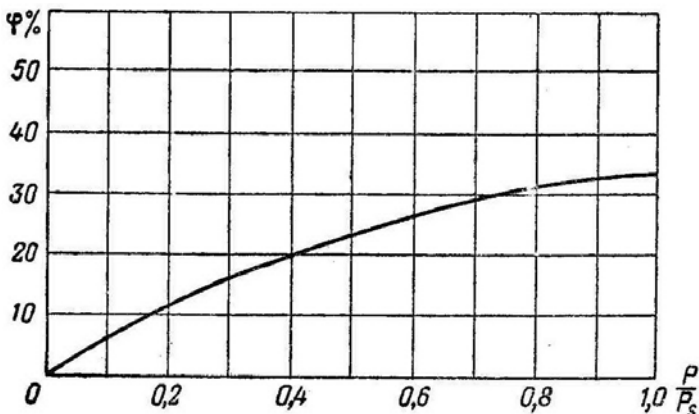


Рис. 2.2. Изотерма сорбции для мелкопористого силикагеля

На приведенных графиках по оси абсцисс отложены значения относительной влажности воздуха в процентах, по оси ординат — максимальная обводненность силикагеля в процентах от первоначального веса сухого силикагеля.

Как видно из рис. 2.1, 2.2, при высокой относительной влажности воздуха большей влагоемкостью обладает крупнопористый силикагель, при относительной же влажности ниже 60 % большую влагоемкость имеет мелкопористый силикагель.

При хранении законсервированной материальной части в условиях статического или динамического осушения воздуха его относительная влажность должна быть ниже 60 %, поэтому крупнопористый силикагель для консервации кораблей не применяется.

Характеристики осушающей способности силикагеля по изотерме сорбции недостаточно, существенное значение имеет скорость поглощения паров воды.

В статических условиях (в атмосфере неподвижного воздуха) сорбционное равновесие, т. е. полное насыщение силикагеля, при относительной влажности воздуха 100 % наступает в срок до 20 суток, причем за первые трое суток силикагель поглощает до 50 % влаги от полной сорбционной емкости.

В динамических же условиях (в условиях пропускания потока осушаемого воздуха через слой силикагеля) время наступления сорбционного равновесия исчисляется всего несколькими часами.

Наибольшую скорость сорбции в динамических условиях силикагель имеет в первые 15 мин, за это время он поглощает до 50 % влаги от полной сорбционной емкости.

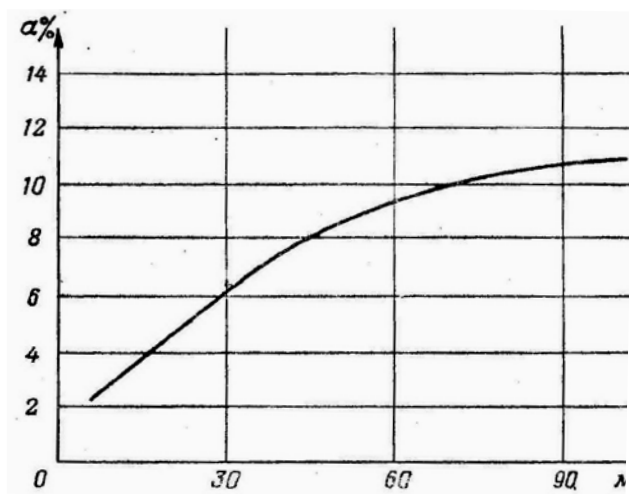


Рис. 2.3. Зависимость обводненности силикагеля от времени в динамических условиях

Процесс сорбции паров воды силикагелем сопровождается выделением тепла, так как при конденсации паров воды освобождается скрытая теплота парообразования.

Сопротивление слоя силикагеля току воздуха зависит от величины и формы зерен, высоты слоя и скорости движения воздуха через слой силикагеля.

Восстановление (регенерация) обводненного силикагеля происходит при подогреве его до температуры от 100 до 650 °С.

Наиболее эффективный способ восстановления силикагеля – это продувка его горячим воздухом при температуре 140–150 °С.

#### 2.4. Герметизация осушаемых объемов

Герметизация осушаемых объемов является одним из важнейших условий статического и динамического способов осушения воздуха. От качества герметизации сильно зависит влажность воздуха, срок

эффективного действия силикагеля при статическом осушении, время достижения и срок сохранения низкой влажности воздуха при динамическом осушении.

Герметизации подлежат отсеки, группы отсеков, весь корпус корабля по внешнему контуру (общая герметизация), отдельные механизмы, приборы, системы, устройства (индивидуальная герметизация).

Общая герметизация применяется при динамическом осушении всех типов кораблей с металлическими корпусами и при статическом осушении малых надводных кораблей, катеров с металлическими корпусами.

Индивидуальная герметизация применяется в сочетании со статическим осушением при консервации механизмов кораблей и катеров с деревянными корпусами, некоторых палубных механизмов, различного оборудования, расположенного в трудногерметизируемых помещениях, оборудования, хранящегося на складах, и др.

### ***Особенности общей и индивидуальной герметизации***

Общая герметизация корпуса разделяется на герметизацию подводной и надводной частей.

Герметизацию *надводной* части корпуса корабля рекомендуется производить после окончания доковых работ и ухода личного состава с корабля, так как полностью герметизировать корпус можно только после вывода из эксплуатации всей материальной части.

Прежде чем приступить к герметизации корпуса корабля, его необходимо разделить на отдельные объемы (отсеки), изолированные друг от друга водонепроницаемыми переборками, изучить особенности герметизации каждого такого объема в отдельности (максимально используя существующее разделение корабля на самостоятельные отсеки и помещения), определить возможность выделения надстроек в самостоятельные объемы или включение их, а другие объемы корабля, назначить двери, люки и горловины, подлежащие периодическому вскрытию при осмотрах материальной части, и, наконец, определить порядок герметизации и испытания на герметичность каждого такого объема в отдельности.

Особое внимание нужно обращать на тщательность герметизации отверстий, выходящих на внешний контур, при выборе способа герметизации.

Большие отверстия: дымовые трубы главных котлов, вентиляционные шахты машинно-котельных отделений, амбразуры артиллерийских башен герметизируются при помощи стальных листов (заглушек), устанавливаемых на шпильках или завариваемых электросваркой. Заглушки завариваются сплошным или прерывистым швом. Зазоры, остающиеся при установке заглушек на шпильках или при заваривании прерывистым швом, уплотняются замазками.

Для заглушек, завариваемых сплошным швом, рекомендуется применять листовую сталь толщиной не менее 3 мм во избежание прожогов как в самой заглушке, так и в завариваемой конструкции. Не следует брать сталь толщиной менее 3 мм при установке заглушек на шпильках или на электросварке прерывистым швом, так как для уплотнения остающихся зазоров замазками жесткость листовой стали может оказаться недостаточной.

Герметизация отверстий при помощи стальных заглушек на шпильках может быть выполнена двумя способами:

1) установкой заглушки без резиновой прокладки на 8–10 шпильках, привариваемых к конструкции корпуса по контуру герметизируемого отверстия; зазоры, остающиеся между заглушкой и корпусом, уплотняются замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой; при подгонке заглушки на плотность прилегания к корпусу допускается зазор до 5 мм;

2) установкой заглушки на рамку из углового железа, согнутую по контуру отверстия и привариваемую к конструкции корпуса прерывистым швом с шагом 800–900 мм; заглушка устанавливается на мягкую резиновую прокладку и крепится шпильками, предварительно сваренными в рамку с шагом семь-восемь диаметров; зазор, образующийся между корпусом и полкой угольника, уплотняется замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой.

Рекомендуется применять первый способ, как наиболее простой и экономичный. Указанным способом герметизируются, например, отверстия вентиляционных шахт машинно-котельных отделений.

Малые отверстия, а также зазоры, имеющие ширину более 5 мм, заклеиваются прорезиненной тканью 500 или МСК-01-К.

При наличии штатных задраивающих средств герметизация осуществляется этими средствами с дополнительным уплотнением контура отверстий замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой. Заклепоч-

ные швы кожухов дымовых труб уплотняются масляной шпаклевкой (70–75 % мела и 30–35 % натуральной олифы).

Вентиляционные грибки, эжекционные головки и газонепроницаемые крышки систем вентиляции корабля помимо задравкивания их штатными средствами дополнительно герметизируются стальными, резиновыми или паронитовыми (толщиной 2–3 мм) заглушками, устанавливаемыми между фланцами грибков и фланцами их патрубков.

Воздушные трубы топливных цистерн при наличии в них топлива герметизации не подлежат.

Люки и двери, выходящие на открытую палубу и предназначенные для периодического вскрытия, плотно задравкиваются, стопорятся и дополнительно герметизируются замазкой ЗЗК-3.

Для обеспечения непотопляемости корабля все водонепроницаемые люки и двери, находящиеся внутри помещений, следует держать задраванными в течение всего периода стоянки корабля в консервации.

Отверстия иллюминаторов закрываются крышками затемнения, иллюминаторы задравкиваются и дополнительно герметизируются замазкой ЗЗК-3 или тиоколовой замазкой с внешней стороны помещения.

Качество герметизации корпуса корабля проверяется заполнением отдельных его отсеков или группы отсеков сжатым воздухом давлением 200–250 мм вод. ст.

Давление воздуха внутри отсеков замеряется при помощи U-образного водяного манометра или тягомера, применяемого для котельных отделений на турбинных кораблях.

При заполнении отсеков сжатым воздухом нужно следить за тем, чтобы давление в них не превысило назначенного, т. е. 200–250 мм вод. ст. (во избежание разрушения или деформации корпусных конструкций), для чего необходимо предупреждать засорение манометровых трубок и применять контрольный манометр.

Сжатый воздух, подаваемый в отсеки, следует пропускать через масловодоотделитель с целью уменьшения количества воды и масла, вносимых в помещения корабля. Во время нахождения отсеков под давлением места утечек воздуха определяются путем промывания швов и соединений мыльным раствором, при этом давление воздуха в отсеках поддерживается постоянным.

Обычно в начальный период испытания выявляется большое количество мест пропуска воздуха по главным водонепроницаемым

переборкам и надстройкам, при этом выявляется много таких пропусков, которые трудно обнаружить без испытания отсеков. Особенно тщательно нужно устранять пропуски воздуха по внешнему контуру корабля.

Непроницаемость наружной обшивки корпуса корабля в подводной части проверяется во время докования (в районах ремонта корпуса и в местах течи, обнаруженной в период эксплуатации корабля).

Герметичность отсека или группы отсеков считается достаточной, если время падения давления воздуха от полного до нуля после прекращения его подачи будет не менее 15 мин.

Индивидуальная герметизация материальной части в зависимости от ее конструктивного оформления, расположения и условий хранения может быть осуществлена различными способами.

Так, конструкция ряда механизмов и аппаратуры, расположенных в корабельных помещениях, позволяет производить герметизацию их полостей штатными крышками лючков, горловин, заклеиванием щелей и отверстий тканью № 500, резиной или другими воздухонепроницаемыми материалами, обмазкой щелей тиоколовой замазкой или замазкой ЗЗК-3. Это наиболее простой и экономичный вид индивидуальной герметизации.

Палубное оборудование и вооружение, расположенное на открытых частях палубы и открытых мостиках, в ряде случаев защищаются (герметизируются) от воздействия наружной атмосферы путем их упаковки в специальные чехлы-контейнеры. Чехлы-контейнеры могут быть пленочные и металлические. Металлические контейнеры делают из листовой стали. Они много прочнее, герметичнее и долговечнее пленочных. Эти преимущества имеют огромное значение для корабля, длительное время находящегося в консервации под постоянным воздействием морской атмосферы, солнечных лучей, осадков и ветров, которые являются основными причинами старения и разрушения пленочных покрытий. В конечном итоге стальные контейнеры экономичнее, более выгодны, поэтому для герметизации палубного оборудования и вооружения на консервируемых кораблях рекомендуется применять стальные контейнеры. Размеры контейнера при изготовлении определяются габаритами изделия и необходимостью кругового обзора изделия непосредственно внутри контейнера. Для возможности осмотра изделия на одной из стенок контейнера сделан лаз с крышкой, заdraиваемой

при помощи латунных шпилек и гаек. Для замены силикагеля и контроля за влажностью воздуха внутри контейнеров устанавливается открывающийся иллюминатор. При наличии лаза иллюминатор целесообразно устанавливать на его крышке.

Нижняя кромка стального контейнера подгоняется по поверхности палубы с зазором не более 5 мм и приваривается к настилу палубы прерывистым швом с шагом 10/500 мм. Остающиеся зазоры уплотняются тиоколовой замазкой на клею № 88 или 61.

Для защиты замазки от механических повреждений вокруг контейнера на расстоянии 20–25 мм от его стенок приваривается стальная полоса 3 × 20 мм прерывистым швом с шагом 10/1000 мм.

Герметичность контейнеров, предназначенных для статического осушения воздуха, проверяется созданием в них воздушного давления 200–250 мм вод. ст. Места утечек определяются промыванием швов и соединений мыльным раствором, при этом давление воздуха внутри контейнеров поддерживается постоянным. Все выявленные утечки воздуха по внешнему контуру контейнеров должны быть устранены.

Проверку герметичности контейнеров с динамическим осушением воздуха целесообразно производить одновременно с испытанием на герметичность отсеков корабля, в состав которых включены объемы данных контейнеров.

Приборы и устройства, герметизация которых при помощи стальных контейнеров невозможна или затруднена, упаковываются в чехлы из пластикатных пленок или прорезиненных тканей (например, аппаратура выносного индикатора кругового обзора, коммутаторы внутрикорабельной громкоговорящей связи, прожекторы и т. д.).

