

Т. В. Трефилова

КОРРОЗИЯ  
И ЗАЩИТА  
ОТ КОРРОЗИИ



Ижевск

2025

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет»  
Институт нефти и газа им. М. С. Гуцериева  
Кафедра бурения нефтяных и газовых скважин

**Т. В. Трефилова**

## **КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ**

Лабораторный практикум



Ижевск  
2025

УДК 620.19 (075.8)  
ББК 34.66 я73-5  
Т667

*Рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом УдГУ*

**Рецензенты:** д-р тех. наук, научный сотрудник УдмФИЦ УрО РАН  
**Макаров С. С.,**

канд. биолог. наук, доцент каф. ГНГ ИНиГ им. М. С. Гуцериева  
ФГБОУ ВО «УдГУ» **Красноперова С. А.**

**Трефилова Т. В.**

Т667 Коррозия и защита от коррозии : лабораторный практикум /  
Т. В. Трефилова. – Ижевск : Удмуртский университет, 2025. –  
51 с.

**ISBN 978-5-4312-1333-5**

Лабораторный практикум рекомендован к выполнению лабораторных работ по курсу «Коррозия и защита от коррозии» и адресован студентам, обучающимся по направлению подготовки бакалавриата 21.03.01 «Нефтегазовое дело». В практикуме рассмотрены приемы анализа коррозионных процессов, в ходе которых студенты знакомятся с экспериментальными приемами анализа коррозионных процессов, методами расчета скорости коррозии, а также способами защиты металлов от коррозии и снижения скорости их коррозионного разрушения. В описании лабораторных работ представлена методика эксперимента, обработка результатов, правила оформления отчета.

Лабораторный практикум разработан на основе рабочей программы по дисциплине «Коррозия и защита от коррозии».

УДК 620.19 (075.8)  
ББК 34.66 я73-5

**ISBN 978-5-4312-1333-5**

© Трефилова Т. В., 2025  
© ФГБОУ ВО «Удмуртский  
государственный университет», 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение .....	4
1. Общие указания к выполнению лабораторных работ .....	7
1.1. Правила работы в лаборатории .....	7
1.2. Указания к выполнению и защите лабораторных работ, ведению лабораторного журнала. ....	8
2. Методики выполнения лабораторных работ.....	9
2.1. Лабораторная работа №1 .....	9
2.2. Лабораторная работа №2 .....	27
2.3. Лабораторная работа №3 .....	32
2.4. Лабораторная работа №4 .....	45
Литература.....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Коррозия – это результат физико-химического взаимодействия материала со средой. Коррозия приводит к изменению свойств как самого металла (в основном к ухудшению свойств конструкционного материала), так и среды или технической системы, частью которой этот материал является. Такое определение соответствует международному стандарту ISO 8044. При этом коррозионным повреждением называют коррозионный эффект, не совместимый с назначением металла, среды или технической системы, частью которой он является. Как следует из определения термина «коррозия», корродировать, т. е. разрушаться под действием внешней среды, могут любые материалы: стекло, бетон, пластмассы и т. д. В данной работе рассматриваются вопросы коррозии только металлов: под термином «металл» понимают как чистые металлы, так и стали, сплавы и металлические покрытия. Коррозия – неконтролируемый самопроизвольный процесс с негативным результатом, в то время как травление, очистка поверхности, получение солей растворением металла в кислотах или под действием тока имеют тот же механизм, что и коррозионный процесс. Эффективность методов борьбы с коррозией напрямую за висит от правильного определения механизма коррозионного процесса, влияния внешних и внутренних факторов на скорость коррозии, а также выбора адекватного способа защиты металла или сплава от коррозии в конкретных условиях эксплуатации. При сравнительных коррозионных испытаниях используются способы определения коррозионных поражений металлов и сплавов: химические и ускоренные электрохимические методы – в соответствии с современными научными до-

стижениями науки о коррозии и общепринятыми международными (ISO) и национальными (NACE, DIN, ASTM и др.) стандартами и ГОСТами.

Специфика и оригинальность лабораторных работ, представленных в данном издании, заключается в том, что студенты при их выполнении непосредственно на практике осуществляют подбор методов защиты от коррозии.

Объектно-ориентированные теоретические знания и практические навыки, получаемые студентами в ходе выполнения данных лабораторных работ, могут быть использованы для дальнейшего выполнения курсового проекта и выпускной квалификационной работы, а также при прохождении производственных и преддипломной практик в соответствии с учебным планом.

Методических указания включают: краткие теоретические сведения, описание материалов и оборудования, методику и организацию выполнения работы, обработку результатов. К каждой лабораторной работе приведен перечень контрольных вопросов.

Лабораторные работы проводятся с целью решения задач различного уровня сложности, касающиеся промывки скважин. Одной из целей проведения лабораторных работ является формирование следующих навыков у студентов в соответствии ФГОС:

1. обобщать, анализировать, воспринимать информацию, ставить цели и выбирать пути ее достижения;
2. быть готовым к категориальному видению мира, уметь дифференцировать различные формы его освоения;
3. проявлять инициативу, находить организационно-управленческие решения и нести за них ответственность;
4. использовать нормативные правовые документы в своей деятельности;
5. самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии;

6. использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
7. составлять и оформлять научно-техническую и служебную документацию;
8. оценивать риски и определять меры по обеспечению безопасности технологических процессов в нефтегазовом производстве;
9. организовать работу первичных производственных подразделений, осуществляющих бурение скважин, добычу нефти и газа, промысловый контроль и регулирование извлечения углеводородов, трубопроводный транспорт нефти и газа, подземное хранение газа, хранение и сбыт нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов для достижения поставленной цели;
10. изучать и анализировать отечественную и зарубежную научно-техническую информацию по направлению исследований в области бурения скважин, добычи нефти и газа, промыслового контроля и регулирования извлечения углеводородов на суше и на море, трубопроводного транспорта нефти и газа, подземного хранения газа, хранения и сбыта нефти, нефтепродуктов и сжиженных газов;
11. планировать и проводить необходимые эксперименты, обрабатывать, в т. ч. с использованием прикладных программных продуктов, интерпретировать результаты и делать выводы;
12. использовать физико-математический аппарат для решения расчетно-аналитических задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности;
13. выбирать и применять соответствующие методы моделирования физических, химических и технологических процессов.

# 1. Общие указания к выполнению лабораторных работ

## 1.1. Правила работы в лаборатории

- Перед проведением работы получить инструктаж на рабочем месте;
- Рабочее место содержать в чистоте;
- При работе с приборами, имеющими электропривод, необходимо соблюдать правила электробезопасности. Не допускать попадания растворов, воды в токоведущие коммуникации (тумблеры, розетки и др.);
- Не допускать попадания бурового раствора и химических реагентов на не защищенные части тела;
- Запрещается использовать вещества, находящиеся в склянках без соответствующей маркировки;
- Работы с едкими, ядовитыми веществами проводить в вытяжном шкафу;
- При разбавлении концентрированных кислот следует вливать кислоту в воду;
- По окончании работы необходимо привести в порядок рабочее место, закрыть водопроводный кран, выключить электроприборы и т. д. в соответствии с указанием преподавателя;
- На время занятий назначаются дежурные, которые следят за порядком и чистотой.

## **1.2. Указания к выполнению и защите лабораторных работ, ведению лабораторного журнала**

- При выполнении лабораторных работ обучающимся рекомендуется вести лабораторный журнал;
- На обложке указать название предмета, фамилию, имя, отчество студента, номер группы, курс. Каждую работу следует начинать с новой страницы. Указать название работы, затем цель работы, приборы и материалы. Описать ход выполнения работы, произвести зарисовку прибора с указанием основных узлов, привести формулы и расчеты. Результаты наблюдений и расчетов занести в таблицу. В заключение построить графики и сформулировать выводы;
- Работу защитить у преподавателя. Защита заключается в ответе на контрольные вопросы, сущностью наблюдаемых явлений и причинами отклонения полученных результатов от ожидаемых значений физико-химических величин. При выполнении экспериментальной работы не исключены неудачи в проведении отдельных опытов, получение ошибочных результатов. В этом случае необходимо повторить весь эксперимент или какую-то его часть, по согласованию с преподавателем.

