

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.07 ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело

Профиль подготовки (специализация) 21.04.01.01 Трубопроводный инжиниринг

Форма обучения очная

Год набора 2024

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Программу составили

Зав. кафедрой, канд. техн. наук Сокольников Александр Николаевич

1 Цели и задачи изучения дисциплины

1.1 Цель преподавания дисциплины:

Целью преподавания дисциплины «Защита от коррозии объектов трубопроводных систем» является изучение основ коррозионных процессов, методов и средств защиты от коррозии объектов трубопроводных систем.

1.2 Задачи изучения дисциплины:

Задачами изучения дисциплины «Защита от коррозии объектов трубопроводных систем» являются изучение термодинамики и кинетики электрохимических процессов, предотвращение и уменьшение коррозии путем выбора материалов, ингибирования, изоляционных покрытий и применения электрохимических способов защиты от коррозии на объектах трубопроводных систем.

1.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы высшего образования:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине
ПК-5 Способен анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли	
ПК-5.1 Анализирует и определяет преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования	знать преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования уметь проводить анализ условий работы технологического оборудования при транспортировке агрессивных сред
ПК-5.2 Определяет на профессиональном уровне особенности работы различных типов технологических установок, применяемых в нефтегазовой отрасли	знать особенности работы различных типов технологических установок в коррозионно-активных средах уметь проводить расчеты электрохимической защиты трубопроводов и оборудования
ПК-5.3 Интерпретирует данные работы оборудования, технических устройств в нефтегазовой отрасли	знать параметры работы установок электрохимической защиты, контролируемые в процессе эксплуатации уметь проводить коррозионные измерения на объектах трубопроводного транспорта владеть навыками анализа данных работы установок электрохимической защиты

1.4 Особенности реализации дисциплины.

URL-адрес и название электронного обучающего курса

<https://e.sfu-kras.ru/course/view.php?id=38087>

Дисциплина реализуется с применением ЭО и ДОТ

2 Объем дисциплины (модуля)

Вид учебной работы	Всего, зачетных единиц (акад.час)	Семестр
		2
Общая трудоемкость дисциплины	3 (108)	3 (108)
Контактная работа с преподавателем:	0,8 (28)	0,8 (28)
занятия лекционного типа	0,3 (12)	0,3 (12)
практические занятия	0,2 (8)	0,2 (8)
лабораторные работы	0,2 (8)	0,2 (8)
Самостоятельная работа обучающихся	1,2 (44)	1,2 (44)
Вид промежуточной аттестации (Экзамен)	36	Экзамен

3 Содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Вид работ	Темы занятия	Объем часов	Семестр /курс	Часы в эл. формате
Раздел 1. Осложнения, вызванные коррозионными разрушениями, механизмы коррозионного разрушения					
1.	Лек	Классификация коррозионных процессов	1	2	1
2.	Лек	Основные механизмы коррозионного разрушения	1	2	1
3.	Лек	Факторы, влияющие на интенсивность коррозионного разрушения	1	2	1
4.	Ср	Изучение теоретического материала	14	2	14
Раздел 2. Методы повышения эксплуатационной надежности промышленных трубопроводов и промышленного оборудования					
1.	Лек	Методы повышения эксплуатационной надежности промышленных трубопроводов и промышленного оборудования	1	2	1
2.	Лек	Катодная защита	2	2	2
3.	Лек	Оборудование станций катодной защиты	1	2	1
4.	Лек	Протекторная защита	1	2	1
5.	Лек	Защита от блуждающих токов	2	2	2
6.	Лек	Коррозионный менеджмент	2	2	2
7.	Пр	Расчет катодной защиты трубопровода	4	2	4
8.	Пр	Расчет протекторной защиты трубопроводов	4	2	4
9.	Лаб	Электрохимическая защита металлов от коррозии. Катодная защита	4	2	
10.	Лаб	Электрохимическая защита металлов от коррозии. Протекторная защита	4	2	
11.	Ср	Изучение теоретического материала	30	2	30
12.	Экзам ен		36	2	

4 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1 Печатные и электронные издания:

1. Хохлачева Н.М., Ряховская Е.В. Коррозия металлов и средства защиты от коррозии: Учебное пособие. - Москва: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2018. - 118 с..

2. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии [Электронный ресурс]: Учебное пособие. - Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2010. - 416 с. – Режим доступа: <https://znanium.com/catalog/document?id=274212> .

3. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов [Электронный ресурс]: Учеб. пособие для вузов. - Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2002. - 655 с – Режим доступа: <http://lib3.sfu-kras.ru/ft/lib2/elib/u62/i-255061.pdf> .

4. Федерал. агент. по техн. регулированию и метрологии Единая система защиты от коррозии и старения. Методы коррозионных испытаний. Общие требования. ГОСТ Р 9.905-2007 (ИСО 7384:2001, ИСО 11845:1995): введен впервые. - Москва: Стандартинформ, 2007. - 18 с..

5. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии: учебное пособие.: рекомендовано МО РФ. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 336 с..

4.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства (программное обеспечение, на которое университет имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение):

1. Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian. Офисный пакет Microsoft Office.

2. КОМПАС-3D V9. Инженерное программное обеспечение для проектирования компании Аскон. Система трехмерного твердотельного моделирования.

4.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Электронная правовая система "КонсультантПлюс". <https://www.consultant.ru>

Электронная правовая система "КонсультантПлюс"

2. Электронная библиотека РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина <http://elib.gubkin.ru/>

5 Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств является приложением к рабочей программе дисциплины (модуля), хранится на кафедре, обеспечивающей преподавание данной дисциплины (модуля).

6 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Для организации образовательного процесса необходима следующая материально-техническая база:

- 1) учебные аудитории для проведения учебных занятий по дисциплине, оснащенные специализированной мебелью и демонстрационным оборудованием: проектором, ноутбуком;
- 2) помещение для самостоятельной работы, оснащенное специализированной мебелью и 12 компьютерами с подключением к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду Университета;
- 3) лаборатория с вытяжной вентиляцией, холодным и горячим водоснабжением, оснащенная химическим оборудованием для проведения лабораторных работ; лабораторная установка «Электрохимическая защита от коррозии»).

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю) Б1.В.07 Защита от коррозии объектов
трубопроводных систем

Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело

Направленность (профиль) 21.04.01.01 Трубопроводный инжиниринг

1 Перечень компетенций с указанием индикаторов их достижения, соотнесенных с результатами обучения по дисциплине (модулю), практики и оценочными средствами

Семестр	Код и содержание индикатора компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства
ПК-5 Способен анализировать и обобщать данные о работе технологического оборудования, осуществлять контроль, техническое сопровождение и управление технологическими процессами в нефтегазовой отрасли			
2	ПК-5.1 Анализирует и определяет преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования	Знать преимущества и недостатки применяемого технологического оборудования	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену
		Уметь проводить анализ условий работы технологического оборудования при транспортировке агрессивных сред	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену
2	ПК-5.2 Определяет на профессиональном уровне особенности работы различных типов технологических установок, применяемых в нефтегазовой отрасли	Знать особенности работы различных типов технологических установок в коррозионно-активных средах	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену
		Уметь проводить расчеты электрохимической защиты трубопроводов и оборудования	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену
2	ПК-5.3 Интерпретирует данные работы оборудования, технических устройств в нефтегазовой отрасли	Знать параметры работы установок электрохимической защиты, контролируемые в процессе эксплуатации	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену
		Уметь проводить коррозионные измерения на объектах трубопроводного транспорта	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену
		Владеть навыками анализа данных работы установок электрохимической защиты	Расчетные задания. Лабораторные работы. Вопросы к экзамену

2 Типовые оценочные средства или иные материалы, с описанием шкал оценивания и методическими материалами, определяющими процедуру проведения и оценивания достижения результатов обучения

Расчетные задания

В данной дисциплине реализуются задачи (задания) репродуктивного уровня.

Задание 1. Расчет катодной защиты трубопровода

Определить параметры катодной защиты межпромыслового трубопровода диаметром D , м, с толщиной стенки δ , мм, длиной защитной зоны L_3 , км (табл. 1). Трубопровод проложен на местности с удельным электросопротивлением ρ_{ep} , Ом·м (табл. 3). Анодное заземление проектируется выполнить из вертикальных электродов (табл. 2), расположенных на глубине $h=2$ м до середины электрода, удельное электрическое сопротивление земли в месте расположения анодного заземления ρ_{ca} (табл. 2), удельное электрическое сопротивление грунта в поле токов катодной защиты ρ_3 (табл. 1), дренажную линию - воздушной с подвеской из алюминиевого провода. Естественный потенциал трубопровода $U_e = -0,55$ В. Начальное сопротивление изоляции трубопровода $R_{из}$, Ом·м² (табл. 2). Срок службы проектируемой катодной защиты $\tau_{нс} = 15$ лет.