В последние годы для индивидуальной герметизации механизмов, приборов и различного оборудования, особенно на складах, получают широкое применение чехлы из пластикатных пленок (полихлорвиниловой В-118, полиэтиленовой) или прорезиненных тканей. Механизм, законсервированный с помощью смазок, помещается в герметический чехол из этих материалов.

Хранение оборудования в чехлах из эластичных пленок обеспечивает его сохранность в течение двух лет без замены смазки, в то время как без чехлов требует смены консервирующей смазки через 6–12 мес.

Мелкие и средние приборы, узлы механизмов и вооружения, ко-

которые демонтируются на период консервации, могут быть помещены в чехлы, свариваемые на самом оборудовании, что обеспечивает полную герметизацию. Такие чехлы называются закрытыми.

Крупногабаритное и тяжеловесное оборудование упаковывается в открытые снизу чехлы, края которых уплотняют на основании упаковки резиновыми прокладками. Между основанием оборудования и основанием ящика укладывается сплошной металлический лист толщиной 3–4 мм.

## **2.5. Подготовка и процесс статического осушения воздуха**

Процесс обезвреживания герметизируемого объема можно разбить на два этапа.

**Первый этап** охватывает период подготовки объемов, подлежащих осушке и герметизации, и включает в себя удаление воды путем откачки ее из трюмов и протирки их ветошью, откачки и сливания воды из трубопроводов и полостей различных механизмов и продувания их сухим сжатым воздухом.

Предварительное осушение герметизируемого объема имеет особое значение. Силикагель обладает ограниченной влагоемкостью, и, чтобы добиться низкой относительной влажности воздуха и в дальнейшем поддерживать ее в заданных пределах, необходимо полное удаление воды, находящейся в жидкой фазе. Чем выше степень предварительной осушки, тем больше срок эффективного действия силикагеля.

**Второй этап** охватывает период хранения корабля или механизма в консервации и заключается в поглощении силикагелем влаги воздуха и влаги, сорбированной различными неметаллическими материалами (изоляцией, деревом и др.).

При идеальной герметизации осушаемого объема и отсутствии в нем воды в жидкой фазе по мере увеличения обводненности силикагеля относительная влажность воздуха будет падать, так как количество влаги в данном объеме (включая и влагу, отобранную силикагелем) должно оставаться постоянным, и в некоторый момент наступит равновесное состояние системы силикагель–воздух. В случае попадания некоторого количества влаги в осушаемый объем извне, равновесное состояние нарушается, силикагель поглотит дополнительное количество влаги и снова наступит равновесное со-



стояние, но большей обводненности силикагеля уже будет соответствовать и большая относительная влажность воздуха. Так как идеальной герметизации достигнуть не удастся, практически процесс роста обводненности силикагеля и связанного с этим роста относительной влажности воздуха будет происходить непрерывно. В этих условиях сроки смены силикагеля будут определяться качеством герметизации осушаемого объема и количеством помещенного в нем силикагеля. Опытом установлено, что количество силикагеля, помещаемого внутрь осушаемого объема, должно быть не менее 1 кг на 1 м<sup>3</sup> воздуха.

В начале статического осушения воздуха из-за десорбции влаги из неметаллических материалов скорость обводнения силикагеля будет повышенной. Для сокращения времени десорбции и скорейшего достижения низкой относительной влажности воздуха целесообразно первые один-два месяца производить регенерацию силикагеля при обводненности его на 12–15 %, так как с увеличением его обводненности и уменьшением относительной влажности воздуха значительно уменьшается скорость поглощения влаги. В дальнейшем регенерация силикагеля производится при его обводненности на 18–20 %. Следует иметь в виду, что в случае статического осушения воздуха силикагель подлежит немедленной регенерации независимо от степени обводненности при увеличении относительной влажности воздуха в осушаемом объеме до установленных пределов.

Рассмотрим технологию использования силикагеля и контроль за параметрами воздуха в осушаемых объемах.

Перед расфасовкой и загрузкой силикагель проверяется на обводненность. Проверка на обводненность производится путем отбора навески (100–200 г) от каждой партии силикагеля и просушки ее в сушильном шкафу при температуре 150–200 °С в течение 3 ч. Если после этот вес навески уменьшился не более чем на 1,5–2 %, то силикагель, находившийся в данной таре, считается сухим. В противном случае производится регенерация (просушка) всего используемого силикагеля. Сухой силикагель хранится в герметичной таре. Для расфасовки силикагеля используются мешочки из какой-либо ткани, достаточно прочной и хорошо проницаемой для воздуха. Обычно для мешочков используют бязь, которая для лучшей воздухопроницаемости должна быть простирана в горячей воде. Для предотвращения пыления мешочки внутри выкладываются ми-

калентной бумагой.

Размеры мешочков зависят от величины и характера герметизируемого объема, вес силикагеля в них обычно не превышает 250–300 г, форма их может быть самой различной и зависит от условий размещения. При размещении мешочков необходимо следить, чтобы они не соприкасались с маслом, так как в случае попадания масла на силикагель последний теряет свои влагопоглощающие свойства. Следует также предусмотреть возможность быстрого и полного удаления всех мешочков при расконсервации механизма, для чего в журнале консервации указываются количество и места их размещения.

Контроль за состоянием механизма, законсервированного таким способом, сводится к наблюдению за величиной относительной влажности воздуха и обводненностью силикагеля, размещенного в герметизированной полости механизма. В ряде случаев, когда вместо штатной крышки лючка, горловины можно установить крышку из прозрачного материала (например, из органического или иллиуминаторного стекла), наблюдение за относительной влажностью воздуха производится с помощью круглого гигрометра МВК, помещаемого в герметизируемой полости.

Если разместить гигрометр внутри осушаемого объема нельзя, то относительную влажность контролируют косвенными способами – по обводненности силикагеля. Для этой цели один из мешочков с силикагелем, так называемый контрольный, перед помещением в герметизируемую полость тщательно взвешивают, затем во время планово-предупредительных осмотров определяют процент обводненности силикагеля, т. е. процент увеличения веса мешочка по сравнению с первоначальным его весом. Если контрольный мешочек увеличит свой вес на 20 % и больше, весь силикагель необходимо заменить, так как при этом его влагопоглощающая способность становится весьма малой.

Другим способом контроля за влажностью воздуха в полости механизма и за обводненностью силикагеля является применение силикагеля-индикатора, представляющего собой силикагель, пропитанный хлористым кобальтом. Применение силикагеля-индикатора основано на свойстве хлористого кобальта изменять свою окраску в зависимости от обводненности, которая, в свою очередь, зависит от относительной влажности окружающего воздуха. С увеличением относительной влажности воздуха силикагель-индикатор изменяет

свой цвет от синего до розового. Для удобства использования силикагель-индикатор помещают в специальные проницаемые для воздуха патроны, изготовленные из прозрачного материала (например, из органического стекла), на которые наклеивается шкала цветности, показывающая зависимость цвета силикагеля от относительной влажности окружающего воздуха. Патроны с силикагелем-индикатором размещаются так, чтобы было обеспечено визуальное наблюдение за ними. При пользовании силикагелем-индикатором необходимо учитывать его большую инерционность, т. е. запаздывание в изменении цвета при изменении относительной влажности воздуха, достигающую нескольких суток.

В качестве дополнительного контроля за состоянием внутренних деталей механизма там, где это возможно по условиям размещения, могут использоваться так называемые свидетели. «Свидетели» представляют собой различные мелкие детали или образцы произвольной формы и размера, сделанные из металлов, используемых в данном механизме. Поверхность «свидетелей» подвергается грубой обработке (резцом или на наждачном круге) с тем, чтобы в случае возникновения коррозии последняя проявилась там в первую очередь на «свидетелях». Часть «свидетелей» обычно покрывается той смазкой, которой законсервирован механизм, а часть оставляется без всякой смазки. «Свидетели» размещаются так, чтобы была обеспечена возможность визуального наблюдения за ними.

Герметизация отсеков корабля или внутренних полостей механизмов со статическим осушением воздуха в них увеличивает надежность сохранности механизма, однако этот способ консервации имеет и существенные недостатки:

- трудность осуществления контроля за величиной относительной влажности воздуха внутри герметизированного объема и за состоянием внутренних деталей механизма;

- большие колебания относительной влажности воздуха внутри герметизированного объема при изменениях температуры, происходящие из-за малой скорости сорбции силикагеля в статических условиях;

- невозможность надежной защиты от коррозии наружных поверхностей и различных навесных агрегатов механизма;

- значительный объем работ при консервации и необходимость периодически заменять силикагель.

Таким образом, данный способ консервации имеет ограниченное применение и должен использоваться там, где почему-либо нельзя применить динамическое осушение воздуха всего корабля или части его отсеков.

### 3. ДИНАМИЧЕСКОЕ ОСУШЕНИЕ ВОЗДУХА

#### 3.1. Воздухоосушительные установки

При динамическом способе осушаемый воздух принудительно пропускается через слой силикагеля в так называемой установке динамического осушения воздуха. С помощью такой установки легко удастся поддерживать относительную влажность воздуха в осушаемых корабельных помещениях в пределах 25–40 %, т. е. в таких пределах, когда коррозия металлов практически прекращается.

Принципиальная схема установки динамического осушения воздуха представлена на рис. 3.1. Воздух из осушаемого объема 1 забирается вентилятором 2 и через воздухопереключатель 3 направляется в адсорбер 5. В адсорбере воздух, проходя через слой силикагеля, осушается, и таким образом осуществляется постоянная циркуляции воздуха из осушаемого объема через адсорбер снова в осушаемый объем.

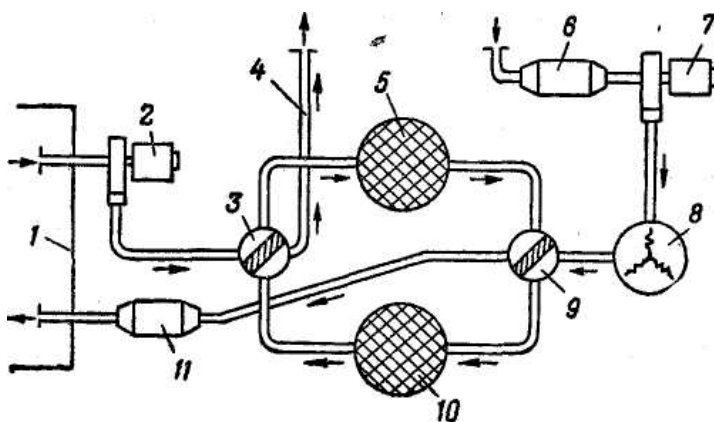


Рис. 3.1. Принципиальная схема воздухоосушительной установки

Одновременно с работой одного адсорбера на осушку воздуха (в данном случае адсорбера 5) может производиться регенерация (сушка) силикагеля в другом адсорбере.

В рассматриваемой схеме регенерация силикагеля в адсорбере 10 происходит следующим образом. Вентилятор 7 через фильтр 6 забирает наружный воздух и направляет его в электрический воздухоподогреватель 8. Подогретый до температуры 140–170 °С воздух через воздухопереключатель 9 направляется в адсорбер 10, где он подогревает силикагель и отбирает от него влагу. Подогретый воздух от воздухоподогревателя 8 движется по патрубку через фильтр 11 в осушаемый объем. Увлажненный воздух из адсорбера 10 через воздухопереключатель 3 и патрубок 4 отводится в атмосферу. После увлажнения силикагеля в адсорбере 5 воздухопереключатели 3 и 9 поворачиваются на 90° и воздух из осушаемого объема направляется в адсорбер 10.

Переключение адсорберов производится через определенное время по расписанию, которое составляется исходя из влагосодержания воздуха в осушаемых помещениях.

Все узлы и детали установки динамического осушения воздуха весьма просты по конструкции и легко могут быть изготовлены в условиях судоремонтных предприятий.

Адсорберы являются основным узлом установки, их устройство схематично показано на рис. 3.2. В стальном цилиндрическом корпусе 1 сварной конструкции размещается цилиндрическая кассета 2, заполненная силикагелем. Стенки кассеты изготовлены из стальной сетки с ячейкой размером 2 × 2 мм.

Верхняя часть кассеты крепится к фланцу 6, нижняя часть представляет собой сплошное доньшко 8. Фланец 6 имеет патрубки 4 и 7 для прохода воздуха и заглушки 5 для загрузки силикагеля в кассету.

Пройдя через слой силикагеля, сухой воздух поступает во внутреннюю цилиндрическую полость кассеты и далее

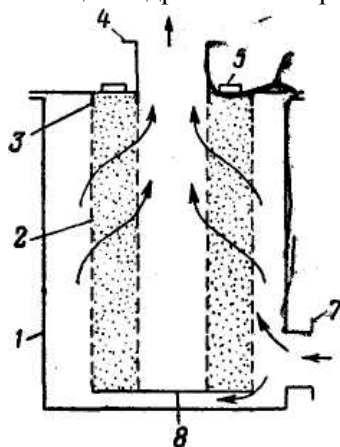


Рис. 3.2. Принципиальная схема адсорбера

в магистраль, крепящуюся к фланцу в верхней части адсорбера. Во время регенерации силикагеля направление движения воздуха обратное – от воздухоподогревателя к верхнему фланцу адсорбера и далее от нижнего патрубка в атмосферу.

Для уменьшения тепловых потерь в режиме регенерации силикагеля адсорберы снаружи изолированы асбоцементом или асбестовым шнуром и обшиты парусиной.

Переключатели воздуха служат для изменения направления его потока при периодическом переключении адсорберов с режима осушки воздуха на режим регенерации силикагеля и наоборот.

Устройство воздухоподогревателя изображено на рис. 3.3. В стальном сварном корпусе с четырьмя патрубками помещается перегородка 1, которая может вращаться вокруг оси.

Смена направления движения потока воздуха достигается поворотом перегородки 1 на  $90^\circ$ . После установки на место переключатели изолируются асбестовыми матрацами.