## 2. Методики выполнения лабораторных работ

### 2.1. Лабораторная работа № 1

#### Влияние буровой промывочной жидкости и горной породы на процессы (скорость) коррозии бурового оборудования

##### Общие теоретические сведения

Электрохимическая коррозия – это процесс разрушения металла в результате гетерогенной электрохимической реакции. При электрохимической коррозии одновременно протекают два процесса – окислительный (анодный), вызывающий растворение металла на одном участке, и восстановительный (катодный), связанный с выделением катиона из раствора, восстановлением кислорода и других окислителей на другом. В результате возникают микрогальванические элементы, и появляется электрический ток, обусловленный электронной проводимостью металла и ионной проводимостью коррозионной среды. [1]

По характеру разрушения различают следующие виды коррозии: – сплошная – охватывает всю поверхность металла; – равномерная – протекает с приблизительно одинаковой скоростью по всей поверхности; – местная – охватывает отдельные участки поверхности; – селективная (избирательная) – растворение отдельных компонентов сплава; – пятнами – в виде пятен диаметром более 50 мм и глубиной до 2 мм; – язвенная – в виде язв диаметром 2 до 50 мм; – точечная (питтинг) – в виде отдельных точек диаметром до 2 мм; – межкристаллитная – в виде избирательного разрушения границ зерен (кристаллов); – щелевая – развивается в щелях и узких зазорах; – подпленочная – протекает под защитным покрытием.

По сочетанию с другими физическими воздействиями различают следующие виды коррозионных разрушений: – коррозионно-кавитационные – при дополнительном воздействии кавитационного процесса; – эрозионно-коррозионные – при дополнительном истирающем воздействии потока воды совместно с твердыми частицами, или без них;

– коррозионное растрескивание – при воздействии растягивающих напряжений; – коррозионная усталость – при воздействии переменных механических напряжений; – высокотемпературная коррозия – при воздействии коррозионной среды с высокой температурой; – атмосферная коррозия, возникающая в результате воздействия влажного воздуха или газа на металл; – жидкостная коррозия, возникающая в жидкостях, проводящих электрический ток, таких как морская вода, растворы – кислот, щелочей и солей; – почвенная или подземная коррозия возникающая на металлических сооружениях, уложенных в землю (в почвенных электролитах); – электрокоррозия, возникающая под действием внешнего источника тока или под действием ближдающих токов; – межкристаллическая коррозия, это разрушение сооружений, происходящее преимущественно по границам кристаллов (зёрен) металла, под воздействием окружающей коррозионной среды и постоянных или переменных механических напряжений; – биокоррозия, возникающая в условиях затруднённого доступа кислорода при укладке газопровода в болотистых почвах или большой глубине заложения, при содержании в воде сульфатных солей, анаэробные сульфатвосстановливающие бактерии так же могут вызывать коррозию. В процессе жизнедеятельности эти бактерии восстанавливают сульфаты до сульфидов, используя при этом водород, что способствует протеканию катодных процессов. Причиной коррозии могут быть также серо-окисляющие бактерии, вырабатывающие в процессе жизнедеятельности серную кислоту, весьма агрессивную по отношению к стали. Коррозии могут также способствовать бактерии, потребляю-

щие углеводороды и разрушающие битумные защитные покрытия. Одним словом, биокоррозия – это процесс коррозии металла в почве с участием бактерий. Процесс коррозии начинается с поверхности и при развитии распространяется вглубь. В случае, когда продуктами коррозии покрыта вся поверхность, говорят о сплошной коррозии, которая может быть равномерной и неравномерной. Скорость равномерной коррозии оценивается массовым показателем коррозии – потерей массы металла с единицы его поверхности за единицу времени. Сплошная (равномерная) коррозия – равномерная постоянная потеря материала с корродирующей поверхности (развивается одновременно на всей поверхности). Характерна для всех металлов. Язвенная коррозия – это локализованная атака на материал, имеющий пассивную защитную пленку. Пассивная пленка может быть нарушена механически или под действием агрессивных ионов в электролите. Сильная язвенная коррозия может иметь место даже под слоем защитной пленки. Питтинг – точечная коррозия, возникает при локальном воздействии среды. Характерен для всех металлов и может привести к сквозным отверстиям в металле. Внешние проявления: – маленькие отверстия на поверхности; – скрытые полости внутри, которые могут быть заполнены продуктами коррозии (в том числе растворимыми солями). Что нужно для протекания коррозии? – металл; – электролит (вода/влажность); – кислород. Увеличивают скорость коррозии: – загрязнения; – повышение температуры; – повышение относительной влажности.

При контакте между двумя помещенными в электролит металлами, имеющими разный электрохимический потенциал, возникает электрохимическая коррозия. Интенсивность её зависит: – от разницы потенциалов, проводимости; – электролита и размера катода и анода. [2]

По механизму химической реакции, лежащей в основе коррозионного поражения химическая коррозия связана с непосредственным взаимодействием металла с окислителем):

$\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $t > 300^\circ\text{C}$ );  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{FeS}$  ( $t > 260^\circ\text{C}$ ); Электрохимическая коррозия протекает в присутствии электролита, возможна при комнатной температуре.  $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$   $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$   $\text{Fe}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2$   $\text{Fe}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3$   $\text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$  По характеру разрушения: – общая (равномерная, неравномерная); – местная (питтинговая, щелевая, межкристаллитная).

**Цель работы:** исследование зависимости скорости коррозии образца стали от природы контактирующих с ним агрессивной среды и твердых частиц, попадающих в технологическую жидкость в процессе бурения. Оценить влияние других факторов (по указанию преподавателя) на кинетику коррозионных процессов.

### *Оборудование и материалы*

1. Вальцевая печь OFITE с программируемым таймером.
2. Сушильный шкаф фирмы Memmert модель UFE 100 – 800.
3. Перемешивающее устройство типа IKA EUROSTAR power control-visc P4.
4. Коррозионная тестовая ячейка из нержавеющей стали емкостью 500 мл с модифицированной внутренней крышкой (ячейка старения). Сито лабораторное с размером ячеек 0,177 мм (200 меш.).
5. Весы лабораторные.
6. Образец (купон) стали.

### *Пояснения к работе*

Коррозия бурильного инструмента и оборудования вызывается в основном действием буровых промывочных жидкок-

стей, солей, а также бурового шлама, поступающего в промывочную жидкость при разбуривании горных пород. Совместное действие абразивного износа и коррозии усиливает процесс разрушения металла, приводит к преждевременному выходу из строя инструмента и оборудования, поломкам и авариям. Поэтому при выборе промывочной жидкости необходимо учитывать ее коррозионную и абразивную активность. Коррозионную активность снижают введением специальных добавок – ингибиторов коррозии. Для уменьшения абразивного износа промывочные жидкости регулярно очищают на специальном оборудовании на поверхности от твердых абразивных частиц.

В лабораторных условиях коррозионные процессы оценивают, используя тестовые ячейки старения с образцами металлов, помещая их в нагревательную печь или камеру вальцовой печи. Ячейка предназначена для определения степени и скорости коррозии в условиях температурного режима и давления, а также позволяет оценить эффективность ингибиторов коррозии в конкретных условиях.

Ячейка – это герметичный цилиндр [рис. 1], позволяющий подвергать образцы воздействию не только коррозионной агрессивной среды, но и оценить воздействие глинистых горных пород. Ячейки могут подвергаться воздействию температур и давлений в статических условиях или динамических условиях в вальцовой печи при заданном времени старения.



*Рис. 1. Тестовая ячейка для коррозионных испытаний (ячейка старения).*

### ***Задачи лабораторной работы (сущность метода)***

- оценить влияние твердых частиц бурового шлама на коррозионные процессы, протекающие в ячейках старения;
- сравнить значения глубинного показателя коррозионного разрушения металла в единицу времени, полученного в результате выдерживания образцов металла в ячейках старения в коррозионной среде с буровым шламом и без него при определенных одинаковых условиях;
- определить диспергирующую способность бурового шлама.