Таблица 1 – Варианты заданий

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Параметры для расчета	D	0,53	0,63	0,72	0,82	1,02	1,22	0,72	0,82	1,02	1,22
	δ	7	8	9	10	11	12	11	12	13	15
	$L_{общ}$	20000	25000	30000	35000	40000	45000	50000	55000	60000	65000
	ρ_3	20	25	30	35	45	50	55	65	70	75

Таблица 2 – Параметры для расчета

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Параметры для расчета	ρ_{ca}	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
	$R_{из}$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$
	Марка электрода	АК423М	«Менделеевец-S»	«Менделеевец 1М»	«Менделеевец ММ»	А3М-3	ЭГТ	АК423М	«Менделеевец 1М»	ЭГТ	А3М-3

Таблица 3 – Распределение грунтов различного электросопротивления на трассе трубопровода

№ варианта	Распределение грунтов различного электросопротивления на трассе трубопровода						
1	Доля длины трубопровода $L/L_{общ}$	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2	0,1
	Удельное электросопротивление, Ом·м	180	170	120	100	50	10

2	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,1	0,2	0,2	0,1	0,3	0,1
	Удельное электросопротивление, Ом/м	160	150	130	70	40	20
3	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
	Удельное электросопротивление, Ом/м	10	30	40	50	60	90
4	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,4	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
	Удельное электросопротивление, Ом/м	20	40	60	80	110	140
5	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
	Удельное электросопротивление, Ом/м	150	140	130	110	100	70
6	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	0,1
	Удельное электросопротивление, Ом/м	140	120	100	70	40	20
7	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1
	Удельное электросопротивление, Ом/м	130	100	90	80	70	60
8	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,4
	Удельное электросопротивление, Ом/м	120	70	60	50	40	10
9	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
	Удельное электросопротивление, Ом/м	110	90	60	50	30	20
10	Доля длины трубопровода $L/L_{\text{общ}}$	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2
	Удельное электросопротивление, Ом/м	20	30	40	60	70	80

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Основные этапы проектирования и расчета установок катодной защиты (УКЗ):

- расчет электрических параметров трубопровода (переходного и продольного сопротивления, входного (характеристического) сопротивления на начальный и конечный период эксплуатации проектируемых средств ЭХЗ;
- определение величины минимального и максимального защитных потенциалов в зависимости от условий прокладки и эксплуатации трубопровода;
- предварительный расчет силы защитного тока и длины защитной зоны на конечный период эксплуатации УКЗ;
- выбор месторасположения УКЗ;
- определение типа, месторасположения и параметров анодного заземления.
- расчет параметров УКЗ.

Исходные данные

Исходными данными для расчета катодной защиты строящихся трубопроводов являются:

Конструктивные данные трубопровода:

- диаметр трубопровода;
- толщина стенки трубопровода;
- класс прочности труб и марка стали, удельное электрическое сопротивление;
- глубина залегания (до оси) трубопровода;
- тип и конструкция изоляционного покрытия трубопровода;
- сопротивление изоляционного покрытия и коэффициент изменения этого сопротивления во времени.

Характеристика коррозионных условий:

- удельное электрическое сопротивление грунтов на глубине прокладки трубопровода;
- количество водорастворимых солей в грунте;
- уровень грунтовых вод;
- наличие и характеристика блуждающих токов от источников постоянного и переменного тока;
- возможность биологической коррозии.

Удельное электрическое сопротивление грунтов в местах расположения проектируемых АЗ:

- удельное электрическое сопротивление грунта на глубине укладки АЗ (ниже глубины сезонного промерзания грунта);
- удельное электрическое сопротивление грунтов на глубину до 150 м (для глубинных АЗ);
- местоположение и сопротивление заземляющих устройств.

Рабочая температура перекачиваемой нефти.

Климатические данные: максимальная и минимальная температуры воздуха.

Наличие и характеристика источников электроснабжения вдоль трассы трубопровода.

Координаты узлов запорной и регуливающей арматуры и параметры защитного заземления (при их наличии).

Данные об особенностях трубопровода:

- подводные переходы;
- переходы через автомобильные и железные дороги;
- месторасположение нефтеперекачивающих и компрессорных станций;
- камеры приема-пуска средств очистки и диагностики;
- координаты пересечения кабельных и воздушных линий электроснабжения (220 кВ и более), участков параллельного следования на расстоянии до 500 м от трубопровода до этих линий;
- пересечения с подземными металлическими сооружениями и участки параллельного следования.

Переходное сопротивление трубопровода и сопротивление изоляции, а также скорость изменения его во времени должны быть определены по данным измерений защитных потенциалов вдоль трубопровода и защитного тока УКЗ за не менее чем пятилетний период эксплуатации, предшествующий комплексному обследованию.

Расчет электрических параметров трубопроводов

Продольное сопротивление трубопровода R_m , Ом/м, рассчитывают по формуле:

$$R_m = \frac{\rho_m}{\pi \cdot \delta(D - \delta)}, \quad (1)$$

где ρ_m – удельное сопротивление материала трубы, Ом·мм²/м (принимается равным 0,245 Ом·мм²/м);

D_m – диаметр трубопровода, мм;

δ_m – толщина стенки трубопровода, мм.

Сопротивление окружающего трубу грунта R_p , Ом·м (сопротивление растеканию трубопровода) определяют по следующему выражению:

$$R_p = \frac{\rho_{z.cp}}{2\pi} \ln \frac{0,4\pi \cdot R_p}{D_m \cdot H_m \cdot R_m}, \quad (2)$$

где H_m – глубина залегания (до оси) трубопровода, м;

$\rho_{z.cp}$ – среднее удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м, вычисляемое по формуле:

$$\rho_{z.cp} = \sum_{i=1}^n \rho_{z.cpi} \frac{L_i}{L}, \quad (3)$$

где $\rho_{z.cpi}$ – удельное электросопротивление грунта на участке длиной L_i ;

$\frac{L_i}{L}$ – доля участка длиной L_i в общей протяженности трубопровода L .

Выражение (2.2) является трансцендентным и решается методом итераций. На первой итерации в правую часть уравнения подставляем $R_p = 100$ Ом·м и рассчитываем R_p в левой части. Полученное значение R_p подставляем опять в правую часть. Для удовлетворительной точности расчета (5 %) достаточно 2...3 итераций.

Сопротивление изоляции трубопровода на срок эксплуатации $\tau_{нс}$, год, рассчитывается по следующей зависимости:

$$R_{уз}(\tau_{нс}) = R_{уз} \cdot e^{-\gamma \cdot \tau_{нс}}, \quad (4)$$

где $R_{уз}$ – начальное сопротивление изоляции трубопровода, Ом·м² (табл. 2.1);

γ – показатель скорости старения, 1/год (табл. 4);

$\tau_{нс}$ – срок службы проектируемой станции катодной защиты;

Таблица 4

Значения сопротивления и коэффициента изменения сопротивления изоляции во времени (γ) на законченных строительством или реконструкцией участках трубопровода

Тип покрытия	Сопротивление изоляции Ом·м ² , не менее	Коэффициент, γ , 1/год
Трех-, двухслойное полимерное покрытие на основе терморезистивных смол и полиолефина; покрытие на основе термоусаживающихся материалов	$3 \cdot 10^5$	0,055
Все остальные покрытия усиленного типа кроме мастичных и полимерно-битумных	$1 \cdot 10^5$	0,08
Мастичные, полимерно-битумные покрытия	$5 \cdot 10^4$	0,11

Тип покрытия	Сопротивление изоляции Ом·м ² , не менее	Коэффициент, γ, 1/год
Трех-, двухслойное полимерное покрытие на основе терморезистивных смол и полиолефина; покрытие на основе термоусаживающихся материалов	3·10 ⁵	0,055
Все остальные покрытия усиленного типа кроме мастичных и полимерно-битумных	1·10 ⁵	0,08
усиленного типа и все покрытия нормального типа		

Постоянная распространения тока, α , 1/м, на начальный и конечный периоды эксплуатации вдоль трубопровода:

– при удельном электрическом сопротивлении грунта менее 50 Ом·м определяют по формуле:

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{\pi \cdot D_m \cdot R_m}{R_{uz}}}, \quad \alpha_k = \sqrt{\frac{\pi \cdot D_m \cdot R_m}{R_{uz}(\tau_{nc})}}, \quad (5)$$

– при удельном электрическом сопротивлении грунта более 50 Ом·м:

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{R_m}{\frac{R_{uz}}{\pi \cdot D_m} + R_p}}, \quad \alpha_k = \sqrt{\frac{R_m}{\frac{R_{uz}(\tau_{nc})}{\pi \cdot D_m} + R_p}}, \quad (6)$$

Входное сопротивление трубопровода на начальный период эксплуатации $z_{m,n}$, Ом, определяют по формуле:

$$z_{m,n} = 0,5 \sqrt{R_m \cdot R_{n,n}} \cdot \operatorname{cth}(0,5\alpha_n \cdot L), \quad (7)$$

где L – длина трубопровода, м;

cth – гиперболический котангенс;

$R_{n,n}$ – переходное сопротивление на единицу длины трубопровода на начальный период эксплуатации, Ом·м.

