

КАРТЕК

**ПРАКТИКА
ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК

№4(30) 2003

Москва

ТРУБОПРОВОДЫ - КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА

КОМПЛЕКСНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ ВНУТРЕННЕЙ И ЭЛЕКТРОХИМЗАЩИТА НАРУЖНОЙ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВОДОВОДА «АСТРАХАНЬ-МАНГЫШЛАК». ИССЛЕДОВАНИЕ, РАЗРАБОТКА, ИСПЫТАНИЕ

**В. Ф. Синько, Т. А. Синько, В. В. Синько, Н. М. Католикова, Г. А. Ивлева,
Г. С. Карякина, Т. С. Таубалдиев, С. К. Муринов, А. А. Бут, С. Г. Костин,
А. П. Гаврилов, Б. Н. Соловьев, С. К. Жумагазин**

**Всероссийский научно-исследовательский институт коррозии (ВНИИК), г. Москва,
Российский научно-инженерный центр «РОСЗАЩИТА», г. Коломна,
АО «ХИМСЕРВИС», г. Новомосковск, НИИ ВОДГЕО, г. Москва,
ЗФ ЗАО «КазТрансОйл», г. Атырау, Республика Казахстан,
Алматинское пуско-наладочное управление треста «СРЕДАЗЭНЕРГОМОНТАЖ»
(АПНУ САЭМ), г. Алматы, Республика Казахстан**

Проблема эксплуатации водовода «Астрахань - Мангышлак», с диаметром труб 720...1220 мм, давлением 5,5 Мпа, протяженностью 1041 км представляется достаточно сложной. Современное состояние вопроса таково, что существующая крупнейшая магистральная система эксплуатируется без надлежащей противокоррозионной защиты внутренней и наружной поверхностей.

Водовод предназначается для подачи воды на нефтяные месторождения «Мангышлакнефть» и «Эмбанефть», для питьевых, технологических и технических нужд Западного Казахстана.

В данный момент основными средствами защиты от коррозии внутренней поверхности (ВП) являются ингибирование (ингибитор KW-2353), которое стало применяться после 5 лет эксплуатации водовода, и цементно-песчанное покрытие на участке 431-432,5 км, которые не решают проблему внутренней коррозии на всем протяжении трубопроводов. Участок водовода от Береговой насосной станции (НС-1), расположенной на пр. Кигач (левая протока р. Волга), до емкости суточного регулирования (ЕСР) протяженностью 1882 м и далее до головных очистных сооружений (ГОС) (НС-2) общей протяженностью 2500 м, диаметром 1020...1220 мм. Водовод, состоящий из двух трубопроводов, выполненных из стали марки 17Г1СУ, с начала эксплуатации не защищался от внутренней коррозии.

Проведенными исследованиями установлено, что коррозионный процесс, протекающий на внутренней поверхности водовода «Астрахань-Мангышлак», имеет преимущественно локальный характер. Наиболее высокая степень проникновения коррозии в глубину металла характерна для начальных участков от водозаборных до головных очистных сооружений, где наблюдаются наиболее агрессивное состояние хлорированной воды и максимальная концентрация растворенного кислорода 9...16 мг/л; на этом участке (0 км) нами зафиксированы самые низкие величины потенциалов «внутренняя поверхность-вода», равные -0,25 В (здесь и далее по медно сульфатному электроду) (рис. 1) [1]. При вводе ингибитора на 1 км величина потенциала смещается в катодную область и составляет -0,68 В (при величине стационарного потенциала новой стали в воде без ингибитора -0,55 В), на 56 км эффективность действие ингибитора снижается, и величина потенциала равна -0,4 В. Далее прослеживается четкая зависимость смещения потенциала в катодную область по мере уменьшения концентрации в воде растворенного кислорода, и на 973км потенциал равен -0,8 В.

Нами был выбран для опытно-промышленных испытаний внутренней комплексной электрохимической защиты участок водовода от НС-1 до ЕСР, где наблюдается

максимальная концентрация растворенного в воде кислорода, осуществляется первичное хлорирование воды, и никогда не вводился ингибитор коррозии.