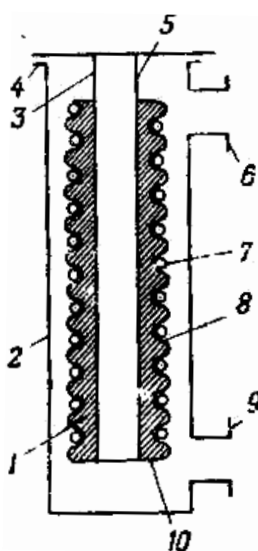


Рис. 3.3. Воздухоподогреватель

Воздухоподогреватель (рис. 3.3) служит для подогревания воздуха в режиме регенерации силикагеля. Воздухоподогреватель состоит из корпуса 2 с патрубками 6 и 9 и фланцем 4 и нагревательного элемента 5, помещенного внутри корпуса. Корпус 2 – стальной, цилиндрической формы, сварной конструкции. Нагревательный элемент представляет собой стальную трубу 3 с глухим фланцем 10 в нижней части. На фланце 10 уложены шамотные изоляторы с трехзаходной винтовой канавкой 8, в которую уложены три нихромовые спирали 7. Нихромовые спирали 7 в зависимости от их длины и напряжения по току могут подключаться в сеть трехфазного переменного тока треугольником или звездой. Подогреватель рассчитывается только на работу в условиях охлаждения спиралей воздухом, поэтому его нельзя включать без пуска вентилятора регенерации и открытия заслонок на трубопроводе регенерации.

Для увеличения КПД корпус подогревателя снаружи, а также трубопровод воздуха от него до адсорберов покрываются тепловой

Для увеличения КПД корпус подогревателя снаружи, а также трубопровод воздуха от него до адсорберов покрываются тепловой

изоляции.

Воздушные фильтры служат для предотвращения засорения силикагеля частицами пыли, содержащейся в наружном воздухе, в режиме регенерации, а также для предотвращения попадания частиц силикагеля из адсорберов в осушаемый объем.

Установка имеет два одинаковых фильтра, один из которых устанавливается на трубопроводе регенерации до воздухоподогревателя, другой – на трубопроводе сухого воздуха от установки в осушаемый объем.

*Электровентиляторы* служат для создания принудительной циркуляции воздуха из осушаемого объема через осушительную установку и снова в осушаемый объем, а также для продувки горячим воздухом силикагеля в адсорберах в режиме регенерации. В используемых в настоящее время при консервации кораблей установках динамического осушения воздуха применяются два типа электровентиляторов: один производительностью 800 м<sup>3</sup>/ч при напоре 450 мм вод. ст. – в магистрали осушки воздуха, другой производительностью 250 м<sup>3</sup>/ч при напоре 450 мм вод. ст. – в магистрали регенерации силикагеля.

В зависимости от требуемого напора воздуха на выходе из установки могут применяться один или два последовательно работающих электровентилятора первого типа.

Параметры осушительных установок должны удовлетворять основному требованию – обеспечить поддержание относительной влажности воздуха в осушаемых корабельных помещениях в пределах 25–40 %. Ясно, что это требование будет удовлетворено только в случае правильного расчета и подбора элементов осушительной установки.

Ниже приводится порядок расчета и подбора элементов установки динамического осушения воздуха.

Производительность установки выбирается исходя из величины осушаемого объема, приходящегося на одну установку, по эмпирической формуле

$$Q = \frac{V}{k},$$

где  $Q$  – производительность осушительной установки, м<sup>3</sup>/ч;  
 $V$  – осушаемый объем, м<sup>3</sup>;

$k = 2,5-3$  – коэффициент, полученный опытным путем.

Коэффициент  $k$  характеризует собой время, в течение которого происходит один обмен воздуха в осушаемом объеме. Величина коэффициента  $k$  выбирается в зависимости от качества герметизации осушаемого объема. Так, для подводных лодок, где качество герметизации весьма высокое, принимают  $k = 3$ , для надводных кораблей, качество герметизации которых гораздо ниже, принимают  $k = 2,5$ .

Напор, который должна дать осушительная установка, зависит от величины гидравлического сопротивления внешней сети, по которой производится распределение сухого воздуха по корабельным помещениям, и должен быть достаточным для того, чтобы обеспечить подачу необходимого количества сухого воздуха в осушаемые помещения.

Потеря напора в системе распределения сухого воздуха для каждого типа корабля может быть найдена по ее характеристике (если таковая имеется) или опытным путем в результате продувки системы и определения зависимости расхода воздуха от напора.

Вес сухого силикагеля в одном адсорбере определяется по формуле

$$G = \frac{\rho \cdot Q(d_2 - d_1)t}{(\alpha - \alpha_0)10}, \text{ кг}, \quad (3.1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – производительность установки, м<sup>3</sup>/ч;

$d_2$  – влагосодержание воздуха в осушаемом объеме при относительной влажности 35 %, г/кг;

$d_1$  – влагосодержание воздуха в осушаемом объеме при относительной влажности 25 %, г/кг;

$t$  – время эффективной работы адсорбера до регенерации, ч;

$\alpha$  – обводненность силикагеля в адсорбере в конце периода его эффективной работы, %;

$\alpha_0$  – остаточная обводненность силикагеля в адсорбере после регенерации, %.

Влагосодержание воздуха в осушаемом объеме определяется как относительной влажностью, так и его температурой. Величины  $d_1$  и  $d_2$  следует брать для средней температуры воздуха в осушаемых помещениях за наиболее жаркий месяц в данной местности.

Плотность воздуха в помещениях  $\rho$  также берется для его сред-



ней температуры за наиболее жаркий месяц.

За время эффективной работы адсорбера время регенерации силикагеля в одном адсорбере  $t$  принимается 1,5–2 ч. Это условие необходимо соблюдать для обеспечения возможности непрерывной работы установки на осушение воздуха.

Обычно принимают  $t = 1$  ч, тогда мощность  $N$  электрического воздухонагревателя определяется по эмпирической формуле

$$N = \frac{G}{(\alpha - \alpha_0)},$$

где  $G$  – вес силикагеля, кг.

По опытным данным принимается  $\alpha = 9-9,5 \%$ ,  $\alpha_0 = 5-5,5 \%$ .

Производительность  $Q$  вентилятора воздухонагревателя принимают по соотношению

$$Q = (14-16)N.$$

При выборе конструктивных элементов адсорбера основным соображением является соблюдение условий по расходу воздуха через единицу поверхности слоя силикагеля, который не должен превышать 1–1,2 л/см<sup>2</sup> мин.

Для соблюдения этих условий размеры кассеты адсорбера (рис. 3.4) выбираются следующим образом.

Зная из формулы (3.1) вес силикагеля, находим его объем:

$$V = \frac{Q}{\rho} = \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4}. \quad (3.2)$$

Поверхность цилиндра по среднему диаметру

$$S_{cp} = \pi d_{cp} h. \quad (3.3)$$

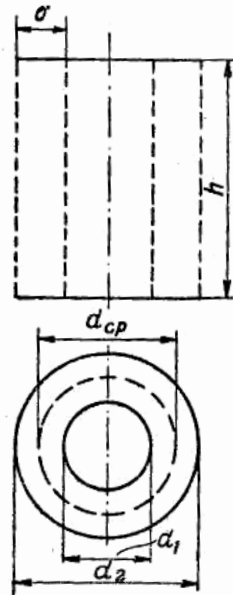


Рис. 3.4. Эскиз кассеты адсорбера

Расход воздуха  $q$  через поверхность  $S_{\text{ср}}$

$$q = \frac{Q}{S_{\text{ср}} \cdot 600}, \frac{\text{л}}{\text{мин} \cdot \text{см}^2}.$$

где  $Q$  – производительность установки.

Принимая  $q = 1-1,2 \frac{\text{л}}{\text{мин} \cdot \text{см}^2}$ , находим

$$S_{\text{ср}} = \frac{Q}{q \cdot 600} = \frac{Q}{q} 1,67 \cdot 10^{-3}, \text{ м}^3.$$

Из формулы (3.3)

$$d_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{ср}}}{\pi h}.$$

Принимаем  $h = (1-1,5) \text{ м} = h_{\text{ср}}$ .

Зная объем силикагеля  $V$ , из формулы (3.2) находим толщину слоя силикагеля

$$\delta = d_2 - d_1.$$

Подбором величин  $q$  и  $h$  добиваемся, чтобы толщина слоя силикагеля лежала в пределах  $\delta = 130-200$  мм. При  $\delta < 130$  мм и  $q = 1-1,2 \text{ л/мин} \cdot \text{см}^2$  наблюдается значительный проскок влаги через слой силикагеля, при  $\delta > 200$  мм значительно возрастает сопротивление слоя силикагеля воздуху.

### 3.2. Распределение воздуха по корабельным помещениям

Для поддержания относительной влажности воздуха в герметизированных корабельных помещениях в пределах 25–35 % необходимо, чтобы воздухоосушительная установка обеспечивала один обмен воздуха в обслуживаемых ею помещениях за 2,5–3 ч. Корабли

различных классов имеют разные объемы внутренних помещений, однако для каждого класса кораблей нет необходимости иметь свою осушительную установку соответствующей производительности. Целесообразнее иметь один тип осушительной установки, а к ее производительности подбирать осушаемый объем путем одновременного осушения нескольких малых кораблей или разбивкой внутреннего объема корабля на ряд объемов, каждый из которых может быть обслужен одной установкой (для больших кораблей).

При разбивке всего осушаемого объема корабля на отдельные части учитываются особенности взаимного расположения корабельных помещений и возможность распределения и циркуляции воздуха во всем осушаемом объеме.

Воздухоосушительные установки могут размещаться как внутри осушаемого объема, так и вне его. В первом случае обычно используются различные жилые или какие-либо другие бытовые помещения корабля, например, кубрики, умывальники, камбуз и т. п. Во втором случае воздухоосушительные установки размещаются в специально сделанных выгородках или рубках на верхней палубе.

Второй способ размещения воздухоосушительных установок более удобен, так как он не требует периодического нарушения герметичности осушаемого объема для прохода личного состава, обслуживающего установки.

Для распределения сухого воздуха по помещениям корабля используются трубопроводы общекорабельных систем. Наиболее удобна для этой цели пожарная магистраль, так как она самая разветвленная магистраль на корабле.

Наряду с пожарной системой можно использовать и другие магистрали, например осушительную, паровую и др. В те помещения, где нет отростков магистралей, удобных для подачи воздуха, сухой воздух подается при помощи временных гибких шлангов.

Осушать небольшие по объему помещения можно и без специальной подачи в них сухого воздуха путем диффузии через открытые двери, люки или горловины.

Основное требование при распределении сухого воздуха — это циркуляция воздуха при работе воздухоосушительной установки через все основные помещения осушаемого объема.

Для выполнения этого требования совершенно необязательно подавать сухой воздух в каждое помещение. Достаточно, что в каж-

дом помещении будет ток воздуха, направляющегося к всасывающему патрубку воздухоосушительной установки. Чтобы обеспечить такой ток воздуха, в каждом отдельном случае необходимо определить, какие двери, люки и горловины держать открытыми и какие – закрытыми.

Иногда для налаживания циркуляции воздуха в отдельных объемах, например в палубных контейнерах, бывает необходимо установить специальные трубопроводы или гибкие шланги, обеспечивающие ток воздуха из этих объемов к воздухоосушительной установке.

В машинно-котельных помещениях сухой воздух от установки целесообразно подавать в котел, оттуда – по паропроводу в турбину и далее через конденсатор в помещение. В этом случае будет достигнута надежная защита от коррозии внутренних поверхностей котлов, паропровода, турбин и конденсаторов. Вообще сухой воздух по возможности следует подавать во все трубопроводы и полости механизмов.

Если не регулировать количество сухого воздуха, подаваемого в каждое помещение, то относительная влажность воздуха в помещениях будет различной и зависеть от пропускной способности трубопроводов, принятых для распределения сухого воздуха. Поэтому для поддержания более или менее одинаковой относительной влажности воздуха во всех осушаемых помещениях необходимо изменять подачу сухого воздуха, регулируя открытие клапанов на соответствующих трубопроводах. Подача сухого воздуха регулируется в зависимости от относительной влажности воздуха в отсеках.

В отсек с более низкой относительной влажностью подача сухого воздуха уменьшается, а в отсеке с более высокой влажностью – увеличивается. Обычно бывает достаточно отрегулировать подачу один раз при наладке работы воздухоосушительной установки.

Много проще, чем на надводных кораблях, вопрос распределения сухого воздуха решается на подводных лодках, где для этой цели используются трубопроводы магистралей общелодочной вентиляции, имеющие отрезки в каждом отсеке.

Принципиальная схема циркуляции воздуха на подводной лодке показана на рис. 3.5. Регулировка подачи сухого воздуха по отсекам производится при помощи регистров на раструбах вентиляции и переборочных клинкетов. Воздухоосушительная установка 2 монтируется в специальной рубке, которая может быть размещена на

надстройке подводной лодки или на пирсе в непосредственной близости от подводной лодки. В последнем случае для подачи воздуха на подводную лодку используются шемшланги 3 и 4.

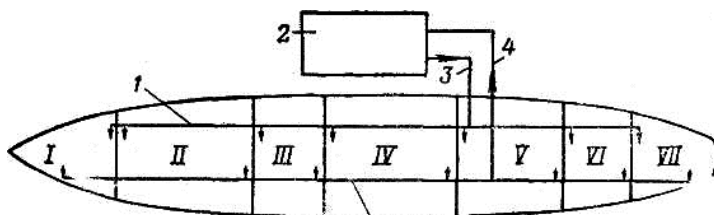


Рис. 3.5. Схема распределения сухого воздуха на подводной лодке

После окончания монтажа воздухоосушительных установок и испытания корабельных помещений на герметичность воздухоосушительные установки пускаются в действие.