Переходное сопротивление на единицу длины трубопровода на начальный период эксплуатации определяется по формуле:

$$R_{n,n} = \frac{R_{uz}}{\pi \cdot D_m} + R_p. \quad (8)$$

Входное сопротивление трубопровода на конечный период эксплуатации $z_{m,k}$, Ом, определяют по формуле:

$$z_{m,k} = 0,5 \sqrt{R_m \cdot R_{n,k}} \cdot \operatorname{cth}(0,5\alpha_k \cdot L), \quad (9)$$

где L – длина трубопровода, м;

cth – гиперболический котангенс;

$R_{n,k}$ – переходное сопротивление на единицу длины трубопровода на начальный период эксплуатации, Ом·м.

Переходное сопротивление на единицу длины трубопровода на конечный период эксплуатации определяется по формуле:

$$R_{n.к} = \frac{R_{уз}(\tau_{нс})}{\pi \cdot D_m} + R_p. \quad (10)$$

Если точка дренажа разделяет трубопровод на плечи с различными электрическими параметрами, то входное сопротивление правого (z_{np} , Ом) и левого ($z_{лев}$, Ом) плеч трубопровода будут соответственно равны:

$$z_{np} = \sqrt{R_{m(np)} \cdot R_{n(np)} \cdot \text{cth}(\alpha \cdot L_{np})}, \quad (11)$$

$$z_{лев} = \sqrt{R_{m(лев)} \cdot R_{n(лев)} \cdot \text{cth}(\alpha \cdot L_{лев})}, \quad (12)$$

где $R_{m(np)}$ и $R_{m(лев)}$ – продольное сопротивление соответственно правого и левого плеч трубопровода, Ом/м;

$R_{n(np)}$ и $R_{n(лев)}$ – переходное сопротивление на единицу длины трубопровода, соответственно правого и левого плеч трубопровода, Ом·м;

L_{np} и $L_{лев}$ – длина соответственно правого и левого плеч трубопровода, м.

Входное сопротивление трубопровода z_m , Ом, в этом случае определяется выражением:

$$z_m = \frac{z_{np} \cdot z_{лев}}{z_{np} + z_{лев}}. \quad (13)$$

Входное сопротивление трубопровода с различными электрическими параметрами также определяется на начальный и конечный периоды эксплуатации.

Расчет установок катодной защиты с подпочвенными и глубинными анодными заземлениями

Длину защитной зоны L_3 , м, одной установки катодной защиты на конечный период эксплуатации находим по формуле:

$$L_3 = \frac{2}{\alpha_k} \ln \frac{2\pi \cdot z_{m.к} \cdot y}{0,5(U_e - U_{защ.мин}) \left(2\pi \cdot z_{m.к} \cdot y + \rho_{г.ср} \right) - \frac{4\rho_3 \cdot y}{L_3}}, \quad (14)$$

где $U_{защ.мин}$ – минимальный защитный потенциал, В;

$U_{защ.мак}$ – максимальный защитный потенциал, В;

y – расстояние между трубопроводом и анодным заземлением, м;

ρ_3 – удельное электрическое сопротивление земли в поле токов катодной защиты, Ом·м;

U_e – естественный потенциал трубопровода, В. Многочисленными сравнениями установлено, что величина естественного потенциала подземных металлических сооружений колеблется в интервале от – 0,23 до – 0,72 В, причем практический диапазон изменения U_e составляет от – 0,45 до – 0,60 В. Поэтому, если не имеется точных данных изысканий, принимаем принято считать $U_e = -0,55$ В (по МСЭ).

Уравнение (14) решают методом последовательного приближения.

Начальное значение определяют без учета члена $\frac{4\rho_3 \cdot y}{L_3}$.

Расстояние между трубопроводом и анодным заземлением (кроме протяженного) y , м, определяем по формуле:

$$y = \frac{P}{z_{m.k}}, \quad (15)$$

где P – коэффициент, определяемый по формуле:

$$P = \exp\left(\frac{0,056 + 0,26\rho_3 + 0,0014\rho_3^2}{1 + 0,11\rho_3 + 0,00039\rho_3^2}\right), \quad (16)$$

где ρ_3 – удельное сопротивление земли в поле токов катодной защиты, Ом·м;

$z_{m.k}$ – входное сопротивление трубопровода, Ом, определенное на конечный период эксплуатации данной УКЗ;

Силу тока катодной установки определяют на начальный и конечный периоды эксплуатации из выражений:

– на начальный период $I_{з.н}$, А,

$$I_{з.н} = \frac{1,3(U_e - U_{защ.мах})}{z_{m.н} + \frac{\rho_3}{2\pi \cdot y}}, \quad (17)$$

– на конечный период $I_{з.к}$, А,

$$I_{з.к} = \frac{1,3(U_e - U_{защ.мах})}{z_{m.к} + \frac{\rho_3}{2\pi \cdot y}}, \quad (18)$$

Напряжение на выходе катодного преобразователя, V , В, вычисляют по формуле:

$$V = 1,3I_{з.к}(z_{m.к} + R_a + R_{np}), \quad (19)$$

где R_a – переходное сопротивление анодного заземления, Ом;

R_{np} – сопротивление дренажных проводов, соединяющих катодную станцию с трубопроводом и анодным заземлением, Ом.

Сопротивление дренажных проводов R_{np} , Ом, определяем по следующей формуле:

$$R_{np} = \rho_{np} \frac{y + y_c}{S}, \quad (20)$$

где y_c – длина спусков провода с опор к катодной станции, анодному заземлению и трубопроводу, м (ориентировочно $y_c = 10$ м);

S – сечение провода дренажной линии, мм² (табл. 5);

ρ_{np} – удельное электрическое сопротивление провода, Ом·мм²/м (для алюминия $\rho_{np} = 0,029$ Ом·мм²/м).

Таблица 5

Характеристика проводов линии электропередачи

Марка проводов	Число и диаметр проводов, мм	Фактическое сечение, мм ²
Медные провода		
М-4	1×2,2	3,8
М-6	1×2,7	5,72
М-10	1×3,5	9,6
М-16	1×1,7	15,09
М-25	7×2,1	24,25
М-35	7×2,5	34,36
М-50	7×3,0	49,48
М-60	12×2,5	59,0
М-70	19×2,12	67,0
Алюминиевые провода		
А-16	7×1,70	15,89
А-25	7×2,10	24,25
А-35	7×2,50	34,36
А-50	7×3,00	49,48
А-70	7×3,54	68,90
А-95	7×4,15	94,90
А-120	19×2,80	117,0
Стальные одножильные провода		
Ж-4	1×4	12,5
Ж-5	1×5	19,6
Ж-6	1×6	28,3
Стальные многожильные провода		
ПС-25	5×2,5	24,6
ПС-35	7×2,6	37,2
ПС-50	12×2,3	49,5
ПС-70	19×2,3	78,8
ПС-95	37×1,8	94,0

Мощность на выходе катодного преобразователя, W , Вт, определяют по формуле:

$$W = I_{з.к} \cdot V, \quad (21)$$

Выбор средств катодной защиты производится в соответствии с результатами расчета защитного тока и напряжения на выходе. При этом необходимо увеличить ток и напряжение на 30 %. При прокладке трубопровода в грунтах высокой коррозионной агрессивности необходимо дополнительно увеличить силу защитного тока и напряжение на выходе катодного преобразователя на 50 % для обеспечения резервирования катодных установок. В соответствии с расчетными значениями защитного тока и напряжения выбирают тип катодного преобразователя.

Расчет подпочвенных анодных заземлений сводится к определению сопротивления растеканию и срока службы.

Подпочвенное анодное заземление:

– сопротивление растеканию заземлителя, $R_{з1}$, Ом, при вертикальном расположении:

$$R_{з1} = \frac{\rho_{за}}{2\pi \cdot l_a} \left[\ln \frac{2l_a}{d_a} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l_a}{4h-l_a} \right], \quad (22)$$

где l_a – длина электрода заземлителя, м;

d_a – диаметр электрода заземлителя, м;

h – глубина (до середины заземлителя) заложения электрода, м.

– сопротивление растеканию заземлителя, $R_{з1}$, Ом, при горизонтальном расположении и при $l_a \geq h$:

$$R_{з1} = \frac{\rho_{за}}{2\pi \cdot l_a} \left[\ln \frac{2l_a}{d_a} + \ln \frac{l_a + \sqrt{l_a^2 + 16h^2}}{4h} \right], \quad (23)$$

где h – глубина заложения электрода, м.