Основная цель испытаний защиты от коррозии на внутренней поверхности водовода – определение эффективности внутренней КЭХЗ (катодная поляризация + электрохимическое формирование защитной пленки + изменение электрохимическим способом химического состава воды с целью уменьшения коррозионной агрессивности относительно стали водовода, снижения концентрации растворенного в воде кислорода и улучшения качества воды за счет уменьшения количества в воде ионов железа, кальция и магния).

Для защиты от коррозии наружной поверхности магистрального водовода «Астрахань - Мангышлак» применена классическая комплексная защита – защитные (полимерная пленка) покрытия (ЗП) + катодная защита (КЗ).

Установки КЗ (УКЗ) состоят из станций катодной защиты типа УКЗВ и УКЗН, глубинных анодных заземлений (ГАЗ) с бурением скважин на глубину 40...80 м, с применением графито-пластовых электродов типа ЭГТ.

Недостатком данного метода КЗ является малый (1...3 года) срок службы ГАЗ и весьма трудоемкая и высокая стоимость работ по их устройству.

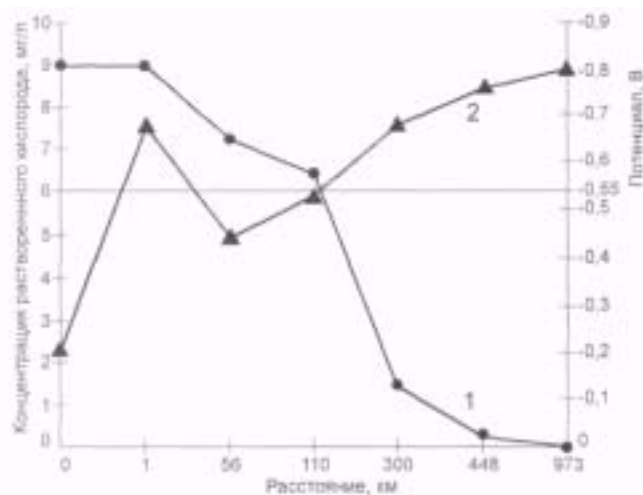


Рис. 1. Зависимость величины потенциала «внутренняя поверхность-вода» от изменения концентрации растворенного в воде кислорода по длине водовода «Астрахань-Мангышлак»

- 1- изменение концентрации кислорода в воде в 2000 г.
 - 2- изменение потенциалов по состоянию на июль 2000 г.
- 0,55 В - стационарный потенциал новой стали в воде

Трасса водовода проходит в очень сложных условиях: в болотистых местах, солончаках, пересекает русла рек, проходит через степи, полупустыни, пески, ракушечник, скальные породы, порой при небольшой толщине слоя (0,5...1 м) глинистых и песчаных грунтов, с величинами удельного электрического сопротивления грунтов по трассе до 10,500 и 26000 Ом·м.

Электропотенциальное состояние наружной поверхности водовода, определенное в 11 опорных пунктах, представлено в табл. 1, из анализа которой следует, что в 64 % пунктов нет минимального защитного потенциала [2]. Более того, на 832 и 973 км трассы водовода протекает интенсивный процесс наружной коррозии. Величины защитных потенциалов соответственно равны -0,50 и -0,43 В, что гораздо ниже величины стационарного потенциала новых трубопроводов из данной стали (-0,55 В), а потенциалы коррозии равны -0,27 и -0,25 В.

Поэтому, с целью достижения требуемых ГОСТ значений потенциалов, на самых сложных участках водовода нами было предложено испытание новых схем и средств

электрохимической защиты наружной поверхности (НЭХЗ) водовода, т.е. на опытно-промышленных участках (ОПУ) - ОПУ-НЭХЗ № 2 на 832 км., НПС «Сай-Утес» и ОПУ-НЭХЗ № 3 на 973 км, ГНПС «Новый Узень».