В течение первых трех-четырех недель установки работают непрерывно. В этот период, который называется *периодом предварительной сушки*, происходит десорбция влаги из окрашенных поверхностей и различных неметаллических материалов, а также испарение воды, находящейся в жидкой фазе.

Следует отметить, что продолжительность периода предварительной сушки сильно зависит от тщательности удаления воды из трубопроводов, трюмов, полостей различных механизмов и других мест. При наличии воды в осушаемых помещениях этот период значительно увеличится, что приведет к длительному нахождению законсервированной материальной части в условиях повышенной влажности воздуха.

При достижении относительной влажности во всех осушаемых помещениях 30–40 % время работы воздухоосушительных установок за сутки постепенно сокращается до такой величины, которая обеспечивает поддержание относительной влажности в помещениях в указанных пределах.

Время работы воздухоосушительной установки за сутки зависит от величины осушаемого объема, температуры воздуха в нем, качества герметизации и других факторов, не поддающихся точному учету. Для определения этого времени служит диаграмма изменения относительной влажности воздуха в осушаемых помещениях,

полученная с гигрографов.

Если, например, при работе воздухоосушительной установки в течение 10 ч в сутки относительная влажность воздуха в помещениях устанавливается ниже 30 %, то это время сокращается, если же относительная влажность воздуха достигает 40 %, то время работы воздухоосушительной установки за сутки увеличивается.

Практически изменение времени работы воздухоосушительной установки происходит в основном из-за изменения влагосодержания воздуха в помещениях и влагоемкости силикагеля в адсорберах при изменениях температуры осушаемого воздуха. Эти изменения связаны с сезонными климатическими явлениями и происходят сравнительно медленно, поэтому менять время работы установки за сутки приходится редко — несколько раз в течение года.

Время активной работы силикагеля-адсорбера до переключения на второй адсорбер для данной установки так же изменяется в течение года и по тем же причинам.

Влагопоглощающая способность силикагеля в адсорбере считается исчерпанной при достижении относительной влажности воздуха на выходе из воздухоосушительной установки 20–25 %. Эта цифра является условной и означает, что дальнейшее использование силикагеля в данном адсорбере без его регенерации становится малоэффективным.

В используемых в настоящее время на флотах воздухоосушительных установках силикагель в адсорберах работает до регенерации в течение 1,5–2 ч летом и 3–4 ч зимой.

Время регенерации силикагеля в адсорбере для данной установки определяется в конечном счете мощностью воздухоподогревателя. Это время для обеспечения возможности непрерывной работы воздухоосушительной установки должно быть меньше времени активной работы силикагеля в адсорбере до его регенерации. Обычно оно составляет 45–60 мин. Процесс регенерации силикагеля в адсорбере считается законченным, если при температуре воздуха после воздухоподогревателя 140–160 °С температура воздуха после адсорбера достигнет 85–95 °С.

Верным признаком конца регенерации силикагеля является достижение постоянства его веса в процессе регенерации, поэтому периодически необходимо проверять полноту регенерации путем отбора и взвешивания проб силикагеля.

### **3.3. Особенности консервации материальной части при динамическом осушении воздуха**

При динамическом осушении воздуха в корабельных помещениях поддерживается относительная влажность воздуха 25–40 %.

Для поддержания низкой относительной влажности воздуха необходимо обеспечить достаточно качественную герметизацию корабельных помещений (особенно в подводной части корпуса) и удалить воду из трюмов, полостей механизмов, трубопроводов и других мест.

Если герметизировать корпус и помещения корабля сравнительно легко, то удаление воды, находящейся в указанных выше местах, требует значительных усилий.

Обычная продувка полостей механизмов и трубопроводов систем сжатым воздухом не дает нужного эффекта. После такой продувки в системах остается значительное количество воды. В связи с этим наиболее низко расположенные участки систем приходится подвергать разборке, но и это не всегда позволяет полностью удалить воду.

Наиболее эффективным способом удаления воды из полостей механизмов и трубопроводов является продувка их воздухом, подогретым до 100–120 °С в специальном воздухоподогревателе или предварительно просушенным путем пропускания его через силикагель блока осушки.

В дальнейшем для поддержания во внутренних полостях механизмов и трубопроводов низкой относительной влажности воздуха последние сообщают с объемами осушаемых помещений — открывают лючки, пробки, клапаны и по возможности продувают сухим воздухом от воздухоосушительной установки в течение всего времени нахождения корабля в консервации.

Низкая относительная влажность воздуха, поддерживаемая в отсеках в течение всего времени нахождения корабля и консервации, позволяет отказаться от применения при консервации механизмов специальных консистентных консервирующих смазок. Так, если при консервации механизмов, расположенных в неосушаемых помещениях, основными консервирующими смазками являются пушечная смазка и различные смеси пушечной смазки с какими-либо маслами, то при консервации механизмов, находящихся в атмосфере пониженной влажности, оказывается возможным применять штатные масла или

смазки, не требующие их удаления при расконсервации механизмов.

Исключительно благоприятные условия создает динамическое осушение воздуха внутри корабля для хранения законсервированного электрооборудования. По сути дела, динамическое осушение воздуха позволяет вообще отказаться от применения консервирующих смазок при консервации электрооборудования и применять штатные смазки только в тех узлах, где их использование предусмотрено условиями эксплуатации. Большая часть электрооборудования в этом случае остается в состоянии, готовом к немедленному действию без каких-либо работ по его расконсервации.

Таким образом, применение динамического осушения воздуха при консервации корабля позволяет значительно сократить объем работ по консервации и расконсервации, а следовательно, и сроки ввода законсервированного корабля в строй.

Рассмотрим порядок консервации кораблей при динамическом осушении воздуха. После окончания консервации материальной части и достижения в корабельных помещениях относительной влажности воздуха 40–45 % все эти объемы сообщаются с атмосферой помещений путем вскрытия лючков, крышек, горловин, пробок и т. п.

К таким объемам относятся внутренние полости механизмов, электрическая аппаратура и арматура герметичного исполнения, внутренние цистерны подводных лодок, полости котлов, паропроводов, теплообменных аппаратов и пр.

В ряде случаев бывает целесообразным не просто сообщать какой-либо объем с атмосферой отсека, а пропускать через него сухой воздух от воздухоосушительной установки. Такой вариант, как уже указывалось, целесообразно применять при консервации машинно-котельных установок турбинных кораблей, где для подачи воздуха от осушительных установок можно использовать тракт «паровой котел–паропровод–турбина–конденсатор». По такому принципу можно осуществлять подачу сухого воздуха везде, где только это позволяет конструктивное оформление механизма или комплекса механизмов.

Выгодной особенностью использования динамического осушения воздуха является и то, что весьма просто решается вопрос доступа личного состава в герметизированные помещения для производства осмотров материальной части и связанных с этим работ.

Кратковременное нарушение герметичности помещений для про-



хода личного состава, а также пребывание личного состава внутри осушаемого помещения не оказывает существенного влияния на влажность воздуха в нем при работающей установке динамического осушения. Необходимо только следить за тем, чтобы дверь или люки для прохода личного состава открывались на возможно минимальное время и количество личного состава, допускаемого внутрь помещения, было ограничено.

### **3.4. Контроль за состоянием материальной части и работой воздухоосушительных установок**

Основным условием надежной сохранности законсервированной материальной части при динамическом осушении воздуха в отсеках корабля является поддержание относительной влажности воздуха в заданных пределах в течение всего периода нахождения корабля в консервации.

При консервации кораблей способом динамического осушения воздуха в герметизированных помещениях для контроля за относительной влажностью и температурой воздуха можно пользоваться как простыми, так и дистанционными измерительными приборами. Обычно для измерения и регистрации относительной влажности воздуха используются гигрографы с недельным заводом часового механизма, а также гигрометры и дистанционные приборы ИТВ-1 и ДМС-53, которые помимо относительной влажности воздуха позволяют измерять и его температуру. Для регистрации и измерения температуры воздуха используются термографы с недельным заводом часового механизма.

Гигрографы и термографы непрерывно регистрируют изменение относительной влажности и температуры воздуха, что имеет большое значение для анализа и выбора режимов работы воздухоосушительных установок, но их использование связано с необходимостью прохода личного состава в герметизированные помещения для наблюдения и перезарядки приборов. Поэтому основными рабочими приборами являются дистанционные приборы ИТВ-1 и ДМС-53, а гигрографы и термографы — контрольными приборами.

Размещение приборов для измерения температуры и относительной влажности воздуха связано с особенностями распределения сухого воздуха по помещениям корабля и поэтому будет различным

для надводных кораблей и подводных лодок.

На надводных кораблях весь осушаемый объем представляет собой единое целое, так как обратный ток воздуха к воздухоосушительной установке обычно осуществляется через открытые двери и люки и соответствующие помещения. Это позволяет размещать приборы только в помещениях, где установлено много механизмов и приборов. Для получения до некоторой степени усредненных величин температуры и относительной влажности воздуха по всем осушаемым помещениям приборы также необходимо размещать в том помещении, из которого производится отбор воздуха непосредственно воздухоосушительной установкой.

Как на надводных кораблях, так и на подводных лодках приборы размещаются в средней части помещения (отсека). При необходимости произвести контрольные замеры в других точках обычно пользуются аспирационным психрометром, который служит также и для проверки показаний других приборов. Для прокладки кабелей от датчиков дистанционных приборов ИТВ-1 или ДМС-53 через водонепроницаемые переборки и корпус подводной лодки или надводного корабля используют специальные сальники, установленные на место какого-либо демонтированного трубопровода, или имеющиеся запасные сальники. Иногда бывает целесообразно для подключения датчика в каком-либо помещении использовать кабели, проходящие в это помещение, для чего последние отключаются от соответствующих механизмов или приборов.

Температуру и относительную влажность воздуха измеряют дистанционными приборами через каждые 4 ч, а также перед пуском и после остановки воздухоосушительных установок. В начальный период работы воздухоосушительных установок, при регулировке распределения сухого воздуха по помещениям, показания всех гигрографов и термографов снимаются один раз в день, в дальнейшем, при установившемся режиме работы установок, — один раз в неделю в специально назначенный для этого день. При снятии показаний гигрографов и термографов и при перезарядке помещения вскрываются для прохода наблюдающего; там, где позволяют условия расположения помещений, следует использовать способ шлюзования.

Наряду с контролем за температурой и относительной влажностью воздуха в герметизированных помещениях корабля должен

быть постоянный контроль и за состоянием законсервированной материальной части. Контроль за законсервированной материальной частью складывается из визуальных наблюдений за «свидетелями», состоянием лакокрасочных покрытий, наружных поверхностей механизмов, трубопроводов, арматуры, приборов, замера сопротивления изоляции электрооборудования, из вскрытия и осмотра отдельных механизмов или их узлов, отбора проб и анализа смазок, масел и топлива, из выборочной проверки измерительных приборов и т. п.

В процессе эксплуатации воздухоосушительных установок, особенно в начальный период, происходит усадка силикагеля в кассетах адсорберов, в результате чего воздух проходит поверх слоя силикагеля и не осушается. Чтобы избежать этого, следует в начальный период эксплуатации установки через 10 суток, а впоследствии один раз в два-три месяца проверять уровень силикагеля в адсорберах и при необходимости добавлять его.

Эффективность работы воздухоосушительных установок может резко снизиться и из-за нарушения герметичности их узлов, поэтому периодически их необходимо проверять на герметичность. В процессе работы установки пыль засоряет воздушные фильтры, в результате чего снижается ее производительность. Необходимо следить за чистотой воздушных фильтров.

Решающее значение для эффективности работы установки имеет правильный выбор режимов ее работы, т. е. выбор времени работы установки за сутки, времени работы одного адсорбера до переключения на второй и выбор режима регенерации силикагеля.

## **4. ЗАЩИТНЫЕ АТМОСФЕРЫ**

### **4.1. Получение защитных атмосфер**

*Защитными атмосферами* называют газовые среды, которые инертны по отношению к защищаемым материалам. В среде защитной атмосферы защищаемые материалы в течение длительного времени не изменяют своих свойств.

При консервации в качестве защитной атмосферы чаще всего используют сухой чистый азот. В среде сухого азота металлы, а также неметаллические материалы не подвергаются коррозии и разруше-

нию. Наличие в атмосфере азота влаги более 35 % по точке росы и кислорода более 0,05 % приводит к потере ими защитных свойств.

В техническом азоте обычно содержится кислорода от 1 до 3 %. Чтобы такой азот можно было применять в качестве защитной атмосферы, необходимо очистить его от кислорода, для этого пользуются способом сжигания водорода в атмосфере технического азота. Кислород, содержащийся в техническом азоте, в присутствии катализатора вступает в реакцию с водородом, в результате чего образуется вода, которая впоследствии удаляется путем осушки азота.

В полученной этим методом защитной атмосфере примеси не должны превышать следующих пределов:  $H_2 = 3 \%$ ,  $O_2 = 0,05 \%$ ,  $NH_3 = 0,0005 \%$ , влажность по точке росы 35 %.

#### **4.2. Применение защитных атмосфер для консервации. Вакуумная установка**

При использовании защитных атмосфер для консервации основной задачей является получение в определенном объеме (корабле в целом, помещении, упаковке оборудования) требуемого состава защитной атмосферы и поддержание этого состава в течение всего периода нахождения объекта в консервации.

Совершенно очевидно, что для выполнения этого заполняемый объем должен быть герметизирован.

Заполнение герметизированного объема защитной атмосферой производится продуванием объема этой атмосферой до получения требуемого состава на выходе или вакуумированием объема и последующим заполнением его защитной атмосферой.