## *Методика проведения работы (эксперимента)*

1. Испытанию подвергают образцы стали, специально предназначенные для ячейки старения. Перед выполнением работы проводят очистку поверхности образцов от загрязнений с помощью наждачной бумаги «нүлевка». Образцы обезжиривают спиртом или ацетоном. Дальнейшие операции с образцами проводят с использование пинцета.

2. Подготовленный образец выдерживают в эксикаторе не менее 1 часа и взвешивают.

3. Образец закрепляют в держатель испытательной ячейки в вертикальном положении при помощи винта и фиксируют шайбой и гайками. При этом должны обеспечиваться изоляция образца от держателя и других металлических поверхностей, а также обеспечивать свободный контакт с коррозионной средой.

4. Для проведения испытаний используют технологические жидкости по указанию преподавателя. Технологические жидкости необходимо приготовить, используя перемешивающее устройство [рис. 2].



*Рис. 2. Внешний вид перемешивающего устройства.*

## **Порядок работы перемешивающего устройства**

1. Для правильного использования мешалку необходимо зафиксировать на штативе с помощью зажимных патронов.

2. Приспособление для размешивания вставить в коническое крепление на выходном вале и затягивают гайку крепления при помощи ключа для круглых гаек.

3. Включить перемешивающее устройство при помощи клавиши «0/I» на передней панели устройства.

4. Скорость вращения установить с помощью регулятора на передней панели устройства. Перед запуском мешалки регулятор скорости вращения необходимо установить в крайнее левое положение, постепенно поворачивая его вправо, тем самым увеличивая скорость вращения приспособления для перемешивания. Скорость вращения мешалки отображается на дисплее.

5. Нажав кнопку «Mode» (примерно на 1 секунду), можно изменить отображение на дисплее на значение крутящего момента в ньютонах на см (N/cm).

6. Если безопасное функционирование устройства для перемешивания нарушено, на передней панели загорается желтый светодиод, информация о характере неисправности будет отражаться на дисплее кодом неисправности.

## **Охрана труда и безопасность работы перемешивающего устройства**

- Необходимо следовать инструкциям по безопасности, нормативам, правилам охраны труда и нормам предотвращения несчастных случаев в лаборатории и на производстве.

- Напряжение, указанное на табличке прибора, должно соответствовать напряжению сети, розетка должна быть заземлена.

- Перемешивающее устройство должно быть установлено на ровной, чистой, устойчивой, нескользкой и огнеупорной поверхности.

- При работе использовать персональные защитные принадлежности (очки, респиратор, халат) в соответствии с категорией опасности обрабатываемой среды, иначе существует риск разбрызгивания жидкостей, разлета деталей, защемление частей тела, волос, одежды.

- Скорость вращения постепенно увеличивать (или снижать), чтобы исключить выплескивания среды из емкости.

- Плотно закрепить дополнительные принадлежности и емкости на месте, иначе вибрирующие предметы могут быть повреждены или выброшены наружу. Необходимо помнить о рисках, связанных с огнеопасными веществами, с боем стекла в результате механических вибраций.

- Обрабатывают только такие вещества, которые не показывают опасной реакции при получении дополнительной энергии при обработке.

- Не используют устройство во взрывоопасных средах.

- Аккуратно наполняют тестовую ячейку жидкостью. Удаляют любую попавшую жидкость с кромки тестовой ячейки. Помещают верхнюю часть ячейки с образцом в специальные углубления ячейки, устанавливают внешнюю головку, закручивают три винта, которые находятся на внешней головке ячейки, шестигранным ключом. Устанавливают штоковый кран в верхнюю крышку внешней головки и затягивают.

- Высушеннную в сушильном шкафу [рис.3] пробу бурого шлама (по указанию преподавателя) взвешивают (20 г) на лабораторных весах [рис.4], перемешивают с исследуемой жидкостью и заполняют вторую ячейку, по аналогии с первой ячейкой.



*Рис. 3. Внешний вид сушильного шкафа*

### **Принцип работы сушильного шкафа**

Органы управления и индикация шкафа располагаются вверху на передней панели. Основные клавиши управления: клавиша Set, кнопка поворотно-нажимная (основной переключатель), воздушная заслонка для режимов циркуляции или подачи воздуха и жидкокристаллический дисплей, на котором указывается вся основная индикация.

1. Для открытия дверки необходимо ручки двери потянуть на себя, а для закрытия дверки нажать на ручку.

2. Устройство включается нажатием на поворотно-нажимную кнопку, а для выключения – наоборот «утопить» кнопку.

3. Перемещением воздушной заслонки можно открывать и закрывать отверстие для воздуха, т. е. таким образом регулировать количество приточного и отводимого воздуха.

4. Для установки температуры необходимо удерживать нажатой кнопку «Set» и поворотом поворотно-нажимной кнопки установить заданную температуру.

5. После опускания клавиши «Set» на индикации кратковременно мигает значение заданной температуры. Затем появляется мгновенное значение заданной температуры, и регулятор начнет процесс управления для достижения заданной температуры.

6. Используя поворотно-нажимную кнопку, можно выбирать параметр из пункта меню и регулировать заданное значение параметра.

## **Охрана труда и безопасность работы с сушильным шкафом**

• Необходимо производить обязательный контроль за физическими и химическими свойствами загружаемых материалов (температуры кипения, воспламенения и тому подобное), чтобы не нанести значительных повреждений загружаемым предметам, тепловому шкафу, окружающей среде.

• Тепловой шкаф не предназначен для сушки, выпаривания и горячей сушки лаков и аналогичных веществ, смесь которых с воздухом взрывоопасна.

• Повышенная запыленность или агрессивные пары в рабочем объеме или вблизи устройства могут привести к короткому замыканию или повреждению электронных устройств.

• Не допускается слишком плотная загрузка шкафа, чтобы обеспечивать свободную циркуляцию воздуха в рабочем объеме.

• Необходимо быть осторожным при загрузке или выгрузке предметов из сушильного шкафа, т. к. рабочая камера может достигать больших температур.



*Рис. 4. Внешний вид лабораторных весов*

- Помещают ячейки в камеру вальцевой печи [рис. 5], где они подвергаются нагреву и вращению (агитации) на приводных роликах. Ячейки можно нагревать и без вращения (статическое созревание). Устанавливают заданную температуру, давление и время (в соответствии с заданием преподавателя).
- Порядок включения и задания режимов вальцевой печи. Фиксируют время начала и окончания эксперимента.
- По окончании эксперимента извлекают ячейку из камеры и охлаждают до температуры окружающей среды. Для охлаждения может быть использован воздух или вода.

- Когда ячейка достигнет температуры окружающей среды, плавно поворачивают штоковый кран в противоположном направлении для сброса давления и откручивают внешнюю головку ячейки.

- Аккуратно извлекают купон и проводят визуальный осмотр образца, записывая свои наблюдения в отчет. Исследуют следы коррозии и эрозии от воздействия бурового шлама.

- Перед проведением количественной оценки, купоны промывают под струей воды и подвергают очистке с помощью канцелярской резинки и дальнейшего обезжикивания этиловым спиртом или ацетоном.

- Раствор из первой ячейки сливают в емкость для отходов, а из второй ячейки пропускают через сито с размером ячеек 0,177 мм (200 меш.). Оставшиеся на сите частицы бурового шлама промывают, сушат при  $T=105^{\circ}\text{C}$  до постоянной массы и взвешивают.

### **Охрана труда и безопасность при работе с ячейкой старения**

- Следовать инструкциям по безопасности, нормативам, правилам охраны труда и нормам предотвращения несчастных случаев в лаборатории.

- Всегда работать с коррозионными купонами в сухих и чистых перчатках.

- Ячейки старения представляют собой опасность. При повышенных температурах и давлении ячейки могут взрываться. Осторожно работать с горячими ячейками. Не открывать горячие ячейки или ячейки под давлением, пока оно не будет сброшено. Убедитесь, что шток клапана направлен в сторону от людей или другого оборудования.