Внутренняя комплексэлектрохимзащита на ОПУ-ВКЭХЗ № 1, ГППС «Кигач»

Центром РОСЗАЩИТА были разработаны Рекомендации по внутренней комплексной электрохимической катодной защите от коррозии ОПУ-ВКЭХЗ №1 [3] и совместно с ВНИИК-методики исследований и испытаний. План размещения ОПУ №1 представлен на рис.2.

Особенности ОПУ-ВКЭХЗ №1, ЛПДС «КИГАЧ»:

- впервые в защите от коррозии на ОПУ одновременно осуществляется комплексная электрохимическая защита по новому варианту (схеме): одновременная КЭХЗ внутренней поверхности (ВП) водовода и КЭХЗ наружной поверхности (НП) водовода;
- ВП водовода 12 лет эксплуатируется в высокоагрессивной воде [4], имеющей высокое содержание растворенного в воде кислорода до 14...16 мг/л, $Cl^- = 45...65$ мг/л, $SO_4^{2-} = 50...71$ мг/л, $Ca^{2+} = 46$ мг/л, $Mg^{2+} = 13...15$ мг/л, $N^+ + K^+ = 25...40$ мг/л, $HCO_3^- = 131$ мг/л, солесодержание до 500 мг/л, $pH = 7,8...8,3$, температуру 0...32 °С и при дополнительном хлорировании, периодических остановках заполнении воздухом ВП в верхних отметках трассы;
- большая часть водовода располагается в периодически затопляемой пойме пр. Кигач, и НП водовода находится в течение 2...3 месяцев под действием высоко минерализованных грунтовых вод. КИКи и КДП затоплены, и наружная поверхность водовода длиной 3 км защищается четырьмя УКЗ (УКЗВ на 1 км, УКЗН на НС № 1, УКЗН на ЕСР и УКЗН на ГОС НС № 2), что указывает на большую сложность осуществления ЭХЗ даже НП в условиях ОПУ;
- для КЭХЗ ВП применены аноды внутренние железокремниевые (ВАЖК) с 20 электродами «Менделеевец - ММ», со сроком службы до 30 лет, с надежными контактными устройствами (КУэ) в точках присоединения питающих кабелей к электродам и питающих кабелей к магистральному анодному кабелю. Надежность обеспечивается применением термоусаживаемых муфт, расположенных в перфорированных диэлектрических экранах (рис. 3);
- впервые применено несколько точек дренажа, с определенным расположением и с максимальным удалением от ВАЖК, для изучения распределения защитных потенциалов на внутренней поверхности водовода;
- впервые применены совмещенные внутренние комплексные контрольно-измерительные пункты (ВККИП) с наружными комплексными контрольно-измерительными пунктами (НККИП), контрольно-диагностическими пунктами (КДП) и контрольно-измерительными колонками (КИК).

Результаты пуско-наладочных работ (ПНР) на ОПУ-ВКЭХЗ № 1:

- определены начальные величины сопротивления цепей установки ($R_{ЦУ}$) ВКЭХЗ, которые колеблются от 4,89 до 6,21 Ом;
- установлена средняя величина УЭС воды в зимний период при температуре 0...+3 °С, равная 44 Ом.м;
- определен режим работы установки ВКЭХЗ 14...18 А при напряжении 87...96 В;
- опробованы основные варианты схем подключения катодных линий к точкам дренажа (ТД);
- получены начальные величины: сопротивлений ЦУ, смещения потенциалов в катодную область (E_H) и степени защиты (Z) [5] в ТД:
1, 2 ТД НС №1 – $R_{ЦУ} = 4,89$ Ом, $E_H = 170$ мВ, $Z = 100$ %,
3, 4, 5 ТД 0м, 3м, 6м – $R_{ЦУ} = 4,89$ Ом, $E_H = 70$ мВ, $Z = 95$ %,
6, 7 ТД в КДП №1 (7,55м от ВАЖК) – $R_{ЦУ} = 5,18$ Ом, $E_H = 40$ мВ, $Z = 80$ %,