В первом случае герметизированный объем подключается к баллонам, заполненным защитной атмосферой, или к магистрали, идущей от источника защитной атмосферы. При использовании защитной атмосферы из баллонов продувание производится путем периодического заполнения объема до избыточного давления 0,01–0,05 МПа и последующего выпуска атмосферы из объема. При использовании защитной атмосферы из магистрали газозащитной станции герметизированный объем подключается на непрерывное продувание объема защитной атмосферой.

Процесс замены воздушной среды на среду защитной атмосферы продолжается до достижения равенства параметров защитной атмо-

сферы на входе и выходе.

При втором способе замены воздушной среды на среду защитной атмосферы воздух из объема удаляется с помощью вакуумных насосов и затем объем заполняется защитной атмосферой.

Наибольшее применение в практике получил второй способ, так как он требует меньше времени, а также меньше защитной атмосферы.

Для предотвращения натекания воздуха герметизированный объем наполняется защитной атмосферой до некоторого избыточного давления (обычно 0,03–0,05 МПа). При снижении избыточного давления до 0,01 МПа производят пополнение защитного газа до первоначального давления.

Таким образом, эффективность применения защитной атмосферы при консервации техники в значительной мере зависит от степени герметизации того объема, в котором она размещена. Только при хорошей герметизации можно добиться достаточно глубокого вакуума и, следовательно, достаточно полного удаления кислорода и влаги из герметизируемого объема.

Следует отметить, что создать идеально герметичную вакуумную систему практически невозможно. Критерием герметичности вакуумной системы является так называемая величина натекания атмосферного воздуха в вакуумируемый объем, или, другими словами, скорость увеличения давления в вакуумированном объеме.

Величина натекания может быть подсчитана по формуле

$$Q = \frac{p_1 - p_2}{t} V, \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}}, \quad (4.1)$$

где  $p_1$  – давление в вакуумированном объеме через время  $t$ ;

$p_2$  – начальное остаточное давление в вакуумированном объеме;

$V$  – вакуумированный объем;

$t$  – время натекания, с.

Очевидно, допустимой величиной натекания будет такое, при котором в данной вакуумной системе с помощью применяемых в данном случае средств возможно поддержание заданного остаточного давления, т. е. если

$$Q_0 p \geq Q, \quad (4.2)$$

где  $Q_0$  – быстрота откачки, т. е. объем газа, поступившего в единицу времени вакуумируемого объема в вакуумпровод;

$p$  – давление в вакуумируемом объеме.

С другой стороны:

$$Q_0 = \frac{Q_n \cdot Q_{пр}}{Q_n + Q_{пр}},$$

где  $Q_n$  – производительность насоса, т. е. объем газа, поступившего из вакуумпровода в вакуумный насос;

$Q_{пр}$  – пропускная способность вакуумпровода, м<sup>3</sup>/с.

Следовательно, неравенство (4.2) можно представить в виде

$$Q \leq \frac{Q_n \cdot Q_{пр}}{Q_n + Q_{пр}} p, \quad \frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{с}}. \quad (4.3)$$

Из неравенства (4.3) следует, что чем больше  $Q_n$  и  $Q_{пр}$ , тем большую величину натекания можно допустить.

Наиболее эффективным средством удаления влаги из герметичного объема является понижение давления внутри этого объема. Это объясняется тем, что с понижением внешнего давления температура кипения воды резко понижается. Так, если при давлении 760 мм рт. ст. температура кипения воды 100 °С, то при давлении 100 мм рт. ст. – только 51 °С, при давлении 10 мм рт. ст. – 11 °С, а при давлении 4,58 мм рт. ст. – около 0 °С (точнее 0,98 °С).

Точка, характеризующаяся давлением 4,579 мм рт. ст. и температурой 0,98 °С, носит название *тройной точки* и является границей трех агрегатных состояний: пар, вода, лед.

При давлениях ниже 4,58 мм рт. ст. равновесное фазовое превращение воды представляет собой превращение льда непосредственно в пар без перехода в жидкое состояние.

Такое изменение агрегатного состояния вещества называется *возгонкой* или *сублимацией*.

Метод сушки сублимацией состоит в том, что испарение влаги

из сушеного материала производится из твердого состояния: материал все время находится при температуре ниже тройной точки, при которой происходит замерзание содержащейся в нем влаги.

Если такая сушка происходит при давлении более высоком, чем давление в тройной точке, то интенсивность испарения будет небольшой, так как сколько-нибудь значительный подвод тепла к материалу вызовет плавление льда.

В случае сушки при давлении окружающей среды ниже давления в тройной точке (4,58 мм рт. ст.) к материалу можно подвести значительное количество тепла и ускорить процесс сушки.

Следовательно, для быстрого удаления влаги из пор и внутренних полостей механизмов и систем величину предельного вакуума необходимо принимать ниже давления 4,58 мм рт. ст.

Производительность  $Q_H$  вакуумного насоса определяется по формуле

$$Q_H = 2,3 \cdot 10^{-3} \frac{V}{t} \lg \frac{p'}{p''},$$

где  $p'$  – начальное давление в вакуумируемом объеме  $V$ ;

$p''$  – давление в конце вакуумирования;

$t$  – время вакуумирования.

Если же вакуумируемые объемы имеют большую величину натекания  $Q$ , то производительность  $Q_H$  должна быть не менее

$$Q_H = \frac{Q}{p_{\min}},$$

где  $p_{\min}$  – наименьшее давление в вакуумируемом объеме.

Пропускная способность вакуумпровода определяется по формуле

$$Q_{\text{пр}} = 24 \cdot 10^{-6} \frac{D^4}{l} p,$$

где  $D$  – диаметр трубопровода, м;

$l$  – длина трубопровода, м;

$p$  – среднее давление в трубопроводе, Па.

Эффективная быстрота откачки  $Q$ , определяется по формуле

$$\frac{1}{Q_3} = \frac{1}{Q_n} + \frac{1}{Q_{пр}}$$

или по уравнению

$$Q_3 = \frac{Q_n}{1 + \frac{Q_n}{Q_{пр}}}. \quad (4.4)$$

Из формулы (4.4) видно, что эффективная быстрота откачки объема сильно зависит от пропускной способности трубопровода.

Уже при  $Q_{пр} = Q_n$  быстрота действия насоса используется только наполовину. Поэтому при проектировании вакуумных установок следует стремиться к тому, чтобы пропускная способность соединительных трубопроводов была достаточно велика; трубопровод должен быть по возможности коротким и с большим проходным сечением.

### 4.3. Вакуумирование объема

Вакуумирование объема и заполнение его защитным газом обычно производятся в следующей последовательности:

- вакуумные насосы пускаются при закрытых клапанах на всасывании и определяется остаточное давление, создаваемое насосами;
- клапаны открываются на всасывании (при закрытых клапанах на вакуумируемый объем), насосы работают до получения минимального давления в вакуумпроводе;
- насосы останавливаются и определяется натекание атмосферного воздуха в вакуумпровод, которое должно быть не более 1 % допустимого натекания в вакуумируемый объем;
- объем вакуумируется до наименьшего остаточного давления; остаточное давление считается наименьшим, если оно не уменьшается в течение 3 ч работы насоса;
- насос останавливается и по формуле (4.1) определяется величина натекания атмосферного воздуха в вакуумную систему;
- объем продувается техническим азотом в течение 20–30 мин и вновь вакуумируется до наименьшего остаточного давления;
- объем заполняется защитным газом до давления 0,01–0,03 МПа,



на вакуумпроводе закрываются клапаны;

– через двое-трое суток производится повторное вакуумирование и заполнение объема защитным газом. Процесс вакуумирования объема и заполнения его защитным газом повторяется до получения в нем требуемых параметров защитного газа.

Особенности консервации механизмов при использовании защитного газа в основном те же, что и при использовании рассмотренного ранее динамического осушения воздуха.

#### **4.4. Контроль за состоянием оборудования, законсервированного в среде защитных атмосфер**

Параметры защитной атмосферы в герметизированном объеме с течением времени могут изменяться.

Изменяться могут избыточное давление защитной атмосферы, а также содержание в ней кислорода и влаги.

Если уменьшение избыточного давления защитной атмосферы связано в основном с недостаточной герметичностью объема, то увеличение процентного содержания кислорода и влаги может быть вызвано их выделением из различных неметаллических материалов. В начальный период, после наполнения объема защитной атмосферой, кислород и влага также могут выделяться из различных полостей законсервированных механизмов.

Основным условием надежной сохранности законсервированного оборудования во время его нахождения в консервации является сохранение требуемого состава защитной атмосферы в герметизированном объеме, поэтому контроль за состоянием оборудования сводится в основном к контролю за составом защитной атмосферы.

Постоянство состава защитной атмосферы при отсутствии выделения кислорода и влаги внутри герметизированного объема зависит главным образом от поддержания избыточного давления в объеме.

При достаточном избыточном давлении даже некоторая негерметичность объема не приведет к натеканию в него кислорода и влаги извне.

Величина избыточного давления защитной атмосферы обычно поддерживается в пределах 0,01–0,03 МПа. При снижении избыточного давления до 0,01 МПа объем пополняется защитной атмосферой из баллонов, в которых хранится ее запас.

Если такое пополнение потребуется производиться чаще трех раз в месяц, то необходимо проверить герметичность объема и устранить неплотности.

Величина избыточного давления защитной атмосферы контролируется по манометрам, установленным непосредственно на стенке контейнера или корпуса отсека.

Контроль за состоянием защитной атмосферы производится путем отбора проб и определения процентного содержания влаги, кислорода и водорода.

Помимо постоянного контроля за составом и избыточным давлением защитной атмосферы периодически должны проводиться и плановые осмотры законсервированного оборудования.

Непосредственный контроль за состоянием законсервированного оборудования весьма затруднителен из-за сложности доступа личного состава внутрь объема, заполненного защитной атмосферой.

Практически для непосредственного осмотра материальной части необходима замена защитной атмосферы воздухом, что крайне нежелательно из-за сложности последующего вакуумирования и повторного заполнения объема защитной атмосферой, а также из-за нарушения режима хранения законсервированного оборудования. Поэтому при консервации крупных объектов, например, подводных лодок, в качестве защитной атмосферы целесообразно использовать сухой очищенный воздух, получаемый от специального блока осушки.

## **5. ИНГИБИТОРЫ КОРРОЗИИ**

### **5.1. Классификация ингибиторов коррозии**

*Ингибиторами* (от латинского слова *inhibire* — тормозить), или замедлителями, коррозии, как уже указывалось, называются вещества, которые тормозят, а в ряде случаев практически полностью останавливают коррозионный процесс на металле.

Торможение коррозионного процесса происходит в зависимости от вида ингибитора за счет взаимодействия ингибитора со средой, в которой находится консервируемое оборудование, или за счет взаимодействия ингибитора с поверхностью металла.

По характеру действия и свойствам все ингибиторы коррозии можно разделить на нелетучие, или контактные, и летучие, или па-

рофазные, ингибиторы.

**Нелетучими** (контактными) ингибиторами коррозии называются ингибиторы, пары которых имеют очень малую летучесть, и поэтому они проявляют защитный эффект лишь при непосредственном контакте с поверхностью металла. Эти ингибиторы вводятся в растворители, и их растворы наносятся на защищаемые металлические поверхности.

Контактные ингибиторы коррозии подразделяются на подгруппы: неорганические и органические контактные ингибиторы.

**Неорганическими контактными** ингибиторами являются нитриты, хроматы и др., т. е. соли азотистой, хромовой, двуххромовой, а также других кислот. Такие ингибиторы часто называют *пассиваторами*, так как они создают на поверхности металла нерастворимую пассивную пленку, защищающую металл от разрушения.

К числу **органических контактных** ингибиторов относятся бензоаты и органические соединения угольной, фосфорной и других кислот.

**Летучими** ингибиторами атмосферной коррозии называются ингибиторы, способные испаряться при обычной температуре. Эти ингибиторы защищают металлы при непосредственном контакте с ними и металлы, находящиеся в среде паров ингибиторов. Летучие ингибиторы разделяются также на две подгруппы: неорганические летучие и органические летучие ингибиторы.

К летучим ингибиторам атмосферной коррозии относятся нитриты замещенных аммониевых оснований, сложные эфиры карбоновых кислот, карбонаты замещенных аммониевых оснований, некоторые смеси неорганических веществ и их смеси с органическими веществами.

Летучесть паров указанных ингибиторов является одной из важнейших характеристик, определяющих длительность и надежность их защитного действия. Пары ингибитора насыщают объем, в котором находится законсервированное оборудование, и защищают поверхность металла от коррозии. Благодаря этому летучие ингибиторы эффективно действуют не только в месте соприкосновения с металлом, но и на значительном (до 70 см) расстоянии от него.

Применение ингибиторов коррозии для целей консервации имеет следующие преимущества перед применением смазок:

- достигается более длительная защита металлов от коррозии;

- достигается большая экономия средств;
- консервация и особенно расконсервация производятся в значительно более короткие сроки и с меньшей трудоемкостью работ.

Наряду с преимуществами применение ингибиторов имеет и ряд отрицательных сторон. В настоящее время еще нет универсальных ингибиторов, которые защищали бы черные и цветные металлы. Более того, ингибитор, защищающий одни металлы, может ускорить коррозию других. Летучие ингибиторы атмосферной коррозии дают большой эффект только в определенном диапазоне температур, когда насыщение загерметизированного объема возможно парами летучего ингибитора. При снижении температуры летучесть паров ингибитора снижается и защитные свойства ингибитора в паровой фазе тоже снижаются. В этом случае летучий ингибитор дает защитный эффект только в местах непосредственного контакта с металлической поверхностью.

## **5.2. Нелетучие контактные ингибиторы коррозии**

Неорганические контактные ингибиторы находят широкое применение для предотвращения коррозии металлов в воде и водных растворах различных солей. Как указано выше, в качестве таких ингибиторов применяются соли калия и натрия: нитрит натрия, хроматы и бихроматы калия и натрия и др. Все эти соли являются пассиваторами.