- Заполнить ячейки не более чем на 75 % их полезного объема, так как необходимо оставить место для теплового расширения жидкости во избежание избыточного внутреннего давления.

- На ячейке старения по внешнему периметру (верхнему и нижнему краю) необходимо установить уплотнительные кольца, для предотвращения ущерба валиков.

## **Порядок работы вальцевой печи**

Вальцевая печь оснащена цифровым температурным контроллером (диапазон рабочих температур 38°–232°C) и регулятором скорости.

1. Установить оба переключателя на контрольной панели («Motor» и «Heat») в положение «OFF» (нижнее положение).

2. Соединить кабель электропитания с источником необходимого напряжения. Если используется переходник, то в нем зеленый провод является заземлением, а черный и белый – это силовые провода.

3. Чтобы произвести запуск валиков необходимо перевести переключатель «ROLL» в положение «ON». Сигнальная лампочка (белого цвета) загорится, когда валики начнут вращаться.

4. Чтобы начать нагревание необходимо перевести переключатель «HEAT» в положение «ON». Сигнальная лампочка (красного цвета) будет гореть, когда валики начнут нагреваться.

Требуемая температура достигнута и поддерживается, если на цифровом температурном дисплее замигает сигнальная лампочка.

5. Верхний регистр на цифровом температурном дисплее показывает текущее значение температуры, нижний – заданное значение.

Печь производит нагрев со скоростью примерно 150°F (83°C) в час.



*Рис. 5. Внешний вид вальцевой печи.*

6. Печь может быть предварительно нагрета во время тестиования и подготовки образцов. При проведении теста в печи рекомендуется помещать образцы в ячейки старения OFITE.

7. Оставить переключатели питания включенными, пока печь и образцы не охладятся. Температурный контроллер будет показывать текущую температуру, пока переключатель нагревателя останется в положении «ON». Для более быстрого охлаждения достаточно открыть дверцу печи.

8. После выполнения анализа теста, перевести переключатели «Motor» и «Heat» в положение «Off».

## Охрана труда и безопасность работы с вальцевой печью

- После нагревания образцов до заданной температуры в течение установленного интервала времени таймер автоматически отключит нагреватели. Если таймер не отключил нагреватели, то их отключает термостат безопасности при достижении температура 450°F (232.2°C).
- Необходимо держать в чистоте внутреннюю поверхность печи и вовремя удалять загрязнения.
- Ячейки старения представляют собой опасность. При повышенных температурах и давлении ячейки могут взрываться. Всегда дожидайтесь пока температура ячейки после нагревания примет значение температуры окружающей среды, а давление будет сброшено.
- Результаты эксперимента заносят в таблицу 1.

Таблица 1  
Таблица экспериментальных данных

№ образца	Материал образца	К фактор	Метод, условия	Температура, °C	Время, час	Масса образца, г		Изменение массы, г
						до опыта	после опыта	

К фактор образца (купона) учитывается при расчете скорости коррозии. Это константа, которая включает в себя площадь и плотность купона. Данное значение должно быть напечатано на упаковочном конверте купона.

## *Расчеты, обработка и оформление результатов измерений*

1. Скорость коррозии ( $V_k$ , г/м<sup>2</sup>×ч) определяется по изменению массы образцов до и после эксперимента в течение определенного времени, по формуле:

$$V_k = \frac{m_1 - m_2}{\tau} \times K_{\text{фак.}}, \frac{\text{фунт/фут}^2}{\text{год}} \left( \frac{\text{lbs}/\text{ft}^2}{\text{год}} \right),$$

где

$m_1$  – масса образца до испытания, г;

$m_2$  – масса образца после испытания, г;

$\tau$  – время испытания, ч.

Для сравнения металлов разной плотности определялся глубинный показатель коррозии ( $\Pi$ , мм/год), т. е. средняя глубина проникновения коррозионного разрушения в металле.

$$\Pi = \frac{V_k \times 8760}{\rho} \times 10^{-3},$$

8760 – количество часов в году,

$\rho$  – плотность металла,  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Для пересчета фунт/фут<sup>2</sup>/год в мм/год используется коэффициент 0,638; т. е.  $V_k \text{ мм/год} = 0,638 \times V_k \text{ фунт/фут}^2/\text{год}$ .

2. Долю твердой фазы ( $T$ ), которая сохраняется в БПЖ (не диспергирует) вычисляют по формуле:

$$T = \frac{m_{\text{сух. ост.}}}{20} 100, \text{ где}$$

$T$  – ингибирующая способность раствора, %;

$m_{\text{сух. ост.}}$  – вес сухого остатка шлама после эксперимента, г;

20 – навеска бурового шлама, используемого для анализа, г.

Диспергирующую способность вычисляют по формуле:

$$D = 100 - T, \%$$

В отчете необходимо изложить основные понятия коррозии, расчеты скорости коррозии, занести экспериментальные и расчетные данные в таблицу 2, сделать выводы по работе.

Таблица 2

Таблица расчетных данных

№ образца	Скорость коррозии, $V_k$ , фунт/фут <sup>2</sup> /год	Глубинный показатель коррозии $\Pi$ , (мм/год)	Ингибирующая способность раствора, $T$ , %	Диспергирующая способность $D$ , %	Результаты наблюдений за образцом и раствором

## *Контрольные вопросы*

1. Охарактеризовать массовый и глубинный показатели скорости коррозии.
2. Выделить основные факторы, влияющие на электрохимическую коррозию металлов и скорость разрушения металла.
3. Охарактеризовать типы коррозионных разрушений.
4. Факторы, влияющие на диспергирующую способность бурового шлама.

## **2.2. Лабораторная работа №2**

### **Автоматическое определение показателей общей и питтинговой коррозии с помощью коррозиметра «Эксперт-004»**

#### **Общие теоретические сведения**

Питтинговая коррозия – это локальное разрушение металлов (нержавеющих сталей, алюминия, меди и др.), приводящее к образованию глубоких язв или питтингов (ям) на поверхности, которые могут быстро привести к сквозному проеданию и отказу оборудования, несмотря на отсутствие видимых повреждений общей коррозии. Она опасна своей непредсказуемостью и скоростью развития, часто инициируется дефектами поверхности и присутствием определенных ионов (галогенидов) в среде, а также недостатком кислорода в локальных зонах [3].

#### **Причины и механизм возникновения**

- **Дефекты пассивной пленки:** Повреждения (царапины, поры, включения) нарушают защитный слой металла, создавая анодные и катодные участки.
- **Ионы-активаторы:** Хлорид-ионы ( $\text{Cl}^-$ ) и другие галогениды разрушают защитный оксидный слой.
- **Недостаток кислорода:** В локальных участках, где кислорода меньше, создаются условия для анодного растворения металла (питтингообразования).
- **Типы металлов:** Подвержены «активно-пассивные» металлы, образующие защитную пленку: железо, никель, хром, алюминий, медь, цинк и их сплавы.

## Характеристики и опасность

- **Локальность:** Поражаются только отдельные участки, глубина разрушения в них значительно больше, чем при равномерной коррозии.
- **Скорость:** Развивается очень быстро, вглубь, что может привести к перфорации. [4]
- **Невидимость:** Трудно обнаруживается стандартными методами контроля до момента серьезного повреждения.
- **Последствия:** Потеря герметичности (теплообменники), трещины, сквозные отверстия.

## Борьба и профилактика

- **Контроль среды:** Снижение содержания хлоридов, поддержание оптимального рН, деаэрация (удаление кислорода).
- **Ингибиторы коррозии:** Добавление специальных химических реагентов.
- **Поверхностная обработка:** Улучшение качества поверхности, полировка.
- **Выбор материалов:** Использование сплавов с повышенной стойкостью к питтингообразованию (с молибденом).

**Цель работы:** Определение показателей общей и питтинговой коррозии в различных температурных режимах и агрессивных средах.

**Материалы и реактивы:** коррозиметр «Эксперт-004», электроды, стаканы 200, 100, электроплитка, термометр, образец агрессивной среды.