8, 9 ТД в КДП №2 (222м от ВАЖК) – $R_{ЦУ}=5,87$ Ом, $E_H=50$ мВ, $Z=85$ %,
 10, 11 ТД в КДП №3 (400м от ВАЖК) – $R_{ЦУ}=6,1$ Ом, $E_H=40$ мВ, $Z=80$ %,
 12 ТД в люке-лазе ЕСР (1882м от ВАЖК) – $R_{ЦУ}=6,21$ Ом, $E_H=20$ мВ, $Z=55$ %,

Таблица 1. Величины минимальных защитных потенциалов с омической составляющей в зависимости от удельного электрического сопротивления грунта на глубине 3 м

Пункты измерений, км	Величина удельного эл.сопрот., Ом-м	Минимальный защитный потенциал, -В	Фактический Защитный потенциал, -В	Примечание
0	5,27	1,05	0,86	Нет мин. пот.
1	Св.10	0,9	1,35	Есть мин. пот.
56	Св.10	0,9	0,9	Есть мин. пот.
110	49	0,9	1,2	Есть мин. пот.
300	0,56	1,05	0,88	Нет мин. пот.
431	Св.10	0,9	1,25	Есть мин. пот.
448	1,88	1,05	0,64	Нет мин. пот.
449	84	0,9	0,82	Нет мин. пот.
652	6,58	1,05	0,75	Нет мин. пот.
832	100	0,9	0,50	Нет мин. пот.
973	74	0,9	0,43	Нет мин. пот.

Результаты опытно-промышленных испытаний на ОПУ-ВКЭХЗ № 1:

1. Достигнут сдвиг потенциала в катодную область во всех 7-ми ВККИП, величина потенциала последствия ВКЭХЗ наблюдается на всех образцах-свидетелях.

В качестве примера рассмотрим величины сдвигов потенциалов в катодную область потенциалов после действия ВКЭХЗ ($E_{ПД}$) на ОСЭХЗ и $E_{кор}$ на ОС_{кор}, взятых из ВККИП № 2, в КДП № 1, расположенных в 7,55 м от внутренних анодов и в 1882 м от ВА, демонтированных из люка-лаза №2, за ЕСР.

Величина $E_{ПД}$ ОСЭХЗ в КДП №1 равна 120 мВ, а процент защищенности этого образца составил 100%, на нем есть защитная пленка и он сохранил свои механические свойства.

Величина $E_{ПД}$ ОСЭХЗ в люке-лазе за ЕСР, на расстоянии 1882м от последнего внутреннего анода, равна 60 мВ, а степень защиты равна 87 %.

2. Сдвиг потенциала в катодную область, распределение потенциалов по внутренней поверхности водовода, зависят от многих причин:

- состояния и характера отложений продуктов коррозии, защитных пленок на ВП;
- удельного электрического сопротивления, температуры, химического состава и скорости движения воды;
- заполнения водовода, циклов работы насосных агрегатов №№ 4 и 3;
- конструкции водовода, углов поворота, как по горизонтали, так и по вертикали, наличия задвижек и др. оборудования,
- размеров водовода;
- величин защитного тока;
- распределения внутренних анодов;
- точек дренажа защитного тока;
- времени защиты и т.д.

Выберем основные факторы и определим их влияние на сдвиг потенциала в катодную область. Постоянными величинами остаются в водоводе, при его внутренней КЭХЗ,

конструкционные параметры водовода и внутреннего анода, на определенном отрезке времени мы можем поддерживать заданную величину тока защиты.