– сопротивление растеканию заземлителя $R_{з1}$, Ом, при горизонтальном расположении и при $l_a < h$:

$$R_{з1} = \frac{\rho_{за}}{2\pi \cdot l_a} \ln \frac{2l_a}{d_a}, \quad (24)$$

Срок службы, T , год, подпочвенных анодных заземлений, соединенных параллельно, для горизонтального и вертикального расположения электродов рассчитывают по формуле:

$$T = \frac{M \cdot k \cdot N_{аз}}{q \cdot I_{з.ср}}, \quad (25)$$

где M – масса анодного заземлителя, кг;

k – коэффициент запаса ($k = 0,8$);

q – электрохимический эквивалент материала анода, кг/А·год (табл. 6);

$N_{аз}$ – число заземлителей;

$I_{з.ср}$ – средний ток защиты катодной станции за период эксплуатации, А, равный:

$$I_{з.ср} = \frac{I_{з.н} + 3I_{з.к}}{4}, \quad (26)$$

Таблица 6

Скорость растворения анодного материала

Материал анода	Скорость растворения, кг/А год
Высококремнистый чугун	0,3
Графитопласт	0,6
Графитонаполненный эластопласт (гибкие протяженные аноды)	0,6
Магнетит	0,03
Окислы металлов на титановой подложке	0,01

Срок службы подпочвенного и глубинного анодного заземления независимо от условий эксплуатации должен быть не менее 15 лет.

Сопротивление растеканию подпочвенного анодного заземления R_a ,

Ом, равно:

$$R_a = \frac{R_{з1}}{N_a \cdot \eta_э}, \quad (27)$$

где $\eta_э$ – коэффициент экранирования, рассчитываемый по формуле:

$$\eta_э = b + \frac{f}{N_a} + c \cdot \ln \frac{a}{l_a}, \quad (28)$$

где b, c, f – эмпирические коэффициенты (табл. 7);

a – расстояние между электродами, м.

Таблица 7

Коэффициенты для расчета эффекта экранирования

Параметры анодного заземлителя	b	c	f
Вертикальный в коксовой засыпке ($l_a = 1,4$ м; $d_a = 0,185$ м; $h = 1,7$ м)	0,41	0,17	0,83
Горизонтальный в коксовой засыпке ($l_a = 1,4$ м; $d_a = 0,185$ м; $h = 1,7$ м)	0,49	0,15	0,71
Вертикальный ($l_a = 3,0$ м; $d_a = 0,1$ м; $h = 1,5$ м)	0,41	0,19	0,76
Горизонтальный ($l_a = 3,0$ м; $d_a = 0,1$ м; $h_a = 1,5$ м)	0,36	0,18	0,80

Или определяется по графику:

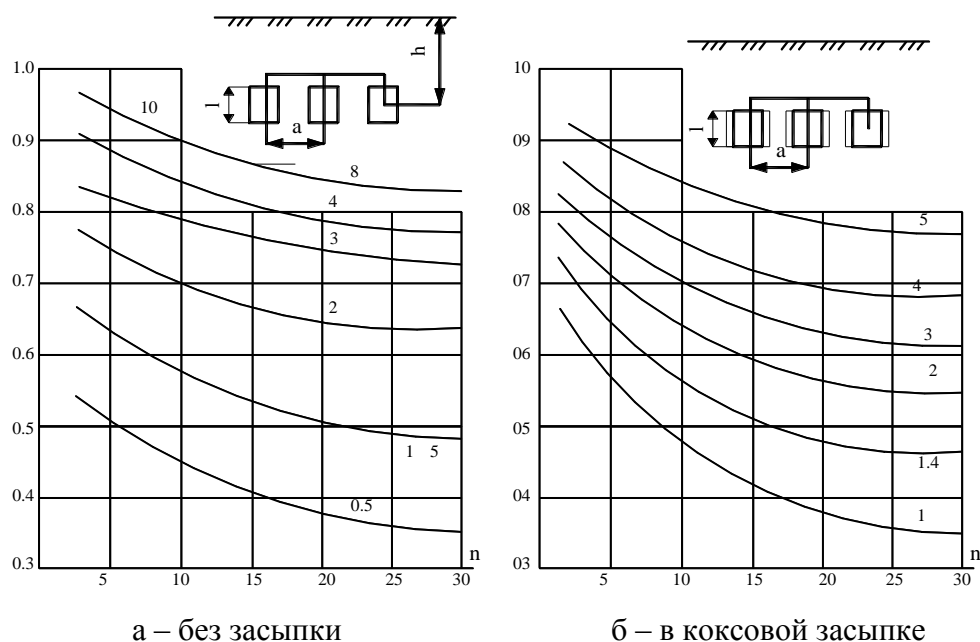


Рис. 1. Зависимость коэффициента экранирования вертикальных электродов от числа при различных отношениях

Задание 2. Расчет протекторной защиты трубопровода

Определить параметры протекторной защиты межпромыслового трубопровода диаметром D_m , мм (табл. 8), уложенному в грунт с удельным сопротивлением $\rho_{2.ср}$, Ом·м (табл. 8). Длина участка трубопровода, которую необходимо защитить L_3 (табл. 9). Начальное сопротивление изоляции трубопровода $R_{из}$, Ом·м² (табл. 9). Стационарный потенциал протектора U_n =

–1,60 В, естественный потенциал трубопровода $U_e = -0,55$ В, минимальный защитный потенциал $U_{защ.мин} = -0,85$ В. Срок службы проектируемой катодной защиты $\tau_{нс} = 15$ лет.

Таблица 8 – Удельным сопротивлением грунта

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Параметры для расчета	D_m	530	630	720	820	1020	159	325	377	426	273
	$\rho_{сп}$	10	20	30	40	50	10	30	40	50	20

Таблица 9 – Начальное сопротивление изоляции трубопровода

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Параметры для расчета	L_3	2000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	12000	15000
	$R_{из}$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^4$

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Исходные данные

Исходными данными для проектирования строящихся объектов являются:

- конструктивные данные трубопровода;
- характеристика коррозионных условий).

Исходными данными для проектирования эксплуатируемых объектов являются:

- защитный потенциал;
- переходное сопротивление кожуха;
- сопротивление цепи между кожухом и трубопроводом.

Расчет параметров протекторной защиты трубопроводов

Расчет протекторных установок заключается в определении:

- длины участка трубопровода, защищаемого протектором, м;
- силы тока в цепи протектор-труба, А;
- количества протекторов для защиты участка трубопровода требуемой длины, шт;
- срока службы протекторов, год.

Длина защитной зоны одного протектора определяется по формуле:

$$L_3 = \frac{(U_n - 1,15 \cdot U_e) \cdot R_{из}(\tau_{нс})}{3,6 \cdot D_m \cdot R_{пт}(U_{защ.мин} - U_e)}, \quad (29)$$

где U_n – стационарный потенциал протектора, В (определяется по таблице 10);

$U_{защ.мин}$ – минимальная защитная разность потенциалов труба-земля, В;

U_e – естественный потенциал трубопровода, В

$R_{пт}$ – сопротивление протектора, Ом;

D_m – диаметр трубопровода, м.

$R_{uz}(\tau_{nc})$ – сопротивление изоляции на конечный срок службы (по формуле 4).

Таблица 10

Электрохимические характеристики протекторов из сплава на основе магния

Наименование характеристик	Единица измерения	Величина
Стационарный потенциал по медно-сульфатному электроду сравнения	В	-1,6
Теоретическая токоотдача	А·ч/кг	2330
Коэффициент полезного действия: - для сплава МП1 - для сплава МП2	-	0,65 0,6
Удельное электрическое сопротивление активатора	Ом·м	1,6

Сила тока в цепи протектор-трубопровод I_n , А, определяется по формуле:

$$I_n = \frac{\pi \cdot D_m \cdot L_3 (U_n - U_e)}{\pi \cdot D_m \cdot R_{nm} \cdot L_3 + R_{uz}(\tau_{nc})}. \quad (30)$$

Сопротивление протектора при том условии, что $l_a \gg d_a/2$ и $4 \cdot h > l_a$, определяется по формуле:

$$R_{nm} = \frac{\rho_{z.cp}}{2\pi \cdot l_a} \left[\ln \frac{2l_a}{d_a} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h + l_a}{4h - l_a} + \frac{\rho_a}{\rho_{z.cp}} \ln \frac{d_a}{d_э} \right], \quad (31)$$

где $\rho_{z.cp}$, ρ_a – соответственно удельное электрическое сопротивление грунта и активатора, Ом·м;

l_a – длина комплектного протектора, м;

d_a – диаметр комплектного протектора, м;

$d_э$ – диаметр магниевых электродов, м;

h – глубина установки протектора (расстояние от поверхности земли до середины протектора), м.