Особенность действия пассиваторов состоит в том, что они при определенной концентрации по истечении некоторого времени, необходимого для образования защитной пленки, практически полностью прекращают коррозионный процесс. Чем плотнее пленка и меньше в ней пара, тем совершеннее она выполняет свою защитную роль.

При малых концентрациях пассиваторы не образуют сплошной защитной пленки на поверхности металла. В этом случае коррозионный процесс может происходить на небольших участках поверхности, что приводит к опасному местному сосредоточению коррозии, превращению ее в язвенную. Поэтому неорганические контактные ингибиторы коррозии считаются опасными замедлителями.

Минимальная концентрация ингибитора, ниже которой неорганический ингибитор не дает защитного эффекта, а, наоборот, ускоряет

коррозионный процесс, называется *порогом опасных концентраций*. Каждый ингибитор имеет свой порог опасных концентраций.

Нитриты являются одной из наиболее практически освоенных групп контактных ингибиторов коррозии.

Нитрит натрия  $\text{NaNO}_2$  является эффективным замедлителем. Он представляет собой белое кристаллическое вещество с бледно-желтым оттенком, хорошо растворимое в воде, удельный вес которого  $2,1 \text{ г/см}^3$ .

Торможение коррозии черных металлов в присутствии нитрита натрия объясняется тем, что ион  $\text{NO}_2$  окисляет продукты коррозии в окисные соединения, которые осаждаются на поверхности металла и создают защитную пленку.

Нитрит натрия применяется для консервации стальных изделий. Кроме того, он обладает хорошим защитным действием по отношению к никелю и хрому, а также хорошим покрытием из этих металлов по стали, нанесенным без подслоя.

Наиболее распространенный способ покрытия нитритом натрия – это погружение изделий в ванну с раствором, который систематически контролируется и корректируется. После стекания раствора изделие высушивают при комнатной температуре и заворачивают в парафинированную бумагу, а затем – в оберточную. Раствор нитрита натрия на изделия можно наносить кистью; в этом случае необходимо следить, чтобы ингибитор попал во все отверстия, щели, резьбу и т. д.

При консервации изделий применяется и комбинированный способ, когда изделия последовательно покрываются раствором ингибитора, а затем смазкой.

Ввиду высокой гигроскопичности нитрита натрия при хранении изделий в среде с высокой относительной влажностью воздуха кристаллы нитрита натрия могут раствориться и отдельные места изделий оголяются. Поэтому в последнее время для консервации изделий широкое применение находят водные растворы нитрита натрия повышенной вязкости. В качестве загустителя используются крахмал или его заменители. С целью сохранения пленки раствора на поверхности металла в коллоидном состоянии для предотвращения испарения из раствора влаги в него вводится глицерин.

Для нейтрализации кислотности, вызванной присутствием крахмала и глицерина, в раствор добавляется кальцинированная сода.

Приготовление таких растворов в принципе не отличается от приготовления обычных нитритных растворов.

Хроматы давно применяются в качестве ингибиторов коррозии черных и цветных металлов в пресной и морской воде.

В эту группу ингибиторов входят следующие соли калия и натрия: калий двуххромокислый  $K_2CrO_2$ , бихромат калия  $K_2Cr_2O_2$ , натрий хро-мовокислый  $NaCrO_4$  и бихромат натрия  $Na_2Cr_2O_7$ . Все эти ингибиторы являются активными окислителями. Они представляют собой кристаллические вещества, устойчивые на воздухе, хорошо растворимые в воде и нерастворимые или слабо растворимые в спирте.

Из хроматов наиболее широкое распространение как ингибитор коррозии металлов получил бихромат калия.

Скорость коррозии стали, погруженной в растворы бихромата калия, резко снижается. Достаточно добавить 1 г/л бихромата калия, чтобы сталь не подвергалась коррозии в пресной воде.

Если же стальное изделие частично находится в растворе бихромата калия, то наблюдается усиление коррозии по ватерлинии и даже большим увеличением концентрации бихромата калия в растворе удается не полностью защитить металл от разрушения, а лишь значительно замедлить коррозионный процесс.

Как и нитриты, хроматы и бихроматы являются опасными ингибиторами и при малых концентрациях вызывают ускорение коррозионных процессов. Установлено, что при концентрации  $NaCl$  в растворе 1 г/л бихромат калия оказывает защитное действие при концентрации в растворе не менее 3,2 г/л.

Органические контактные ингибиторы находят широкое применение для защиты черных и цветных металлов и имеют то преимущество перед неорганическими, что при недостаточных концентрациях в растворе они не вызывают ускорения коррозионного процесса, т. е. не относятся к опасным ингибиторам.

Бензоат натрия или бензойнокислый натрий  $NaC_7H_5O_2$  находит широкое применение для защиты стали от коррозии не только в водных растворах, но и при введении его в упаковочные материалы, смазки и краски.

Бензоат натрия, будучи хорошо растворимым в воде, вводится в краски с органическим растворителем, в котором имеются примеси воды. Затем вода испаряется, а частицы бензоната натрия остаются в краске и увеличивают ее защитные свойства. Для защиты черных

металлов от коррозии минимальная концентрация бензоната натрия в пресной воде 1,5 %.

### 5.3. Летучие ингибиторы коррозии

Летучие ингибиторы коррозии должны обладать следующими свойствами: надежно защищать металлы как в газовой фазе, так и в растворе; иметь высокую химическую стойкость; пары ингибитора должны иметь достаточную летучесть.

Этим требованиям удовлетворяют следующие типы химических соединений: нитриты замещенных аммониевых оснований, сложные эфиры карбоновых кислот, карбонаты замещенных аммониевых оснований, некоторые смеси неорганических веществ и их смеси с органическими веществами.

При хранении деталей в ингибированной бумаге, пропитанной 15 % раствором летучего фосфатного ингибитора, защита обеспечивается на срок до трех лет. При использовании более концентрированных растворов защита может быть еще более длительной.

Допускается хранение деталей даже при относительной влажности  $\phi = 100\%$ , но температуре не выше  $+40\text{ }^\circ\text{C}$ . Повышение температуры сокращает срок консервации.

Органические летучие ингибиторы находят широкое применение для консервации техники. Нитриты замещенных аммониевых оснований являются хорошими летучими ингибиторами коррозии черных металлов.

Наиболее полно изучены свойства нитритодициклогексиламмония (НДА)  $(\text{C}_6\text{HN})_2\text{NH}\cdot\text{HNO}_2$ . По своей химической природе это соединение является солью дициклогексиламмина и азотистой кислоты.

Объем около  $500\text{ м}^3$  воздуха насыщается  $1\text{ см}^3$  НДА при комнатной температуре.

По внешнему виду это белое кристаллическое вещество, разлагающееся при нагревании до  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . Время разложения ингибитора НДА зависит от температуры и способа его применения. Для ингибитора, нанесенного на бумагу, время разложения при  $23\text{ }^\circ\text{C}$  равно 10 годам, при  $75\text{ }^\circ\text{C}$  — 3,5 месяца. Ингибитор в кристаллическом состоянии полностью разлагается при  $41\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 20 лет.

Механизм защитного действия летучих ингибиторов коррозии

часто связан с поглощением паров ингибитора пленкой влаги, сконденсировавшейся на поверхности металла. В пленке влаги происходит гидролиз молекул летучего ингибитора. Образовавшиеся продукты взаимодействуют с металлической поверхностью и защищают ее от коррозии. Например, нитриты аминов оказывают двойное защитное действие: нитрогруппа  $\text{NO}_2$ , обладающая сильными окислительными свойствами, образует на поверхности металла пассивную пленку окисного характера, амины сорбируются на активных участках поверхности металла, что затрудняет доступ агрессивных веществ к металлической поверхности.

Карбонаты аминов относятся к летучим ингибиторам, защищающим черные металлы от коррозии. К этому классу химических соединений относятся продукты взаимодействия аминов с углекислотой или углекислым газом.

Наиболее полно изучены свойства карбоната дициклогексиламмония (КДА), широко применяющегося для защиты от атмосферной коррозии изделий из стали и чугуна.

КДА представляет собой белое кристаллическое вещество со слабым аммиачным запахом, хорошо растворимое в воде и этиловом спирте. Эти жидкости можно успешно применять для получения растворов КДА, которыми пропитывается упаковочная бумага.

Торможение процесса коррозии уже заржавевших поверхностей имеет большое практическое значение. Это важно для защиты от коррозии, например, трубопроводов и паровых котлов, уже бывших в эксплуатации, а потом законсервированных.

КДА предохраняет от коррозии сталь, чугун, цинк, алюминий, хромированную и луженую сталь, а при определенных условиях — медь и латунь.

Уротропиновый летучий ингибитор (30%-й водный раствор) представляет собой смесь 15 % уротропина, 15 % нитрита натрия и 70 % воды (в весовых частях). Он обеспечивает надежную защиту от коррозии деталей из черных металлов в любых климатических условиях на срок более пяти лет. Этот ингибитор применяется для пропитки бумаги, картона, дерева ящиков, в которых хранится оборудование.

В отличие от других известных летучих ингибиторов он не изменяет свое защитное действие до температуры + 90 °С. Уротропиновый летучий ингибитор уничтожает плесень и насекомых.



## 5.4. Способы применения ингибиторов коррозии

Способ применения ингибиторов коррозии выбирают в зависимости от свойств ингибитора, конфигурации и размеров механизмов, оборудования или деталей, подвергающихся консервации, от металлов, из которых они изготовлены. Приведем основные способы применения ингибиторов коррозии.

**Первый способ.** Летучий ингибитор в виде порошка насыпают в мешочки, которые помещают в упаковочный ящик или в пакет с изделиями. Можно насыпать порошок непосредственно на дно ящика. Во внутренние поверхности двигателей (цилиндры, картер, коллекторы, полости охлаждения и т. п.) помещаются мешочки с ингибитором, которые при расконсервации удаляются.

**Второй способ.** Летучий ингибитор растворяют в растворителе и из пульверизатора этим раствором равномерно опрыскивают металлическую поверхность. Мелкие детали и инструмент окунаются в раствор ингибитора. После испарения растворителя ингибитор остается на поверхности металла и предохраняет ее от коррозии. Раствор ингибитора можно набрызгивать на дно и стенки контейнера, в котором оборудование хранится и перевозится.

**Третий способ.** Раствором летучего ингибитора пропитывают бумагу, которой обертывают консервируемое изделие. Этот способ наиболее распространен. Таким способом консервируют валы, баллеры рулей, гребные винты, тросы и т. п.

Многолетняя проверка третьего способа применения летучих ингибиторов коррозии дала положительные результаты. Например, детали, упакованные в бумагу, которая была пропитана нитритом дициклогексиламмония, при защите только от прямого соприкосновения с дождевой водой не подвергались коррозии в течение нескольких лет. Такая защита более эффективна, чем применение противокоррозионных смазок.

Срок защитного действия ингибитора определяется временем, в течение которого в загерметизированном объеме имеется необходимая упругость паров ингибитора, при которой ингибитор оказывает защитный эффект.

При снижении упругости паров ингибитора в загерметизированном объеме ниже определенного предела (вследствие плохой герметичности упаковки) его защитные свойства резко снижаются.

Как уже указывалось, чем выше температура, тем выше упругость паров ингибитора. Например, при комнатной температуре НДА и КДА защищают металлическую поверхность на расстоянии до 30 см. При понижении температуры вследствие уменьшения летучести ингибитора это расстояние уменьшается, а при отрицательных температурах защитный эффект в паровой фазе почти равен нулю. В этом случае более удобен способ непосредственного набрызгивания раствора ингибитора на защищаемые поверхности металла.

Герметизация осуществляется только после полного испарения растворителя и появления осадка ингибитора на обрызганных поверхностях.

**Четвертый способ.** Для предотвращения коррозии поверхностей деталей топливной системы и системы смазки двигателей, а также для улучшения защитных свойств смазок мелкодисперсный ингибитор вводится в масла и антикоррозионные смазки.

Для консервации внутренних поверхностей деталей, подвергающихся трению при работе (коленчатые валы, цилиндры двигателей и т. п.), а также для консервации системы смазки двигателей ингибитор размельчается в вибрационной мельнице типа М-10 до величины зерен 1–5 мкм. Затем ингибитор вводится в смазку или масло в количестве около 3 % и смесь прокачивается через масляную систему двигателя при проворачивании коленчатого вала вручную. В отдельных случаях возможна кратковременная работа двигателя (в течение 5–10 мин) на ингибированном масле, при этом хорошо смазываются все внутренние рабочие поверхности двигателя.

Обязательным условием успешного применения ингибиторов является тщательный учет особенностей объектов консервации, их назначение, виды металлов, из которых изготовлены отдельные детали, подлежащие консервации, сочетание металлов в той или иной конструкции, наличие неметаллических материалов и т. п.

Например, решая вопрос о применении ингибиторов для защиты от коррозии электрооборудования, необходимо считаться с возможностью химического воздействия того или иного ингибитора на неметаллические материалы (электроизоляционные материалы, пропиточные лаки и краски, пластмассы, древесину и т. д.).

При защите внутренних поверхностей трубопроводов, полостей механизмов необходимо учитывать радиус защитного действия летучих ингибиторов.

## 6. ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА КОРПУСОВ КОРАБЛЕЙ

### 6.1. Сущность электрохимической защиты

В состав каждого металла входит большое количество примесей других металлов, и, если поверхность такого металла соприкасается с электролитом, происходит образование микрогальванических элементов. При этом один из металлов, образующих микрогальванический элемент, выполняет роль анода и разрушается, а второй выполняет роль катода и разрушению не подвергается. На месте разрушившегося анода на поверхности металла образуется коррозионная язва, в соприкосновение с электролитом приходят более глубокие слои металла и начинают действовать новые микрогальванические элементы. Коррозионный процесс может протекать не только за счет микроэлементов, но и вследствие возникновения таких гальванических пар, электроды которых имеют вполне ощутимые размеры.