Универсальный автоматический коррозиметр ЭКСПЕРТ-004 определяет показатель равномерной, питтинговой коррозии, а также потенциала коррозии металлов, сплавов и покрытий в жидких электропроводных средах, защитных

свойств анодных, хроматных и других конверсионных покрытий и осуществление ряда других коррозионно-электрохимических методик.



Рис. 6. Внешний вид коррозиметра «ЭКСПЕРТ-004»

## Устройство и принцип работы

«ЭКСПЕРТ-004» состоит из измерительного преобразователя (ИП) с индикацией результатов измерений на жидкокристаллическом дисплее, электродных измерительных датчиков (ИД), погруженных в коррозионную среду.

Проведение измерений возможно на готовых изделиях, в том числе крупногабаритных (в этом случае необходима доработка методик). Склонность металлов к локальной коррозии определяется как плотность тока, протекающего между двумя короткозамкнутыми одинаковыми электродами, пересчитываемая в единицы глубинного показателя питтинговой коррозии (мкм/год). Для определения потенциала коррозии в приборе используется цифровой милливольтметр.

1. Включить прибор нажатием клавиши ВКЛ, после чего нажать клавишу ВВОД, при этом на дисплее появится основное меню.

2. Выбрать команду ПАРАМЕТРЫ перемещением темной командой строки(курсора) клавишами  $\leftarrow$  и  $\rightarrow$  или нажатием соответствующей клавиши, в зависимости от типа ИД, ввести параметры коррозионных измерений ( S-площадь электрода, Т – время паузы перед измерениями, режим измерений, материал электродов и т.д.). Перейти в основное меню нажатием кнопки ОТМ.

3. В основном меню в ручном режиме произвести выбор одного из следующих режимов работы прибора:

- измерение скорости общей коррозии (клавиша 1 – «Коррозия  $K_p$ »)
- измерение питтинга (клавиша 2 – «ПиттингР»)
- измерение поляризации (клавиша 3 – «Поляризация  $E_{cor}$ »)
- измерение тока (клавиша 6 – «Ток I») и нажать кнопку «ИЗМ.»

По истечения времени (значение заложено в режиме ПАРАМЕТРЫ), на экране появится измеренное значение выбранного параметра –  $K_p$ , Р,  $E_{cor}$ . или I.

### **Охрана труда и безопасность работы с коррозиметром «Эксперт»**

Коррозиметр может применяться в промышленных, лабораторных и полевых условиях. Соблюдать общие меры безопасности в зависимости от работы в определенных условиях и электрическими приборами.

### ***Методика работы***

Налить образец агрессивной среды в стакан V=100 мл. Произвести замеры общей и питтинговой коррозии. Нагреть образец агрессивной среды на водяной бане по методу «стакан

в стакане». Произвести замеры общей и питтинговой коррозии при температурах (С°) 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 и т. д.

Построить график зависимости общей и питтинговой коррозии от температуры. Сделать вывод о влиянии температуры на электрохимическую коррозию металлов.

### ***Контрольные вопросы***

1. Что такое питтинговая коррозия? Факторы, влияющие на питтингообразование.
2. Выделить основные факторы, влияющие на электрохимическую коррозию металлов.
3. Охарактеризовать типы коррозионных разрушений.

## **2.3. Лабораторная работа № 3**

### **Исследование коррозионных процессов сталей в различных агрессивных средах в статических и динамических условиях**

#### **Общие теоретические сведения**

Основных способы для определения скоростей коррозии металлов в агрессивных средах:

**1. В лабораторных условиях.** Испытания образцов происходят в искусственно созданных условиях, которые близки к реальным. Главное достоинство таких способов – высокая скорость проведения исследований.

**2. В полевой обстановке.** В этом случае выявление показателей скорости коррозии металлов происходит в реальных условиях. Недостаток таких способов – потребуется много времени на проведение исследований.

Достоинство – данные о свойствах металлов будут получены в условиях их эксплуатации.

**3. Естественные** – исследования проводятся в естественной среде.

Скорость коррозии зависит от множества факторов:

1. внутренние, они определяются физическими и химическими свойствами металла, его фазовой структурой, составом, шероховатостью поверхности, остаточными и рабочими напряжениями в материале;

2. внешние, сюда относятся условия окружающей коррозионно-активной среды, ее скорость движения, температурный режим, состав атмосферы, применение ингибиторов либо стимуляторов;

3. механические, в этом случае коррозионное растрескивание и порча металла происходит в результате циклических нагрузок, это, прежде всего, кавитационная и фреттинг-коррозия; [5]

4. специфика конструкции: марка металла, зазоры между элементами, шероховатости.

Скорость коррозии металла в земле или в воде зависит от ключевых внутренних факторов:

1. **Термодинамическая устойчивость.** Чтобы определить этот параметр в водных растворах, используют справочные диаграммы Пурбе, по оси абсцисс которых нужно отложить pH среды, по оси ординат – окислительно-восстановительный потенциал. Если потенциал сдвигается в положительную сторону, значит, материал достаточно устойчив. Приблизительно термодинамическая устойчивость определяется как нормальный равновесный потенциал металла. Но на практике образование коррозии происходит с разной скоростью.

2. **Положение атома в периодической таблице Менделеева.** Скорость коррозии металла на воздухе или в воде будет выше у таких групп химических элементов, как щелочные и щелочноземельные. При увеличении атомного номера данный параметр снижается.

3. **Кристаллическая структура.** Она своеобразно влияет на протекание разрушительного процесса. Непосредственно крупнозернистая структура не провоцирует увеличение образования ржавчины, однако является благоприятной для межкристаллитного избирательного разрушения границ зерна. Металлы и сплавы с однородным распределением фаз ржавеют равномерно, с неоднородным – коррозируют очагами. Взаимное расположение фаз играет роль анода и катода в агрессивной среде.

4. **Энергетическая неоднородность атомов в кристаллической решетке.** Атомы с максимальной энергией находятся в углах граней микронеровностей, они – активные центры растворения при химическом образовании ржавчины. Чтобы повысить

устойчивость деталей к коррозии, следует обрабатывать их: шлифовать, полировать, выполнять доводку. Также защитить металл получится, если на поверхности будет плотная и сплошная оксидная пленка.

Для оценки коррозионной устойчивости металлов используют чаще всего три показателя скорости коррозии.

*Массовый показатель* соответствует количеству металла, растворившемуся с единицы поверхности металла в течение определенного времени и выражается в  $\text{г}/\text{м}^2\text{ч}$ . Вычислить массовый показатель коррозии можно по следующей формуле:

$$V = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau}$$

Где  $\Delta m$  – убыль массы корродирующего металла (г);  $S$  – площадь поверхности корродирующего металла ( $\text{м}^2$ );  $\tau$  – время (ч).

*Глубинный показатель* характеризует проникновение коррозионного разрушения. Распространенная единица глубинного показателя –  $\text{мм}/\text{год}$ . Вычислить глубинный показатель коррозии ( $\Gamma$ ) можно по формуле:

$$\Gamma = \frac{8,76 \cdot V}{\rho}$$

Где  $\rho$  – плотность металла ( $\text{г}/\text{см}^3$ ).

*Электрохимическая единица* для выражения скорости коррозии представляет суммарную силу тока всех коррозионных пар, функционирующих на поверхности металла. Она выражается в единицах плотности тока, например, в  $\text{A}/\text{см}^2$ . Вычислить токовый показатель коррозии можно по формуле

$$I = 2,68 \cdot 10^{-3} \cdot \rho \cdot \frac{n}{A},$$

Где  $n$  – число электронов, теряемых атомом металла;  $A$  – атомная масса металла (г/моль).

Показатели коррозии и коррозионной стойкости металла определяют в заданных условиях, учитывая их зависимость от химического состава и структуры металла, состава среды, температуры, гидро- и аэродинамических условий, вида и величины механических напряжений, а также назначение и конструкцию изделия.

Показатели коррозионной стойкости могут быть количественными, полуколичественными (балльными) и качественными.

Коррозионную стойкость следует, как правило, характеризовать количественными показателями, выбор которых определяется видом коррозии и эксплуатационными требованиями. Основой большинства таких показателей является время достижения заданной (допустимой) степени коррозионного поражения металла в определенных условиях.