Для расчета упакованных протекторов типа ПМ-5У, ПМ-10У, ПМ-20У можно пользоваться упрощенной формулой:

$$R_{nm} = A \cdot \rho_{z.cp} + B \quad (32)$$

где A и B – коэффициенты, зависящие от размеров протекторов.

В таблице 11 приведены значения коэффициентов A и B при установке протекторов на глубину до 2,5 м.

Таблица 11

Значения коэффициентов A и B

Тип протектора	Коэффициент A , м ⁻¹	Коэффициент B , Ом
ПМ-5У	0,57	0,24
ПМ-10У	0,47	0,18
ПМ-20У	0,41	0,15

Количество протекторов, необходимое для защиты участка трубопровода, определяют по формулам, указанным ниже:

– для протекторов, распределенных по защищаемому участку трубопровода

$$N_n = \frac{L}{L_3}, \quad (33)$$

где L – длина участка трубопровода, защищаемая протекторами;

– при групповой установке протекторов

$$N_n = \frac{L}{\eta_3 \cdot L_3}, \quad (34)$$

где η_3 – коэффициент экранирования, определяемый по формуле (для протекторов ПМ-5У, ПМ-10У, ПМ-20У)

Коэффициент экранирования для протекторов ПМ-5У, ПМ-10У, ПМ-20У определяется по формуле:

$$\eta_3 = 0,937 + 0,0651 \frac{a}{l_a} - \frac{0,229}{\sqrt[3]{\frac{a}{l_a} \cdot N}}, \quad (35)$$

где a – расстояние между протекторами, м;

l_a – длина протектора, м;

Срок службы протекторов T_n , год, вычисляют по формуле:

$$T_n = \frac{M_n \cdot q \cdot \eta_u \cdot \eta_n}{0,75 \cdot I_n \cdot 8760}, \quad (36)$$

где M_n – масса протектора, кг;

q – теоретическая токоотдача материала протектора, А·ч/кг;

I_n – сила тока в цепи протектор-трубопровод I_n , А;

η_u – коэффициент использования протектора ($\eta_u = 0,9$);

η_n – КПД протектора ($\eta_n = 0,6$).

Критерии оценивания

– оценка «отлично»: решение задачи правильное. Описание хода ее решения подробное, последовательное, грамотное, с теоретическими обоснованиями (в т.ч. из лекционного курса), с необходимыми схематическими изображениями объекта расчета и их пояснением. При защите задачи студент правильно и свободно владеет терминологией, может объяснить ход решения задачи, дает верные и четкие ответы на дополнительные вопросы.

– оценка «хорошо»: решение задачи правильное. Описание хода ее решения имеется, но недостаточно подробное и логичное, с единичными ошибками в деталях, некоторыми затруднениями в теоретическом обосновании (в т.ч. из лекционного материала), в схематических изображениях объекта расчета. При защите задачи студент владеет только

основной терминологией, может объяснить ход решения задачи, дает верные, но недостаточно четкие и полные ответы на дополнительные.

– оценка «удовлетворительно»: решение задачи правильное. Объяснение хода ее решения недостаточно полное, непоследовательное, с ошибками, слабым теоретическим обоснованием (в т.ч. лекционным материалом), со значительными затруднениями и ошибками в схематических изображениях объекта расчета. При защите задачи ответы на дополнительные вопросы недостаточно четкие, с ошибками в деталях.

– оценка «неудовлетворительно»: решение задачи неправильное. Объяснение хода ее решения дано неполное, непоследовательное, с грубыми ошибками, без теоретического обоснования (в т.ч. лекционным материалом), без умения схематических изображений объекта расчета, или с большим количеством ошибок. При защите задачи ответы на дополнительные вопросы неправильные или отсутствуют.

Лабораторные работы

Лабораторная работа №1. Электрохимическая защита металлов от коррозии. Катодная защита

Исследовать эффективность электрохимической защиты сталей от коррозии в электролитах в зависимости от плотности налагаемого постоянного электрического тока.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Приборы и материалы

Универсальная лабораторная установка МК-ЭХЗ-16, весы лабораторные ВК-150.1, хлорсеребряный электрод сравнения, стальные образцы, электроды из стали марки 08Х18Н10Т, лабораторные стаканы, наждачная бумага, обезжириватель, протирочная бумага или вата, электролит (1 %-ный раствор хлорида натрия), линейка, резинка карандашная (стирательная).

Краткие теоретические сведения

Катодная защита внешним током – это способ, при котором защищаемый металл присоединяют к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока (т.е. в качестве катода), а к положительному полюсу присоединяют дополнительный электрод, который является анодом. При таких условиях поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, её потенциал смещается в отрицательную сторону, что приводит к уменьшению или полному прекращению коррозионного разрушения. Анодный процесс при этом протекает на дополнительном электроде – аноде. Для полного прекращения электрохимической коррозии чистого металла его нужно катодно заполяризовать до значения обратимого потенциала $(E_{me})_{обр}$, а многокомпонентный сплав – до значения обратимого потенциала его наиболее отрицательной составляющей. Катодную защиту внешним током широко применяют как дополнительное (к изолирующему покрытию), а иногда и как самостоятельное средство защиты от коррозии подземных

металлических сооружений: трубопроводов, газопроводов, резервуаров, а также подводных поверхностей металлических конструкций в морской воде: обшивки судов, свай и др.

Анодная защита внешним током – это способ, при котором защищаемый металл присоединяют к положительному полюсу внешнего источника постоянного тока (т.е. в качестве анода), а к отрицательному полюсу присоединяют дополнительный электрод, который является катодом. При этом поверхность защищаемого металла поляризуется анодно, её потенциал смещается в положительную сторону, что обычно приводит к увеличению электрохимического растворения металла. Однако при достижении определенного значения потенциала может наступить пассивное состояние металла, что приводит к значительному снижению скорости электрохимической коррозии металла. Для длительного сохранения пассивного состояния требуется незначительная плотность анодного тока. На дополнительном электроде-катоде при этом протекает катодный процесс. При больших плотностях анодного тока возможно достижение значений потенциала, при которых наступает явление перепассивации (транспассивности), то есть растворение металла с переходом в раствор ионов высшей валентности, в результате чего образуются растворимые или неустойчивые соединения (железо и хром образуют ионы FeO_4^{2-} и CrO_4^{2-}), что приводит к нарушению пассивного состояния и увеличению скорости коррозии металла.

Эффективность электрохимической защиты металлов от коррозии характеризуют величиной защитного эффекта z (%) и коэффициентов защитного действия k_3 (г/А):

$$z = \frac{K_{m_0}^- - K_{m_1}^-}{K_{m_0}^-} \cdot 100, \quad (37)$$

где $K_{m_0}^-$ – отрицательный показатель изменения массы металла в электролите без применения электрохимической защиты, г/(м²·ч);

$K_{m_1}^-$ – отрицательный показатель изменения массы металла в том же электролите без применения электрохимической защиты, г/(м²·ч).

$$k_3 = \frac{\Delta m_0 - \Delta m_1}{i}, \quad (38)$$

где Δm_0 – удельная убыль массы металла в электролите без электрохимической защиты, г/м²;

Δm_1 – удельная убыль массы металла в том же электролите при применении электрохимической защиты, г/м²;

i – плотность тока, А/м².

Значение отрицательного показателя изменения массы рассчитывают по формуле:

$$K_m^- = \frac{m_1 - m_0}{S \cdot t}, \quad (39)$$

где m_0 и m_1 – масса металла до и после коррозии соответственно;

S – площадь рабочей поверхности;

t – продолжительность коррозионного процесса.

Экспериментальная часть

Изучение катодной защиты проводят на установке, схема которой представлена на рис. 2.