Примером может служить гальванический элемент, образованный стальной обшивкой корпуса корабля и гребными винтами, изготовленными из латуни. Подобного рода гальванические элементы с электродами заметных размеров носят название макроэлементов.

Причиной возникновения электрического тока в микро- и макроэлементах является разность потенциалов между разнородными металлами, погруженными в электролит.

Под электродным потенциалом металла понимают смещение потенциала металла при переходе его из вакуума в электролит, которое определяется процессом переноса зарядов из металла в раствор или обратно.

Для каждого металла существует некоторый минимальный потенциал, при котором скорость его коррозии в данной среде становится практически равной нулю; этот потенциал называют *минимальным защитным потенциалом данного металла в данной среде*.

Для придания металлу минимального защитного потенциала на его поверхности должна быть создана определенная плотность элект-

рического тока. Эту плотность тока, вызывающую сдвиг потенциала металла до защитного, называют *защитной плотностью тока*. Источником защитного тока может быть гальваническая пара, образованная защищаемым металлом (катодом) и другим каким-либо металлом, помещаемым в электролит и имеющим более отрицательный потенциал (анод), или посторонний источник постоянного тока. В последнем случае в качестве анода может быть использован любой токопроводящий материал (сталь, чугун, графит и др.).

В первом случае анод называют протектором, а защиту металлов от коррозии в электролитах с помощью протекторов — протекторной защитой.

Во втором случае положительный полюс источника тока подключается к аноду, а отрицательный — к катоду. Такой способ защиты металлов от коррозии в электролитах называют катодной защитой.

Контроль за действием протекторной и катодной защиты может осуществляться по величине защитной плотности тока на катоде и величине потенциала катода.

В случае протекторной или катодной защиты металла, имеющего на своей поверхности лакокрасочное покрытие, контроль за действием защиты осуществляется только по величине потенциала катода. Контролировать действие защиты по плотности защитного тока в этом случае нельзя, так как величина активной (пропускающей электрический ток) поверхности катода неизвестна.

## **6.2. Протекторная защита**

Если к какому-либо металлу, допустим к железу, в растворе электролита электрически присоединить другой металл, например магний, обладающий более отрицательным электродным потенциалом по сравнению с железом, то получится своего рода замкнутый гальванический элемент. Анодом этого элемента будет являться магний, а катодом — железо. При работе гальванического элемента положительные ионы магния будут непрерывно переходить в раствор, а соответствующие им электроны будут по проводнику переходить на железо и ассимилироваться там ионами раствора.

В результате протектор будет непрерывно растворяться, а железо, имеющее с ним электрический контакт, — в большей или меньшей степени защищаться от коррозии. Благодаря переходу электро-

нов на катод его потенциал смещается в сторону отрицательных значений, т. е. происходит катодная поляризация защищаемого металла. При достаточной величине поляризации коррозия защищаемого металла практически прекращается.

Величина поляризации защищаемого металла зависит от величины начального потенциала протектора и величины его анодной поляризации. Для практически полного прекращения коррозии потенциал защищаемого металла должен быть более электроотрицателен, чем потенциалы анодов и катодов имеющихся на нем макро- и микрогальванических пар. Поэтому протекторы должны быть гораздо более электроотрицательны, чем защищаемый металл, и подвергаться малой анодной поляризации.

Теоретически и практически доказано, что защитный потенциал стали в морской воде составляет  $-850$  мВ по медно-сульфатному электроду сравнения.

Процесс защиты металлов от коррозии с помощью протекторов состоит из трех основных процессов:

- анодного процесса – возникновения некомпенсированных электронов на аноде и гидратированных ионов металла в электролите;
- процесса перехода электронов по проводнику от анода к катоду и соответствующего перемещения катионов и анионов в растворе;
- катодного процесса – ассимиляции электронов какими-либо ионами или молекулами раствора (деполяризаторами), способными к восстановлению на катодных участках.

В последние годы в судостроении начали использовать высокоэффективные протекторы из магниевых сплавов, которые позволили обеспечить в сочетании с лакокрасочным покрытием надежную защиту от коррозии всей подводной части корпуса корабля.

С помощью магниевых протекторов от коррозии защищают также корпуса законсервированных кораблей. Эффективность действия протекторной защиты на законсервированных кораблях определяется электропроводностью морской воды в месте их стоянки. При низкой электропроводности морской воды протекторная защита малоэффективна. Это объясняется малым защитным током ввиду большого сопротивления воды и, следовательно, незначительной поляризацией самого корпуса. Чтобы достигнуть необходимой величины поляризации корпуса корабля в воде с малой электропроводностью, необходимо снизить сопротивление столба воды путем сокращения

расстояния между протекторами и корпусом, что повлечет за собой уменьшение радиуса действия протекторов и вызовет необходимость увеличения их количества.

Большое количество протекторов на корабле требует большого количества приспособлений для их крепления, что усложняет обслуживание протекторов. Поэтому на законсервированных кораблях, стоящих в воде, имеющей малую электропроводность, используется не протекторная, а катодная защита, позволяющая при небольшом количестве анодов обеспечить достаточную поляризацию корпуса корабля путем увеличения напряжения и защитного тока между корпусом и анодами.

К лакокрасочным покрытиям, применяемым в сочетании с протекторной защитой, предъявляются особые требования: покрытия должны обладать достаточной щелочестойкостью и высокими адгезионными свойствами. Используемое в настоящее время на законсервированных кораблях шестислойное покрытие подводной части корпуса этиноловой краской (№ 40) [1] вполне удовлетворяет указанным требованиям, если в период действия защиты потенциал корпуса корабля по абсолютной величине не превышает 900 мВ по медно-сульфатному электроду сравнения.

По мере растворения протекторов их активная поверхность уменьшается. Это может повлечь за собой понижение защитного тока и смещение потенциала корпуса корабля в положительную сторону. Если при этом потенциал корпуса станет по абсолютной величине меньше  $-850$  мВ по медно-сульфатному электроду сравнения, то протекторы заменяют новыми.

Как правило, протекторы, изготовленные из магниевых сплавов, надежно обеспечивают защиту подводной части корпуса корабля в сочетании с лакокрасочным покрытием до полного своего износа.

На корабле протекторы подвешиваются на капроновых шнурах, закрепленных на специальных стрелах, и посредством электрокабелей соединены с корпусом корабля. Форма протектора цилиндрическая, что обеспечивает наиболее равномерное его растворение. По оси протектора проходит стальной стержень, к которому приваривается скоба для подвески протектора на капроновом шнуре и припаивается электрический кабель. Стрелы протектора крепятся на леерных стойках корабля и в случае необходимости могут быть

легко сняты или завалены вдоль бортов.

Электрический кабель, идущий от протектора, соединяется с корпусом корабля через регулировочный реостат и штепсельную розетку, которая служит для включения измерительных приборов.

Количество протекторов, необходимое для защиты подводной части корпуса корабля, определяется в зависимости от величины подводной поверхности корпуса, электропроводности морской воды, размеров и материала протекторов.

Законсервированные корабли, подвергающиеся индивидуальной протекторной защите, устанавливаются на бочках или у стоянки, они не должны иметь электрического контакта с корпусами соседних кораблей. Этим обеспечивается использование протекторов для защиты корпуса только того корабля, на котором они установлены.

Протекторная защита может быть и общая на группе законсервированных кораблей. В этом случае корпуса кораблей должны быть соединены между собой при помощи электрических кабелей. Для более равномерного распределения потенциала по корпусам кораблей кабельные соединения между ними должны ставиться в нескольких точках. Протекторы в этом случае опускаются в воду между соседними кораблями без стрел при помощи тросов, натянутых между кораблями, и закрепленных на них блоков; стрелы устанавливаются только на внешних бортах крайних кораблей.

При наличии эффективных средств борьбы с обрастанием протекторная защита может на длительный срок исключить необходимость докования законсервированных кораблей.

Применение на кораблях протекторной защиты в отличие от катодной удобно тем, что не нужно специального источника тока и можно защитить корпуса кораблей, установленных в базах, не имеющих регулярного снабжения электроэнергией.

### **6.3. Катодная защита**

Катодная защита осуществляется при помощи постороннего источника постоянного тока, отрицательный полюс которого соединяется с корпусом корабля, а положительный — со специально установленным внешним анодом. Присоединение отрицательного полюса источника тока к корпусу корабля при наличии внешнего анода превращает анодные участки микро- и макропар на корпусе в

катодные, т. е. происходит катодная поляризация всей подводной поверхности корпуса корабля. При этом потенциалы анодов и катодов коррозионных пар сближаются и практически выравниваются, что наглядно видно из рис. 6.1.

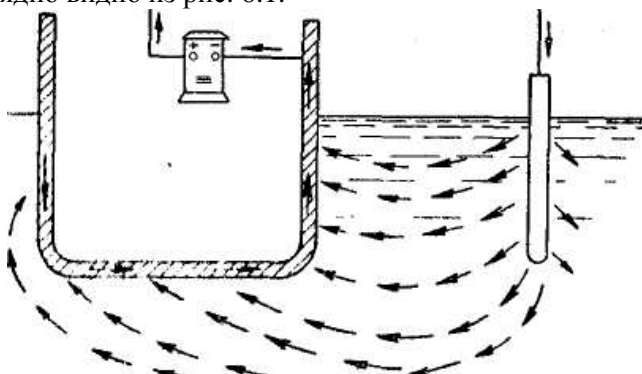


Рис. 6.1. Принципиальная схема катодной защиты корпуса корабля

Принципиальная схема действия катодной защиты на законсервированных кораблях показана на рис. 6.1. Ток от положительного полюса источника по изолированному проводу через анод отводится в морскую воду и по корпусу корабля и кабелю возвращается к источнику тока.

Движение тока по проводнику показано, как это принято в электротехнике, от положительного полюса к отрицательному. Следует отметить, что в действительности электроны движутся от отрицательного полюса источника тока к защищаемой поверхности. Протекание тока в электролите — морской воде — осуществляется за счет переноса ионов.

Во время действия катодной защиты на защищаемой поверхности образуются нерастворимые осадки углекислой соли кальция и других соединений, которые становятся дополнительной защитой подводной части корпуса корабля от коррозии. Защитное действие этих осадков сохраняется в течение длительного срока после прекращения действия катодной защиты.

Это объясняется малой растворимостью катодного осадка в морской воде. Следует иметь в виду, что катодный осадок отлагается только на тех участках подводной поверхности корпуса корабля,



через которые проходит электрический ток. На окрашенной подводной поверхности корпуса катодный осадок отлагается в местах, где нарушено лакокрасочное покрытие. Если подводная поверхность корпуса полностью свободна от краски, то количество катодного осадка, отложившегося на отдельных ее участках, зависит от плотности защитного тока на этих участках.

По мере увеличения плотности тока на катоде количество осадка сначала возрастает до определенного максимума, а затем при дальнейшем увеличении плотности тока уменьшается. Это явление есть результат интенсивного выделения водорода на катоде при высоких плотностях тока и соответствующих им значениях потенциала. Пузырьки водорода, выделяющиеся на катоде при разрядке водородных ионов, разрыхляют и удаляют осадок с поверхности катода, препятствуя наращиванию катодной пленки. Начало выделения водорода соответствует плотности тока, равной  $28 \text{ мА/см}^2$  ( $2,8 \text{ мА/дм}^2$ ).

Катодный осадок, нанесенный на стальную поверхность за 60 суток при плотности тока  $2 \text{ мА/дм}^2$ , обеспечивает надежную защиту от коррозии стальной поверхности сроком до 150 суток после отключения катодной защиты.

Таким образом, катодная защита корпуса корабля может быть осуществлена двумя способами: поддержанием на корпусе корабля минимального защитного потенциала и нанесением на подводную поверхность корпуса катодного осадка.

Расположение анодов на кораблях должно обеспечить равномерное распределение защитного тока по всей подводной поверхности защищаемых корпусов. Это осуществляется расположением анодов по длине кораблей и глубине погружения с таким расчетом, чтобы потенциал корпуса любого корабля во всех точках при действии катодной защиты был примерно одинаковым.

Для питания катодной защиты должен быть выбран такой источник, который обеспечил бы непрерывную подачу электроэнергии на аноды. В качестве таких источников могут быть использованы аккумуляторные батареи или специальные генераторы постоянного тока, рассчитанные на низкие напряжения и большие токи. При наличии в районе стоянки кораблей трехфазного переменного тока для питания катодной защиты можно использовать селеновые выпрямители.

Работа станции катодной защиты складывается из двух этапов. На первом этапе, когда лакокрасочное покрытие на подводной ча-

сти корпусов защищаемых кораблей находится в удовлетворительном состоянии, работа станции катодной защиты сводится к поддержанию на корпусах кораблей минимального защитного потенциала. Этот этап охватывает два-три года после докования кораблей и установки на них катодной защиты. Продолжительность первого этапа зависит от состояния лакокрасочного покрытия на подводной части защищаемых кораблей.

При работе станции катодной защиты на этом этапе электроэнергия расходуется на защиту от коррозии только тех небольших участков корпуса, которые случайно оказались свободными от краски. Остальная поверхность подводной части корпуса защищается лакокрасочным покрытием и электроэнергии не требует. При неправильной эксплуатации станции катодной защиты время первого этапа работы может сократиться за счет преждевременного разрушения лакокрасочного покрытия, которое происходит при слишком высоком потенциале корпуса корабля.