Показатели коррозионной стойкости, в первую очередь время до достижения допустимой глубины коррозионного поражения, во многих случаях определяют срок службы, долговечность и сохраняемость конструкций, оборудования и изделий.

Основные количественные показатели коррозии и коррозионной стойкости металла приведены в таблице. Для ряда коррозионных эффектов (интегральных показателей коррозии) приведены соответствующие им скоростные (дифференциальные) показатели коррозии.

**Таблица 3****Показатели коррозии и коррозионной стойкости**

Основные количественные показатели коррозии и коррозионной стойкости	
Вид коррозии	Коррозионный эффект (интегральный показатель коррозии)
Сплошная коррозия	Глубина проникновения коррозии Потеря массы на единицу площади
Коррозия пятнами	Степень поражения поверхности
Питтинговая коррозия	Максимальная глубина питтинга Максимальный размер попечника питтинга в устье Степень поражения поверхности питтингами
Межкристаллитная коррозия	Глубина проникновения коррозии Снижение механических свойств (относительного удлинения, сужения, ударной вязкости, временного сопротивления разрыву)
	Скорость коррозии
	Показатель коррозионной стойкости
	Время проникновения коррозии на допустимую (заданную) глубину*
	Время до уменьшения массы на допустимую (заданную) величину*
	Время достижения допустимой (заданной) степени поражения*
	Минимальное время проникновения питтингов на допустимую (заданную) глубину*
	Минимальное время достижения допустимого (заданного) размера попечника питтинга в устье*
	Время достижения допустимой (заданной) степени поражения*
	Время проникновения на допустимую (заданную) глубину*
	Время снижения механических свойств до допустимого (заданного) уровня*

Основные количественные показатели коррозии и коррозионной стойкости			
Вид коррозии	Коррозионный эффект (интегральный показатель коррозии)	Скоростной (дифференциальный) показатель коррозии	Показатель коррозионной стойкости
Коррозионное растрескивание	Глубина (длина) трещин Снижение механических свойств (относительного удлинения, сужения)	Скорость роста трещин	Время до появления первой трещины** Время до разрушения образца** Уровень безопасных напряжений** (условный предел длительной коррозионной прочности**) Пороговый коэффициент интенсивности напряжений при коррозионном растрескивании**
Расслаивающая коррозия	Глубина (длина) трещин усталость	Скорость роста трещин	Количество циклов до разрушения образца** Условный предел коррозионной усталости** Пороговый коэффициент интенсивности напряжений при коррозионной усталости**

При линейной зависимости коррозионного эффекта от времени соответствующий скоростной показатель находят отношением изменения коррозионного эффекта за определенный интервал времени к величине этого интервала. [6]

При нелинейной зависимости коррозионного эффекта от времени соответствующий скоростной показатель коррозии находят как первую производную по времени графическим или аналитическим способом.

Показатели коррозионной стойкости, отмеченные в таблице знаком\*, определяют из временной зависимости соответствующего интегрального показателя коррозии графическим способом, приведенным на схеме, или аналитически из его эмпирической временной зависимости  $y = f(\tau)$ , находя для допустимого (заданного) значения  $y_{\text{доп}}$  соответствующую величину  $\tau_{\text{доп}}$ .

Показатели коррозионной стойкости при воздействии на металлы механических факторов, в том числе остаточных напряжений, отмеченные в таблице знаком\*\*, определяют непосредственно при коррозионных испытаниях.

Допускается использование наряду с приведенными в таблице показателями других количественных показателей, определяемых эксплуатационными требованиями, высокой чувствительностью экспериментальных методов или возможностью использования их для дистанционного контроля процесса коррозии, при предварительном установлении зависимости между основным и применяемым показателями. В качестве подобных показателей коррозии с учетом ее вида и механизма могут быть использованы: количество выделившегося и (или) поглощенного металлом водорода, количество восстановившегося (поглощенного) кислорода, увеличение массы образца (при сохранении на нем твердых продуктов коррозии), изменение концентрации продуктов коррозии в среде (при их полной или частичной растворимости), увеличение электрического со-

противления, уменьшение отражательной способности, коэффициента теплопередачи, изменение акустической эмиссии, внутреннего трения и др.

Для электрохимической коррозии допускается использование электрохимических показателей коррозии и коррозионной стойкости.

При щелевой и контактной коррозии показатели коррозии и коррозионной стойкости выбирают по таблице в соответствии с видом коррозии (сплошная или питтинговая) в зоне щели (зазора) или контакта.

Для одного вида коррозии допускается характеризовать результаты коррозионных испытаний несколькими показателями коррозии.

При наличии двух или более видов коррозии на одном образце (изделии) каждый вид коррозии характеризуют собственными показателями. Коррозионную стойкость в этом случае оценивают по показателю, определяющему работоспособность системы.

При невозможности или нецелесообразности определения количественных показателей коррозионной стойкости допускается использовать качественные показатели, например, изменение внешнего вида поверхности металла. При этом визуально устанавливают наличие потускнения; коррозионных поражений, наличие и характер слоя продуктов коррозии; наличие или отсутствие нежелательного изменения среды и др.

На основе качественного показателя коррозионной стойкости дают оценку типа: стоек – не стоек; годен – не годен и др.

Изменение внешнего вида допускается оценивать баллами условных шкал, например, для изделий электронной техники по ГОСТ 27597.

Допустимые показатели коррозии и коррозионной стойкости устанавливают в нормативно-технической документации на материал, изделие, оборудование.

**Цель работы:** Изучение влияния агрессивности различных сред на скорость коррозии сталей в статических и динамических условиях.

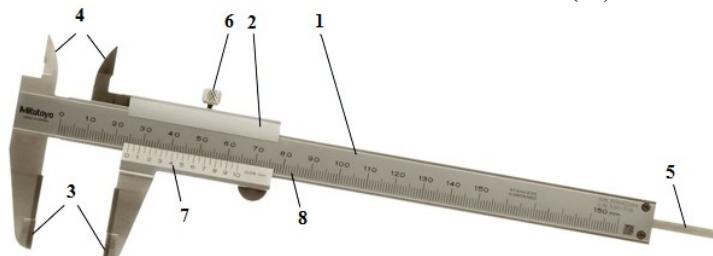
Материалы и реактивы:

- образцы сталей  $6 \times 3 = 18$  шт.;
- модели агрессивных сред;
- наждачная бумага «нулевка»;
- спирт или ацетон для обезжиривания образцов;
- канцелярская резинка;
- аналитические весы;
- штангенциркуль;
- эксикатор;
- пинцет;
- фильтровальная бумага;
- емкости для испытания (колбы Эrlenmейера) – 6 шт.

### *Методика работы*

#### 1. Подготовка образцов сталей для испытания

Обработать образцы наждачной бумагой. С помощью штангенциркуля [рис. 7] померять площадь каждого образца ( $S$ ) и обезжирить ацетоном. Образцы завернуть в фильтровальную бумагу, используя пинцет. Выдержать образцы в эксикаторе не менее 1 часа. После выдерживания в эксикаторе, взвесить на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. (m).



*Рис. 7. Внешний вид штангенциркуля SHЦ-I-150-0,05*

## **Устройство и принцип работы**

Устройство двустороннего штангенциркуля с глубиномером представлено на рисунке. Пределы измерений этого инструмента составляют 0-150 мм. С его помощью можно измерять как наружные, так и внутренние размеры, глубину отверстий с точностью до 0,05 мм.

### **Основные элементы штангенциркуля:**

- 1 – штанга;
- 2 – рамка;
- 3 – губки для наружных измерений;
- 4 – губки для внутренних измерений;
- 5 – линейка глубиномера;
- 6 – стопорный винт для фиксации рамки;
- 7 – шкала нониуса, служит для отсчета долей миллиметра;
- 8 – шкала штанги.

Губки для внутренних измерений 4 имеют ножевидную форму. Благодаря этому, размер отверстия определяется по шкале без дополнительных вычислений. При измерении пазов и отверстий к полученным показаниям необходимо прибавлять их суммарную толщину.