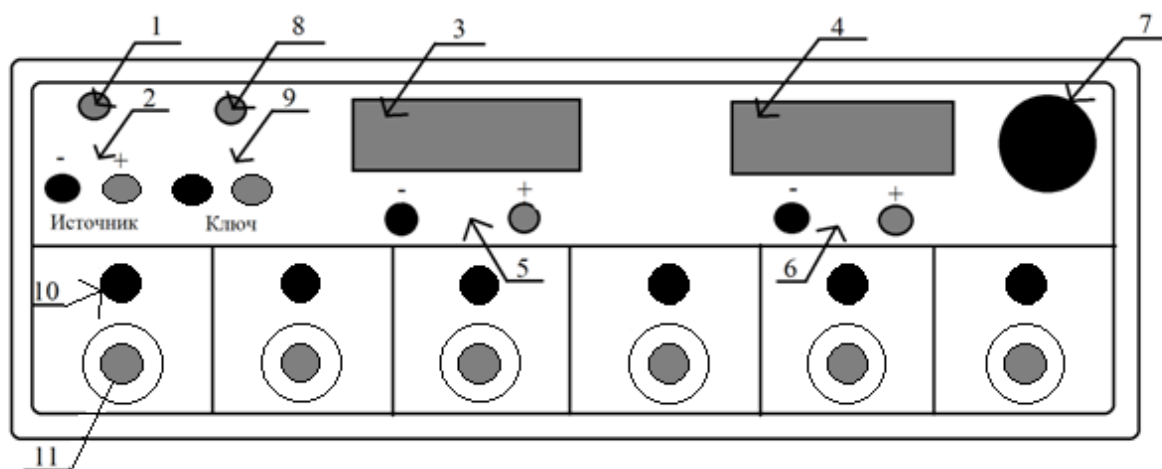


Рис. 2 Универсальная лабораторная установка МК-ЭХЗ-16:
1 – тумблер включения источника, 2 – разъемы источника питания,
3 – миллиамперметр, 4 – вольтметр, 5 – разъемы амперметра, 6 – разъемы
вольтметра, 7 – регулятор тока, 8 – тумблер ключа, 9 – разъемы ключа,
10 – крепление держателя, 11 – разъем держателя

Схема испытания приведена на рис. 3. Испытанию подвергают три образца листовой стали. Образцы зачищают наждачной бумагой, обезжиривают, протирая ватой или фильтровальной бумагой, смоченными органическим растворителем, и взвешивают на лабораторных весах. Результаты записывают в табл. 12. Затем образцы закрепляют в держателях. После этого закрепляют в держателях два дополнительных электрода из стали 08X18H10T. Исследуемые образцы присоединяют для катодной защиты к отрицательному полюсу внешнего источника постоянного тока. Наливают в стаканы до определенного уровня (соответствующего необходимым рабочим поверхностям образцов) электролит. Таким образом, один из электродов не будет защищен, а два других будут находиться под действием катодной защиты. Если использовать образцы разных геометрических размеров, то разное значение площади поверхности позволяет изучить зависимость эффективности защиты (относительно незащищенного образца) от плотности тока, протекающего через образец.

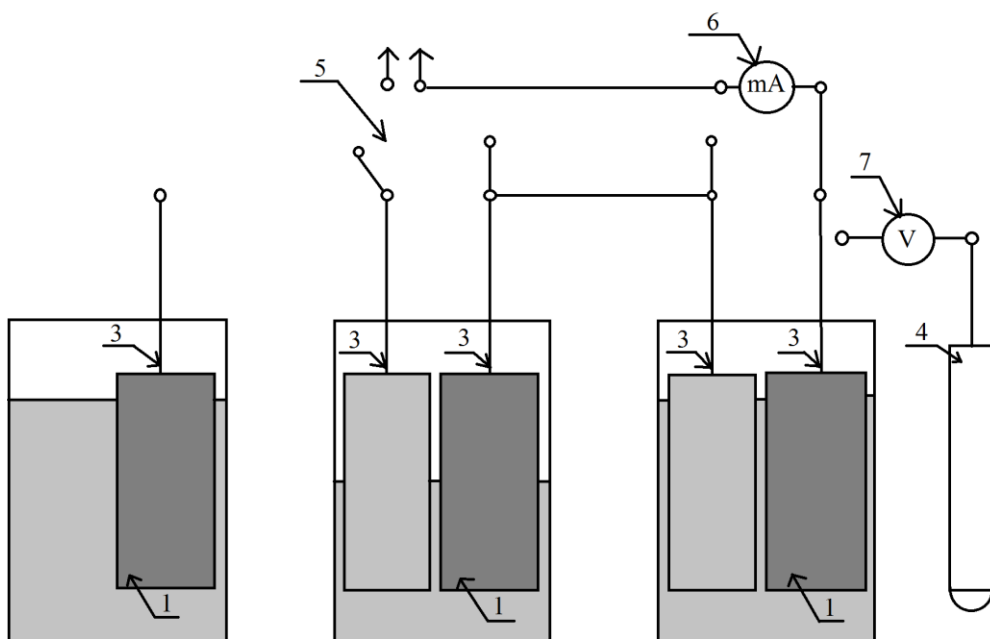


Рис. 3. Схема испытания:

1 – испытуемый образец, 2 – дополнительный электрод, 3 – держатель, 4 – хлорсеребряный электрод сравнения, 5 – тумблер включения источника питания, 6 – миллиамперметр, 7 – вольтметр

В качестве примера приведена монтажная схема (рис. 4) для выполнения лабораторной работы.

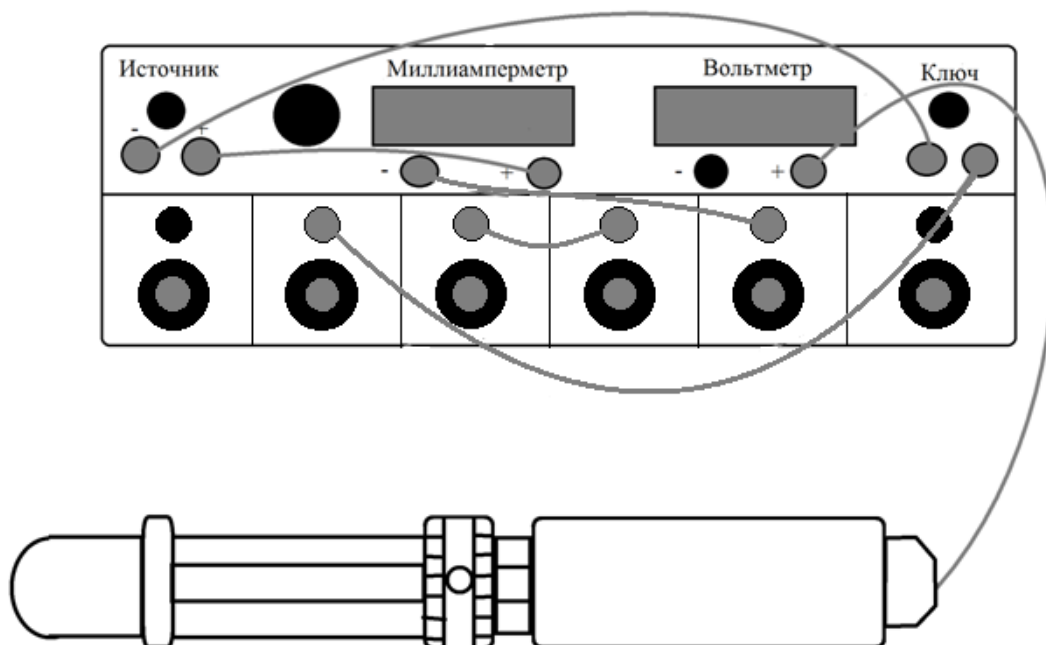


Рис. 4. Пример монтажной схемы

Включив тумблер источника (5), приводят в действие установку катодной защиты. Регулируя выходное напряжение источника постоянного тока регулятором источника, устанавливают силу тока в цепи, равной

приблизительно 2 мА для 1 % раствора хлорида натрия, и поддерживают её постоянной на протяжении всего опыта. Когда значение силы тока в цепи стабилизируется во времени, переносят от стакана к стакану электрод сравнения (4) и подключают минусовую клемму вольтметра к электродам измеряемых стальных образцов, замеряя установившийся потенциал каждого испытываемого стального образца. Результаты записывают в табл. 12.

Таблица 12

Результаты измерений

Измеряемый параметр	Номер образца		
	1	2	3
	без защиты	под действием защиты	
Рабочая поверхность, S , см ²			
Начальная масса, m_0 , г			
Плотность тока, i , А/м ²			
Потенциал по отношению к электроду сравнения, E , В			
Конечная масса, m_1 , г			
Удельная убыль массы, Δm , г/м ²			
Отрицательный показатель изменения массы, K_m^- , г/(м ² ·ч)			
Защитный эффект, z , %			
Коэффициент защитного действия k_3 , г/А			

По истечении 1...2 ч выключают тумблер источника (5), вынимают все закрепленные испытываемые образцы из электролита, измеряют масштабной линейкой размеры рабочих (соприкасавшихся с раствором) поверхностей испытываемых образцов, промывают все образцы водой и сушат, протирая фильтровальной бумагой. Растворы из стаканов выливают и споласкивают дополнительные электроды (2) и стаканы водой. Затем удаляют продукты коррозии с исследуемых образцов увлажненной мягкой (карандашной) резинкой, образцы промывают водой, тщательно протирают фильтровальной бумагой и взвешивают на лабораторных весах.

Результаты исследования записывают в табл. 12. Рассчитывают отрицательные показатели изменения массы металла по уравнению (39), защитный эффект z по уравнению (37) и коэффициент защитного действия k_3 по уравнению (38). На основании полученных опытных данных строят графики в координатах $V=f(i)$, $z=f(i)$, $k_3=f(i)$, где i – плотность тока, равная I/S .