На втором этапе, когда лакокрасочное покрытие утратило свои защитные свойства, станция катодной защиты используется для периодического нанесения на подводные поверхности корпусов защищаемых кораблей катодного осадка. Как уже было сказано выше, катодный осадок может обеспечить длительную защиту от коррозии подводной части корпуса корабля и после отключения катодной защиты, причем время защитного действия катодного осадка более чем в два раза превышает время его нанесения. Таким образом, питание катодной защиты на двух группах кораблей можно осуществить от одного источника тока.

В этом случае режим работы станции катодной защиты следующий:

- ✓ источник тока подключается к первой группе кораблей для нанесения на их подводные поверхности необходимого слоя катодного осадка;

- ✓ за время защитного действия катодного осадка на первой группе кораблей катодный осадок наносится от того же источника на корпуса кораблей второй группы;

- ✓ после разрушения катодного осадка на первой и образования его на второй группе кораблей катодная защита вновь переключается на корабли первой группы и т. д.

Мощность источника питания катодной защиты выбирают, исходя из обеспечения второго этапа работы при плотности тока на ка-

тоде 2 мА/дм<sup>2</sup>. Как было сказано выше, при такой плотности тока катодный осадок является наиболее плотным и имеет хорошее сцепление с поверхностью металла.

Основными преимуществами катодной защиты по сравнению с протекторной являются следующие.

1. Возможность использования катодной защиты на кораблях, стоящих в воде с малой электропроводностью. Необходимая величина защитного тока в этом случае может быть установлена путем регулирования величины приложенного напряжения.

2. Возможность нанесения катодного осадка на подводные части корпусов кораблей, стоящих в морской воде, при повышенной плотности защитного тока и использование этого осадка как средства защиты от коррозии. Катодная защита в этом случае может включаться в действие периодически, что обеспечивает уменьшение расхода электроэнергии и материала анодов.

3. Возможность использования одного источника питания для защиты от коррозии корпусов двух групп кораблей путём поочередного нанесения на их подводные поверхности слоя катодного осадка.

4. Падение напряжения в проводах, идущих к анодам, может быть компенсировано приложенным напряжением.

Для обеспечения надежной работы катодной защиты на консервируемых кораблях необходимо соблюдать следующие основные требования:

✓ источник электроэнергии должен обеспечить длительное непрерывное питание катодной защиты;

✓ провода, идущие к анодам, должны быть водонепроницаемы и хорошо изолированы;

✓ аноды должны быть надежно изолированы от металлических деталей их крепления во избежание растворения этих деталей в период работы катодной защиты;

✓ должна быть исключена возможность соприкосновения анодов с корпусами кораблей во избежание короткого замыкания источника тока.

## **6.4. Электрокоррозия и борьба с ней**

Разрушение металла под действием тока от внешнего источника

называется *электрокоррозией*. Величина этого тока определяется величиной сопротивления коррозионной среды и величиной приложенного напряжения.

Ввиду того что величина приложенного напряжения достаточно велика, скорость разрушения при электрокоррозии может значительно превышать скорость обычной коррозии. Природа электрокоррозии предопределяет и методы борьбы с ней.

Электрический ток, проходящий в растворе через металлические электроды, вызывает на них различные процессы в зависимости от направления тока.

Если ток проходит из металла в раствор, т. е. металл соединен с положительным полюсом источника тока (анодная поляризация), то происходит электролитическое растворение металла. При обратном направлении тока, т. е. при прохождении тока из раствора в металл (катодная поляризация), когда металл соединен с отрицательным полюсом источника тока, на металле в зависимости от силы тока происходит или восстановление растворенного кислорода, или (при большей силе тока) выделение водорода.

Анодная поляризация корпуса корабля как при его непосредственном соединении с источником тока, так и тогда когда корпус является промежуточным электродом, обуславливает коррозионное разрушение корпуса. Процесс электролитического растворения металла подчиняется закону Фарадея: уменьшение толщины металла, растворяющегося под действием тока, наложенного извне, пропорционально плотности этого тока.

Анодная поляризация, вызывающая растворение металла, возможна не только при непосредственном соединении металла с положительным полюсом источника тока, но и тогда, когда металл, погруженный в раствор электролита, расположен таким образом, что ток, проходящий через раствор между другими электродами, разветвляется и часть его (блуждающий ток) проходит через данный металл (рис. 6.1).

Для стали скорость электрокоррозии определяется следующей зависимостью:

$$P = 1,14D, \quad (6.1)$$

где  $P$  – скорость разрушения стали, мм/год;  
 $D$  – плотность тока на поверхности стали,  $A/m^2$ .

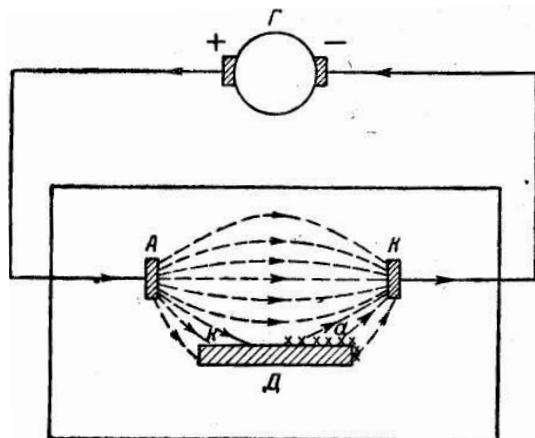


Рис. 6.1. Схема возникновения блуждающих токов

Из зависимости (6.1.) видно, каких больших значений может достигнуть скорость разрушения металла при электрокоррозии. Например, при плотности тока в каком-либо районе подводной части корпуса, равной  $5 A/m^2$ , толщина наружной обшивки корпуса в районах с указанной плотностью тока будет уменьшаться вследствие естественной коррозии в воде (морской воде), скорость которой составляет в среднем  $0,1-0,15$  мм в год.

Прохождение электрического тока через подводную часть корпуса, вызывающее электрокоррозию, обусловлено двумя причинами:

- неправильными схемами питания потребителей электрического тока на корабле в период его консервации и расконсервации;
- наличием в районе стоянки законсервированного корабля блуждающих токов.

Схемы питания током потребителей, находящихся на кораблях в период их консервации и расконсервации, должны обеспечить прохождение всего тока на корабль и с корабля по проводам и устранить возможность его ответвления через корпус в воду.

Блуждающие токи могут возникнуть в акватории, если на берегу

работает электротранспорт, использующий в качестве обратного провода рельсы, проходящие вблизи берега. Блуждающие токи возникают также от местных источников, например при расположении нагрузочного реостата при испытании корабельных генераторов во время расконсервации корабля за бортом в воде. На рис. 6.2 приведена схема такого расположения реостата. Из рисунка видно, что забортный реостат развивает мощные блуждающие токи, проходящие через корпус корабля и вызывающие коррозию.

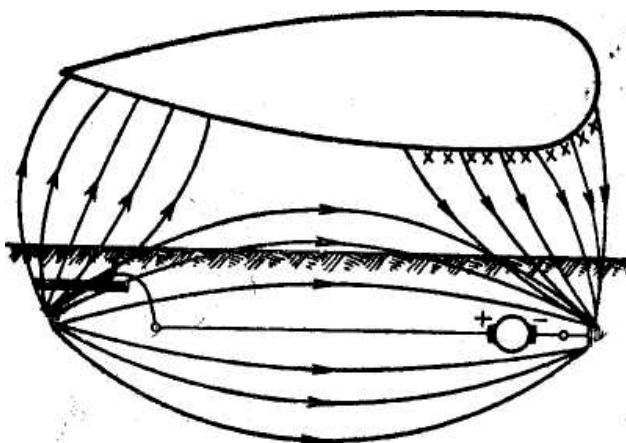


Рис. 6.2. Электрокоррозия корпуса корабля от блуждающих токов при однопроводной схеме сварочных работ на берегу:  
x x x – район электрокоррозии

Характерной особенностью действия блуждающих токов является то, что законсервированный корабль может подвергаться электрокоррозии, хотя на нем не производятся никакие работы, связанные с потреблением тока и включением корпуса в электрическую цепь.

Борьба с электрокоррозией корпусов кораблей при выполнении сварочных и других работ, связанных с потреблением с берега электрического тока, надежнее всего осуществляется путем применения схем питания, которые устраняют возможность прохождения тока через корпус в воду. Это достигается помещением генератора (рис. 6.3) непосредственно на том корабле, на котором производятся работы. Такая схема полностью исключает возможность прохождения тока через корпус в воду, так как ток, вырабатываемый генератором, за-

мыкается на корпусе. Здесь какие-либо упущения при производстве работ или недостаточный контроль за состоянием электросети не вызывают возникновения электрокоррозии. Заземляющие провода, показанные на рис. 6.3, нужны только в том случае, когда возможна электрокоррозия блуждающими токами от соседних кораблей или от других источников.

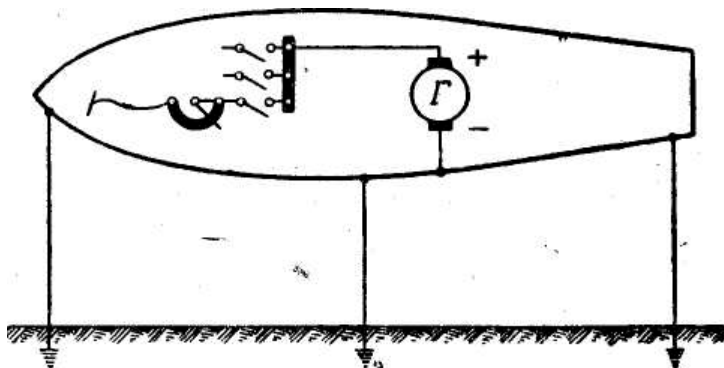


Рис. 6.3. Схема питания током энергопотребителей на корабле от генератора, установленного на том же корабле, исключающая возможность электрокоррозии корпуса

Сложнее обстоит дело, если источник блуждающих токов неизвестен. Тогда приходится считаться с их наличием в данном районе акватории и добиваться только снижения действия блуждающих токов до некоторого допустимого уровня путем установки дренажных проводов. Этот способ состоит в том, что параллельно цепи блуждающих токов между корпусом корабля и берегом включаются дренажные провода со значительно более низким электрическим сопротивлением, чем сопротивление соответствующих участков морской воды, по которым проходят блуждающие токи. Вследствие этого основная часть блуждающих токов устремляется по дренажным проводам и тем самым ослабляется ток, проходящий через подводную часть корпуса. При дренажном способе защиты от блуждающих токов основной задачей является определение сечения дренажных проводов и их размещение по корпусу корабля.

Сечение дренажных проводов для каждого района стоянки кораблей подбирается практическим путем. С этой целью увеличива-

ют сечение первоначально установленных дренажных проводов до тех пор, пока разность потенциалов между корпусом корабля и берегом или между корпусами соседних кораблей не станет ниже установленных норм на 30–50 %. По нормам средняя разность потенциалов не должна превышать в морской воде 30 мВ, а в пресной воде 60 мВ на 1 м расстояния между корпусами соседних кораблей или от корпуса до берега. При значительных блуждающих токах, вызывающих разности потенциалов между кораблем и берегом или между соседними кораблями, средняя разность потенциалов принимается на 75–100 % выше нормы.

Сечение дренажных проводов рассчитывается по следующим формулам:

– для морской воды

$$q = 1,2F,$$

где  $q$  – суммарное сечение дренажных проводов на одном корабле, мм<sup>2</sup>;

$F$  – величина поверхности подводной части корабля, м<sup>2</sup>;

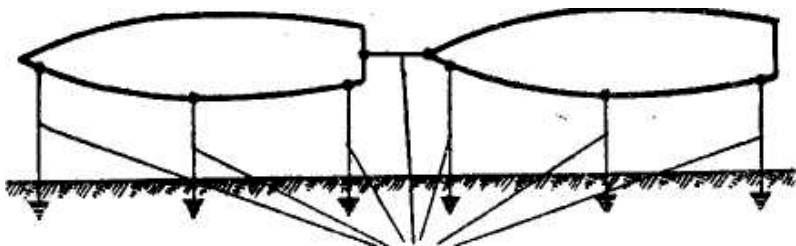
– для пресной воды

$$q = 0,6F.$$

При расположении рядом двух неодинаковых кораблей сечение дренажных проводов рассчитывается исходя из поверхности подводной части большого корабля. Сечение всех дренажных проводов на корабле должно быть по возможности одинаковым. Сечение каждого провода определяется путем деления расчетного сечения на число проводов. Для дренажных проводов могут быть использованы демонтированные провода и кабели, в том числе с нарушенной изоляцией.

Количество дренажных проводов и их размещение по корпусу корабля определяется исходя из практических соображений, на основании которых могут быть рекомендована схема, приведенная на рис. 6.4.





### **Дренажные провода**

Рис. 6.4. Схема размещения дренажных проводов при стоянке кораблей бортом к берегу

Применение дренажных проводов является частичным решением задачи ослабления действия блуждающих токов на подводную часть корпуса корабля. Этот способ отличается простотой осуществления, надежностью и несложностью контроля и является эффективным не только для борьбы с блуждающими токами, но также и для устранения токов на подводной части корпуса, возникающих из-за нарушения схем питания электропотребителей на корабле. Защита корпусов кораблей от электрокоррозии может быть эффективна, если выполнение предусмотренных мероприятий систематически контролируется.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Консервация корабля / К.В. Насонов [и др.]. – М.: Воениздат, 1962.

Учебное издание

КАРПЕНЧУК Игорь Васильевич  
ШАРИЙ Василий Николаевич

## КОНСЕРВАЦИЯ КОРАБЛЯ

Конспект лекций  
для студентов специальности  
1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация  
водного транспорта»

Редактор Т.Н. Микулик  
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 14.11.2011.

Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,30. Уч.-изд. л. 3,36. Тираж 100. Заказ 407.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.