### **Порядок измерений штангенциркулем**

1. Губки штангенциркуля плотно с небольшим усилием, без зазоров и перекосов прижать к детали.
2. Определить величину наружного диаметра цилиндра (вала, болта и т.д.), следить за тем, чтобы плоскость рамки была перпендикулярна его оси.
3. При измерении цилиндрических отверстий губки штангенциркуля располагать в диаметрально противоположных точках, которые можно найти, ориентируясь по максимальным показаниям шкалы. При этом плоскость рамки должна проходить через ось отверстия, т. е. не допускается измерение по хорде или под углом к оси.

4. Чтобы измерить глубину отверстия, штангу устанавливают у его края перпендикулярно поверхности детали. Линейку глубиномера выдвигают до упора в дно при помощи подвижной рамки.

5. Полученный размер фиксируют стопорным винтом и определяют показания.

Работая со штангенциркулем, следят за плавностью хода рамки. Она должна плотно, без покачивания сидеть на штанге, при этом передвигаться без рывков умеренным усилием, которое регулируется стопорным винтом. Необходимо, чтобы при совмещенных губках нулевой штрих нониуса совпадал с нулевым штрихом штанги. В противном случае требуется переустановка нониуса, для чего ослабляют его винты крепления к рамке, совмещают штрихи и вновь закрепляют винты.

Для определения показаний штангенциркуля необходимо сложить значения его основной и вспомогательной шкалы.

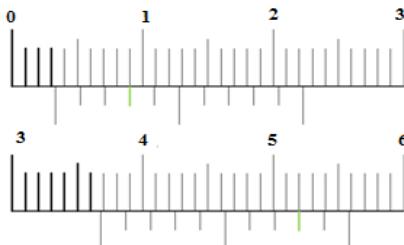


Рис. 8. Шкала штангенциркуля

1. Количество целых миллиметров отсчитывается по шкале штанги слева направо. Указателем служит нулевой штрих нониуса.

2. Для отсчета долей миллиметра необходимо найти тот штрих нониуса, который наиболее точно совпадает с одним из штрихов основной шкалы. После этого нужно умножить порядковый номер найденного штриха нониуса (не считая нулевого) на цену деления его шкалы.

3. Результат измерения равен сумме двух величин: числа целых миллиметров и долей мм. Если нулевой штрих нониуса точно совпал с одним из штрихов основной шкалы, полученный размер выражается целым числом.

### **Охрана труда и безопасность работы с штангенциркулем**

- *Перед работой проверяют техническое состояние штангенциркуля и при необходимости настраивают его.*
- *Если прибор имеет перекошенные губки, пользоваться им нельзя.*
- *Не допускаются также забоины, коррозия и царапины на рабочих поверхностях.*

2. Подготовка емкостей и закладка образцов для испытания.

Емкости для испытания залить агрессивными средами. С помощью пинцета подвесить образцы на устройстве «елочка». Подготовленные 3 емкости с различными агрессивными средами поместить на магнитную мешалку, остальные емкости оставить в стационарных условиях. Зафиксировать время нахождения образцов в агрессивных средах.

3. Обработка образцов после испытания.

Вынуть образцы, промыть дистиллированной водой. Снять продукты коррозии с помощью канцелярской резинки. Обезжирив образцы, поместить в эксикатор. По истечении 1 часа, взвесить на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.( $m_1$ ).

4. Расчет скорости коррозии.

Скорость коррозии рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{m - m_1}{S\tau}, [\text{г/мм}^2 \text{ час}]$$

$m$  – масса образца до испытания, г.

$m_1$  – масса образца после испытания, г.

$S$  – площадь образца,  $\text{мм}^2$

$\tau$  – время эксперимента, час.

Расчитать  $\Gamma$  (глубинный показатель), мм/год.

Плотности образцов сталей (справочные данные).

Заполнить таблицу:

Таблица 4

**Результаты лабораторных экспериментов**

№	марка стали	$S, \text{мм}^2$	$\tau, \text{час}$	$m$	$m_1$	характеристика агрессивной среды	$\Gamma$	$V$	примечание (условия: стационарные или динамические)

5. Выводы о влиянии агрессивности сред и условий на скорость коррозии образцов сталей. Сделать вывод о коррозии различных марок сталей.

***Контрольные вопросы***

1. Охарактеризовать методику подготовки образцов для коррозионных исследований.
2. Выделить основные факторы, влияющие на химическую и электрохимическую коррозию металлов. Какое влияние статические и динамические условия оказывают на характер коррозионных разрушений?
3. Охарактеризовать типы коррозионных разрушений.

## 2.4. Лабораторная работа № 4

### Исследование коррозионных процессов сталей в различных агрессивных средах и температурных режимах

#### Общие теоретические сведения

С повышением температуры скорость коррозии, как правило, возрастает, т.к. возрастает скорость химических реакций, скорость диффузии и растворимость продуктов коррозии, защищающих поверхность. Однако, с повышением температуры падает растворимость кислорода в воде. Поэтому, если коррозия протекает в закрытой системе, то ее скорость растет с повышением температуры – рисунок 9 а, кривая 1. Если система открытая, то скорость коррозии начнет падать при примерно 70...80°C вследствие удаления  $O_2$  из раствора – кривая 2. Кроме того, с повышением температуры могут создаться условия для возникновения защитной оксидной пленки на поверхности и тогда скорость коррозии также уменьшится.

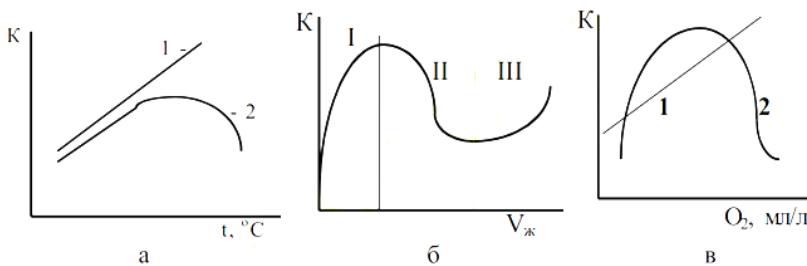


Рис. 9 Зависимость скорости коррозии железа в воде от температуры (а); от скорости движения жидкости (б); от концентрации растворенного кислорода (в)

**Скорость движения электролита.** Как видно из рисунка 1 б, вначале с повышением скорости движения электролита скорость коррозии увеличивается в следствие увеличения подвода кислорода к поверхности металла (I). Затем скорость

коррозии уменьшается, т.к. на поверхности образуется защитная оксидная пленка (II). На участке (III) скорость коррозии возрастает из-за механического удаления этой пленки потоком жидкости и эрозии металла.

**Концентрация кислорода.** На рисунке 9 представлена зависимость скорости коррозии от содержания  $O_2$  в электролите. Если кислород играет роль деполяризатора, то скорость коррозии растет по линейной зависимости (1). Если кислород выступает в роли пассиватора, то при малых и средних концентрациях  $O_2$  скорость коррозии возрастает вследствие потерь металла на образование окисла, а при больших – падает так как вся поверхность металла покрыта защитной оксидной пленкой.

**Давление.** С повышением давления скорость коррозии возрастает, что связано с увеличением растворимости газов в коррозионной среде и появлением внутренних механических напряжений в металле.

**Цель работы:** Изучение влияния агрессивности различных сред на скорость коррозии сталей в статических и динамических условиях.