На основании результатов делают вывод об оптимальной плотности тока, рекомендуемой для практических целей защиты исследуемой стали внешним током от коррозии в этом электролите.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип катодной защиты внешним током?
2. В чем заключается принцип анодной защиты внешним током?
3. Что такое защитный потенциал металла (сплава)?

4. Какой характеристикой раствора определяется величина защитного потенциала?

5. Что такое защитная плотность тока?

Лабораторная работа №2. Электрохимическая защита металлов от коррозии. Протекторная защита

Исследование эффективности протекторной защиты стали от коррозии в нейтральном электролите с помощью анодного протектора и расчет количественных показателей работы анодного протектора.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Приборы и материалы

Универсальная лабораторная установка МК-ЭХЗ-16, весы лабораторные ВК-150.1, хлорсеребряный электрод сравнения, стальные образцы, цинковые протекторы, лабораторные стаканы, наждачная бумага, обезжириватель, протирочная бумага или вата, электролит (1 % раствор хлорида натрия), линейка, резинка карандашная (стирательная).

Краткие теоретические сведения

Катодная протекторная защита металлических конструкций от электрохимической коррозии состоит в том, что к защищаемой конструкции присоединяется металл или сплав, который называется анодным протектором, имеющий в данной коррозионной среде потенциал, более отрицательный, чем материал защищаемого металла.

Механизм катодной защиты металлов от коррозии с помощью анодного протектора аналогичен механизму катодной защиты внешним током. Между защищаемым металлом и анодным протектором протекает электрический ток. За счет разницы электродных потенциалов металла и протектора поверхность защищаемого металла поляризуется катодно, её потенциал смещается в отрицательную сторону, что приводит к уменьшению или полному прекращению анодного процесса, то есть коррозионного разрушения. Анодный процесс при этом развивается на протекторе, который постепенно растворяется.

Для защиты стальных конструкций от коррозии в морской воде в качестве материала анодных протекторов чаще всего применяют чистый цинк или его сплавы с алюминием, а также сплавы на основе магния. При этом значительное влияние на радиус защитного действия протектора оказывает электропроводность электролита. Если при присоединении анодного электрода к металлу потенциал металла достигает значения его обратимого потенциала $(E_{Me})_{обр}$, то металл будет полностью защищен от коррозии.

Эффективность протекторной защиты металлов от коррозии характеризуют величиной защитного эффекта z и коэффициентом защитного действия k_3 , которые рассчитывают по формулам (37 и 38, приведенным в лабораторной работе № 1) соответственно.

Важными характеристиками материала анодных протекторов являются:

электродный потенциал, теоретический и практический выход тока и коэффициент полезного действия протектора.

Теоретический ($q_{\text{теор}}$) и практический ($q_{\text{прак}}$) выходы тока протектора рассчитывают по формулам:

$$q_{\text{теор}} = \frac{1}{C_{\text{теор}}}, \quad (40)$$

где $C_{\text{теор}}$ – электрохимический эквивалент металла (для железа и цинка $C_{\text{теор}}$ составляет 1,042 и 1,220 г/А·ч соответственно).

$$q_{\text{прак}} = \frac{1}{C_{\text{прак}}} = \frac{I \cdot \tau}{\Delta m_{\text{п}}}, \quad (41)$$

где $C_{\text{прак}}$ – практический электрохимический эквивалент металла протектора, г/А·ч;

I – средняя сила тока, даваемая протектором, А;

τ – время работы протектора, ч;

$\Delta m_{\text{п}}$ – убыль массы анодного протектора, г.

Между теоретическим и практическим выходами тока наблюдается расхождение, которое обусловлено саморастворением металла протектора. Таким образом, убыль массы анодного протектора складывается из полезных потерь массы, связанных с генерацией защитного тока в цепи гальванической макропары протектор-защищаемый металл, и непроизводительных потерь массы, связанных с саморастворением протектора.

Коэффициент полезного действия анодного протектора может быть рассчитан по формулам:

$$\eta = \left[\left(\frac{1}{C_{\text{прак}}} \right) \div \left(\frac{1}{C_{\text{теор}}} \right) \right], \quad (42)$$

$$\eta = \frac{(\Delta m_{\text{п}})_{\text{теор}}}{(\Delta m_{\text{п}})_{\text{практ}}} \cdot 100, \quad (43)$$

где η – к.п.д. анодного протектора, %

$(\Delta m_{\text{п}})_{\text{теор}}$ – теоретическая потеря массы анодного протектора, г;

$(\Delta m_{\text{п}})_{\text{практ}}$ – потеря массы анодного протектора в эксперименте, г.

Метод защиты с помощью анодных протекторов – эффективный и экономически выгодный метод защиты металлических конструкций от коррозии в морской воде, грунте и других нейтральных коррозионных средах. В кислых средах вследствие малой катодной поляризуемости в них металлов и большого саморастворения металла анодных протекторов применения катодной протекторной защиты ограничено.

Экспериментальная часть

Работу проводят на установке, приведенной на рис 2. Схема испытания приведена на рис. 5.

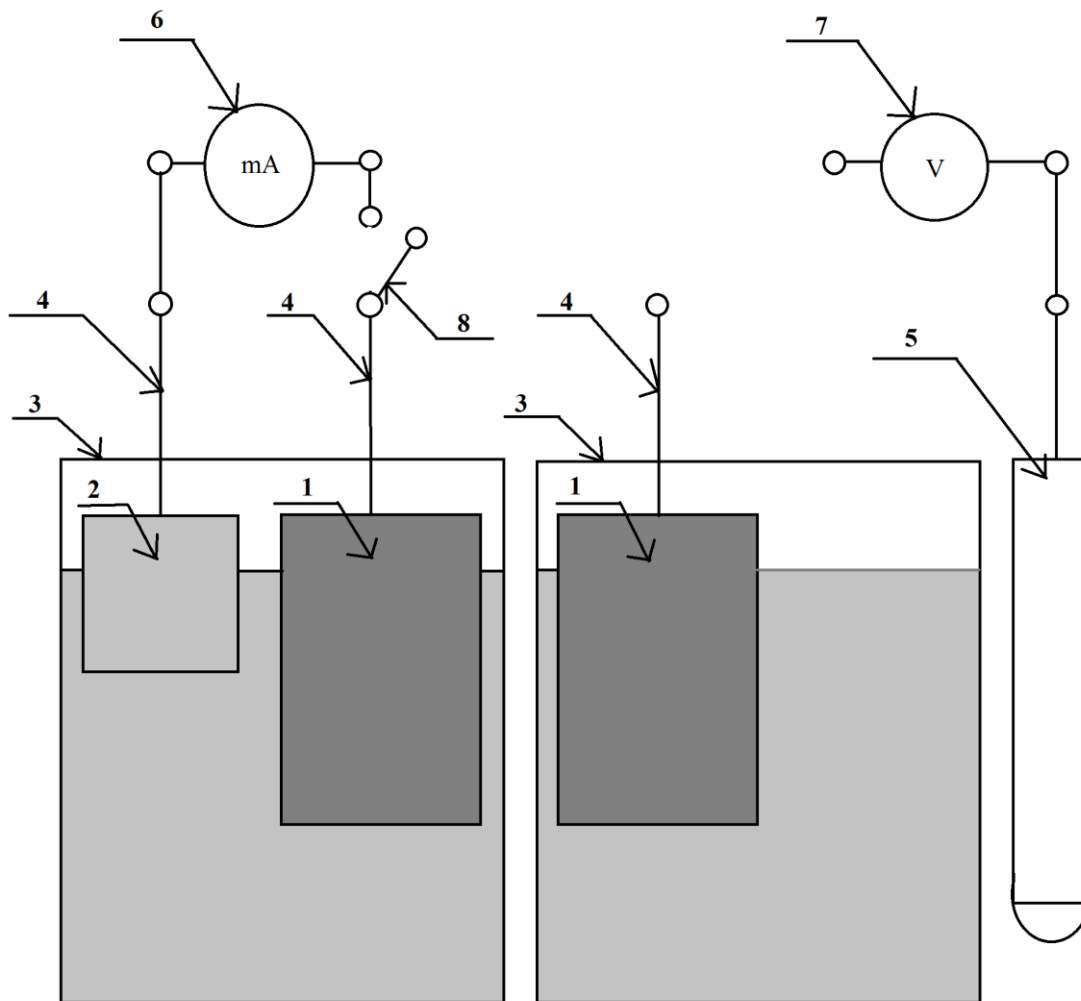


Рис. 5. Схема испытания:

- 1 – испытываемые стальные образцы, 2 – протектор,
 3 – стеклянные стаканы с исследуемым раствором, 4 – держатель,
 5 – насыщенный хлорсеребряный электрод, 6 – миллиамперметр,
 7 – вольтметр, 8 – ключ

Два пластинчатых образца (толщиной 0,5 мм и рабочей поверхностью порядка 200 см²) из стали и пластинчатый образец (рабочей поверхностью порядка 20 см²) металла анодного протектора из цинка зачищают наждачной бумагой, обезжиривают их, протирают фильтровальной бумагой или ватой, смоченными органическим растворителем, взвешивают на лабораторных весах и результаты записывают в табл. 13.