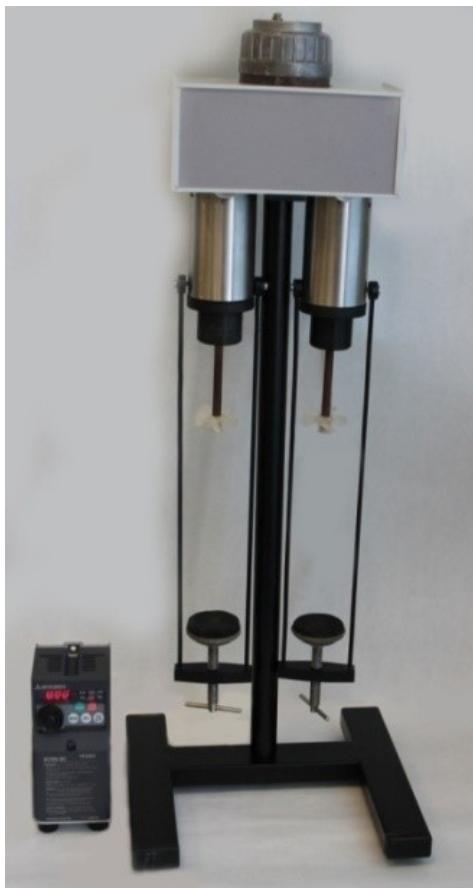
Материалы и реактивы:

- образцы сталей 6х3=18 шт.;
- модели агрессивных сред;
- наждачная бумага «нулевка»;
- спирт или ацетон для обезжиривания образцов;
- канцелярская резинка;
- аналитические весы;
- штангенциркуль;
- эксикатор;
- пинцет;
- фильтровальная бумага;
- емкости для испытания (колбы Эrlenмейера) – 6 шт.

## *Методика работы*

### 1. Подготовка образцов сталей для испытания

Обработать образцы наждачной бумагой. С помощью штангенциркуля померять площадь каждого образца (S) и обезжирить ацетоном. Образцы завернуть в фильтровальную бумагу, используя пинцет. Выдержать образцы в эксикаторе не менее 1 часа. После выдерживания в эксикаторе, взвесить на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. (m).



### 2. Подготовка емкостей и закладка образцов для испытания.

Емкости для испытания залить агрессивными средами. С помощью пинцета подвесить образцы на устройстве «елочка». Подготовленные 3 емкости с различными агрессивными средами поместить на водяную баню при  $t=40^{\circ}\text{C}$ , остальные емкости оставить в стационарных условиях. Зафиксировать время нахождения образцов в агрессивных средах.

*Рис.10 Внешний вид  
GRP-NPX-05*

## Порядок работы

Конструкция установки позволяет проводить коррозионные испытания одновременно в двух U-образных ячейках. При этом в обеих ячейках обеспечиваются равные условия проведения испытаний (интенсивность перемешивания и скорость перемещения испытуемой среды).

1. Закрепить на штатив блок электропривода и сам привод, расположив установку и преобразователь частоты на ровной горизонтальной поверхности.

2. Закрепить на установке U-образные ячейки: осторожно ввести горло стеклянного сосуда под привод и зафиксировать ячейки прижимными винтами.

3. Слегка ослабив прижим ячейки к корпусу привода, залить в нее через свободное горло модельную среду до перелива через большое горло.

Если планируется добавка дополнительных растворов, то в ячейке оставить необходимое свободное пространство.

4. Произвести обескислороживание модельной среды путем барботирования инертного газа через нижний отвод ячейки, после чего нижний отвод перекрывается.

5. Во второе горло ввести до уплотнения резиновую пробку с подвешенными на нее образцами-свидетелями, при этом остаток жидкости вылить через средний отвод.

6. Добавить расчетное количество дополнительных растворов и ввести в средний отвод ячейки резиновую пробку.

7. Затянуть, не прилагая чрезмерных усилий, винт до уплотнения резиновой прокладки. При этом следует обратить внимание на правильный ввод горловины ячейки в корпус привода.

8. Включить электродвигатель. С помощью датчика преобразователя установить желаемую частоту вращения электродвигателя. Скорость перемещения испытуемой среды регулируется изменением частоты вращения электродвигателя с помощью преобразователя частоты.

9. Все дальнейшие операции провести, руководствуясь положениями методики.

### **Охрана труда и безопасность**

- Установку включать в сеть, имеющую заземление.
- Не допускается работа установки при снятом защитном корпусе.
  - Техническое обслуживание и ремонт производить только на обесточенной установке.

3. Обработка образцов.

Вынуть образцы, промыть дистиллированной водой. Снять продукты коррозии с помощью канцелярской резинки. Обезжирив образцы, поместить в эксикатор. По истечении 1 часа, взвесить на аналитических весах с точностью до 0,0001 г.( $m_1$ ).

4. Расчет скорости коррозии

Скорость коррозии рассчитывается по формуле:

$$V = \frac{m - m_1}{S\tau}, \text{ [г/мм}^2 \text{ час]}$$

$m$  – масса образца до испытания, г.

$m_1$  – масса образца после испытания, г.

$S$  – площадь образца,  $\text{мм}^2$

$\tau$  – время эксперимента, час.

Расчитать  $\Gamma$  (глубинный показатель),  $\text{мм/год}$ .

Плотности образцов сталей (справочные данные).

Заполнить таблицу:

Таблица 5

Результаты лабораторных экспериментов

№	марка стали	S, $\text{мм}^2$	$\tau$ , час	m	$m_1$	характеристика агрессивной среды	Г	V	примечание (температурный режим)

Выводы о влиянии агрессивности сред и условий на скорость коррозии образцов сталей. Сделать вывод о коррозии различных марок сталей.

*Контрольные вопросы*

1. Охарактеризовать методику подготовки образцов для коррозионных исследований.
2. Выделить основные факторы, влияющие на химическую и электрохимическую коррозию металлов. Какое влияние температурный режим оказывают на характер коррозионных разрушений?
3. Охарактеризовать типы коррозионных разрушений.

## ***Литература***

1. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов. – М.: Металлургия, 1976. – 472 с.
2. Шлугер М. А., Ажогин Ф. Ф., Ефимов В. А. Коррозия и защита металлов. – М.: Металлургия, 1981. – 214 с.
3. Ямпольский А. М., Ильин В. А. Краткий справочник гальванотехника. – Л.: Машиностроение, 1981. – 269 с.
4. Ангал Р. Коррозия и методы защиты от коррозии: [учеб. пособие] / Р. Ангал ; пер. с англ. А. Д. Калашникова. – Долгопрудный : Интеллект, 2013. - 343 с.
5. Медведева, М. Л. Коррозия и защита оборудования при переработке нефти и газа : учеб. пособие для вузов для под-гот. дипломир. специалистов спец. 130602 «Оборудование нефтегазопереработки» направления 130600 «Оборудование и агрегаты нефтегазового производства» рек. УМО РФ / М. Л. Медведева, РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. – М. : Нефть и газ, 2005. – 311.
6. Вигдорович, В. И. Ингибирирование сероводородной и углекислотной коррозии металлов. Универсализм ингибиторов / В. И. Вигдорович, Л. Е. Цыганкова, КАРТЭК. – М. : КАРТЭК, 2011. – 242 с.
7. Иофа З. А. О механизме стимулирующего действия сероводорода и ингибиторов на коррозию железа в кислых растворах. Защита металлов. –1980. –Т.16. – №3. – С.295-300.
8. Иванов Е.С. Ингибиторы коррозии металлов в кислых средах. – М.: Металлургия. – 1986. – С.175.
9. Иофа З. А., Никифорова Ю. А., Батраков В. В. О влиянии состояния поверхности металла на адсорбцию и действие ингибиторов коррозии железа: Труды Международного конгресса по коррозии металлов. – М, 1968. –Т.2. – С.38-46.
10. Виноградов С.Н., Мальцева Г.Н., Перелыгин Ю.П. Изучение кинетики электродных процессов: метод. пособие. – Пенза: Изд-во Пензенского гос. тех. ун-та, 1994 г. – 24 с.

*Учебное издание*

Трефилова Татьяна Валериевна

**КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ**

Лабораторный практикум

*Компьютерная верстка: В.В. Данилова  
Авторская редакция*

Подписано в печать 29.12.2025. Формат 60x84<sup>1</sup>/16.

Усл. печ. л. 3,02. Уч. изд. л. 2,9.

Тираж 38 экз. Заказ № 65.

Издательский центр «Удмуртский университет»  
426034, г. Ижевск, ул. Ломоносова, 4Б, каб. 021  
Тел. : + 7 (3412) 916-364, E-mail: [editorial@udsu.ru](mailto:editorial@udsu.ru)

Типография Издательского центра «Удмуртский университет»  
426034, г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 2.  
Тел. 68-57-18