Электролит

Температура электролита $t = \dots$ °C

Продолжительность опыта $\tau = \dots$ мин

Результаты измерений

Параметр	Образец		Протектор
	без защиты	в контакте с протектором	
Начальная масса m_0 , г			
Рабочая поверхность S , m^2			
Конечная масса, m_1 , г			
Убыль массы, Δm , $г/м^2$			
Убыль массы с единицы поверхности, $\Delta m/S$, $г/м^2$			
Отрицательный показатель изменения массы K_m^- , $г/(м^2 \cdot ч)$			

Стальной образец (1) (без защиты), протектор (2) и стальной образец (1) (с защитой) укрепляют в держатели (4) (см. рис. 5). Наливают в стаканы (3) до одинакового уровня 1 %-ый раствор хлорида натрия, опускают все электроды, закрепленные на планке-держателе (4), в раствор при разомкнутом рубильнике (10), измеряют с помощью вольтметра установившиеся электродные потенциалы стальных образцов (1) и протектора (2), помещая для этого насыщенный хлорсеребряный электрод сравнения (6) поочередно в каждый стакан. При этом переключатель (8) устанавливают в положение, соответствующее измеряемому электроду. Полученные значения электродных потенциалов записывают первой строкой в табл. 14. Затем замыкают рубильник (10), отмечают и записывают время начала опыта и начальные показания микроамперметра (7). Через каждые 5 мин отмечают значение силы защитного тока в цепи протектор-стальной образец и значения электродных потенциалов стальных образцов и протектора, фиксируя их в табл. 14. Продолжительность опыта составляет 1,5...2 часа.

По окончании опыта протектор и стальные образцы извлекают из раствора, измеряют масштабной линейкой размеры их рабочей, то есть находившейся в растворе поверхности, промывают все электроды водой и сушат фильтровальной бумагой. Растворы из стаканов выливают и споласкивают стаканы водой.

Удаляют со всех трех образцов увлажненной мягкой (карандашной) резинкой продукты коррозии, образцы очень тщательно протирают фильтровальной бумагой, взвешивают на лабораторных весах и результаты записывают в табл. 13.

На основании результатов измерения начальной и конечной массы образцов рассчитывают отрицательный показатель изменения массы по формуле (39) и результаты записывают в табл. 13.

При заполнении табл. 13 пересчет электродных потенциалов металла и протектора по отношению к нормальному водородному электроду осуществляют по формуле

$$E_{Me} = E_X + 0,22, \quad (44)$$

где E_x – измеренные значения электродного потенциала.

Таблица 14

Результаты электрических замеров

Время от начала опыта, τ , мин	Сила тока, I , мкА	Потенциал по отношению к насыщенному хлорсеребряному электроду, E , В		
		образцы без защиты	образцы в контакте с протектором	протектора
-				
5				
10				
...				

На основании данных табл. 14 строят графики зависимости силы тока и электродных потенциалов стали без защиты, стали в контакте с протектором и протектора от времени, а также рассчитывают среднюю за время опыта силу тока, генерируемую протектором.

Затем по формулам (37 и 38) рассчитывают защитный эффект и коэффициент защитного действия, по формулам (40 и 41) – практический выход тока анодного протектора, по формулам (42) или (43) – коэффициент полезного действия анодного протектора.

На основании полученных результатов делают вывод об эффективности защиты от коррозии в исследованном электролите с помощью данного анодного протектора, а также о стабильности работы данного протектора во времени.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается принцип протекторной защиты?
2. Какие металлы могут быть использованы в качестве протекторов для защиты от электрохимической коррозии стали марок 08пс, Ст 3?
3. От чего зависит коэффициент полезного действия протектора?
4. Что такое защитный потенциал металла (сплава)?
5. Какой характеристикой раствора определяется величина защитного потенциала?

Критерии оценивания

Для успешной защиты лабораторной работы, студент должен выполнить эксперимент, согласно методике, записать наблюдения в рабочий журнал, оформить отчет, ответить на теоретические вопросы по теме лабораторной работы.

– оценка «отлично»: ставится, если студент глубоко и прочно усвоил весь программный материал, исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно его излагает (в том числе и при оформлении отчета по лабораторной работе), не затрудняется с ответом при видеоизменении

задания, умеет самостоятельно обобщать и излагать материал, не допуская ошибок.

– оценка «хорошо»: ставится, если студент твердо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, в оформлении лабораторной работы; но в своем ответе не полностью раскрывает вопрос, может правильно применять теоретические положения и владеет необходимыми умениями и навыками.

– оценка «удовлетворительно»: ставится, если студент усвоил только основной материал, но не знает отдельных деталей, допускает неточности (в том числе и при оформлении отчета по лабораторной работе), недостаточно правильные формулировки, нарушает последовательность в изложении программного материала и испытывает затруднения при ответах на вопросы.

– оценка «неудовлетворительно»: ставится, если студент не оформил должным образом отчет по лабораторной работе, не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, с большими затруднениями ориентируется в пройденном материале.

Вопросы к экзамену

1. Коррозия металлов.
2. Классификация коррозионных процессов.
3. Классификация коррозионных процессов по условиям протекания коррозии.
4. Классификация коррозионных процессов по характеру коррозионного разрушения.
Термодинамическая вероятность коррозии металлов трубопроводов и резервуаров.
5. Определение химической коррозии, условия протекания процесса химической коррозии.
6. Определение электрохимической коррозии, основные процессы, протекающие при электрохимическом виде коррозии.
7. Пленки на металлах, условие сплошности пленок.
8. Электрод. Электродный потенциал.
9. Электрохимический элемент.
10. Коррозионный элемент.
11. Скорость коррозии и способы ее выражения.
12. Явление поляризации, деполяризации и пассивации.
13. Кристаллическое строение сталей и его роль в процессах коррозии.
14. Назначение пассивной защиты и требования, предъявляемые к изоляционным покрытиям.
15. Классификация защитных покрытий.
16. Вид и конструкции защитных покрытий трубопроводов.
17. Материалы изоляционных покрытий.
18. Нанесение полимерных покрытий.
19. Ингибиторная защита.
20. Принцип действия катодной защиты.

21. Оборудование установки катодной защиты.
22. Основные этапы проектирования катодной защиты.
23. Принцип действия протекторной защиты трубопроводов и резервуаров. Типы протекторов.
24. Основные этапы проектирования протекторной защиты магистральных трубопроводов.
25. Защита металлических сооружений от блуждающих токов.
26. Электродренажная защита подземных трубопроводов.

Инструкции и/или методические рекомендации по выполнению

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Экзамен проводится в письменно-устной форме по билетам.

Экзаменационный билет включает два вопроса из списка, приведенного выше.

Студенту отводится время на ответ в письменном виде. Допускается ответ в виде схем и рисунков. После письменного ответа студент переходит к устной беседе с преподавателем, при которой возможно изменение условий вопроса в билете преподавателем или дополнительные вопросы, как по билету, так и в целом из списка вопросов к экзамену. После беседы преподаватель оценивает ответы студента по шкале: «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».

Критерии оценивания

– «отлично» выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач;

– «хорошо» выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения;

– «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ

– «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы

При наличии обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья, в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида оценочные средства выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Процедура проведения промежуточной аттестации с привлечением Комиссии ПА

Проведение промежуточной аттестации (ПА) с привлечением Комиссии ПА осуществляется в целях внутренней независимой оценки качества подготовки обучающихся. Во время проведения промежуточной аттестации по дисциплине с привлечением Комиссии ПА вопросы обучающимся имеет право задавать и оценивать результаты ответов обучающихся только педагогический работник, проводящий занятия по дисциплине.

Комиссия ПА присутствует в качестве наблюдателей во время проведения промежуточной аттестации по дисциплине и осуществляет оценку процедуры проведения промежуточной аттестации и оценку результатов промежуточной аттестации.

Оценка процедуры промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) осуществляется Комиссией ПА на основе анализа ФОС по следующим позициям:

- наличие рецензированного ФОС;
- наличие описания в ФОС процедуры проведения ПА с привлечением Комиссии ПА;
- соответствия оценочных материалов для проведения экзамена содержанию дисциплины и формируемым компетенциям.

Разработчик



Сокольников А. Н.