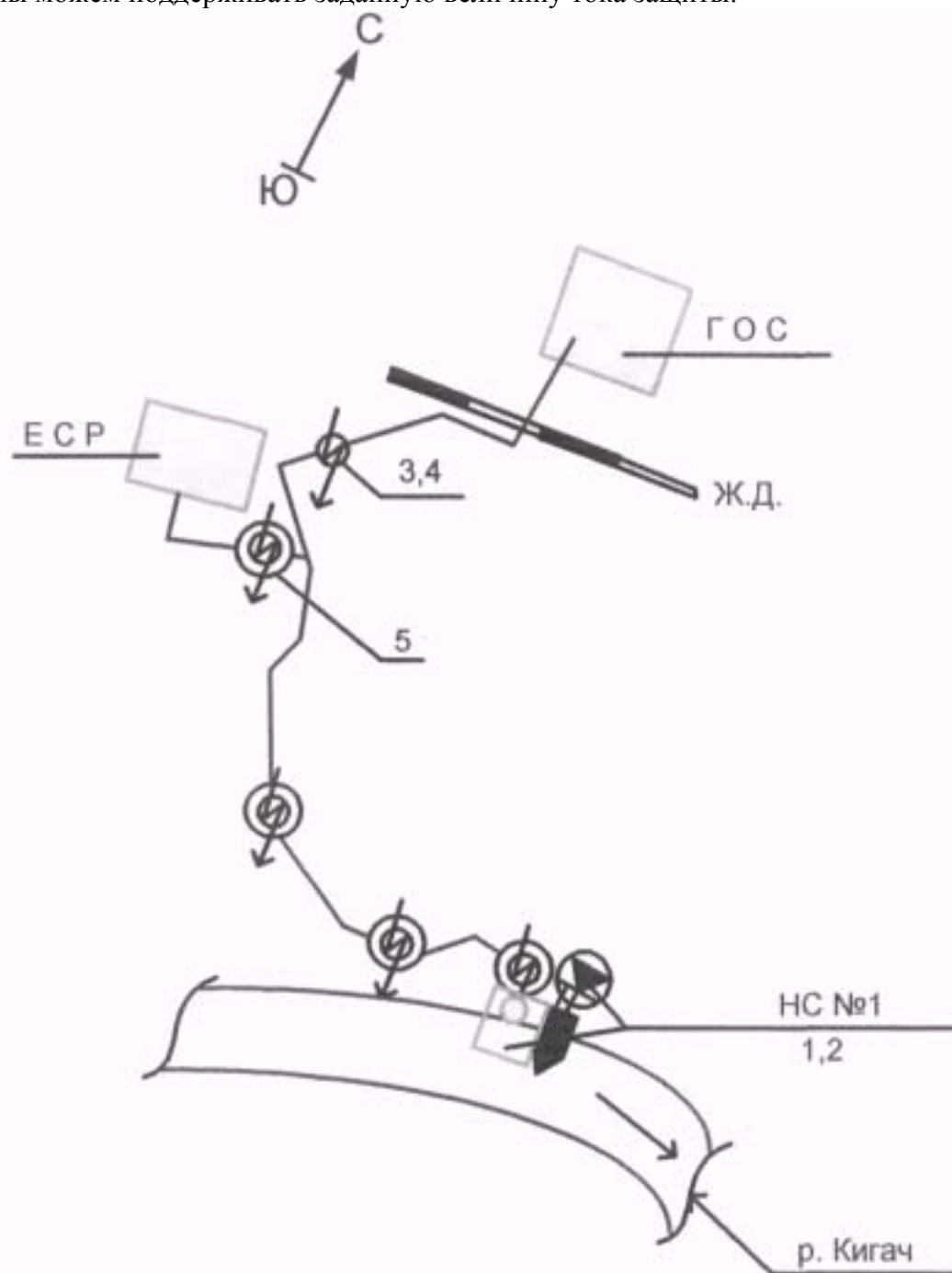


Рис. 2. Ситуационный план размещения средств ВКЭХЗ на ОПУ № 1:

- 1 – установка ВКЭХЗ, станция катодной защиты;
- 2 – внутренние аноды;
- 3 – точки дренажа;
- 4 – внутренние ККИП;
- 5 – внутренние ККИП, совмещенные с наружными ККИП или КДП

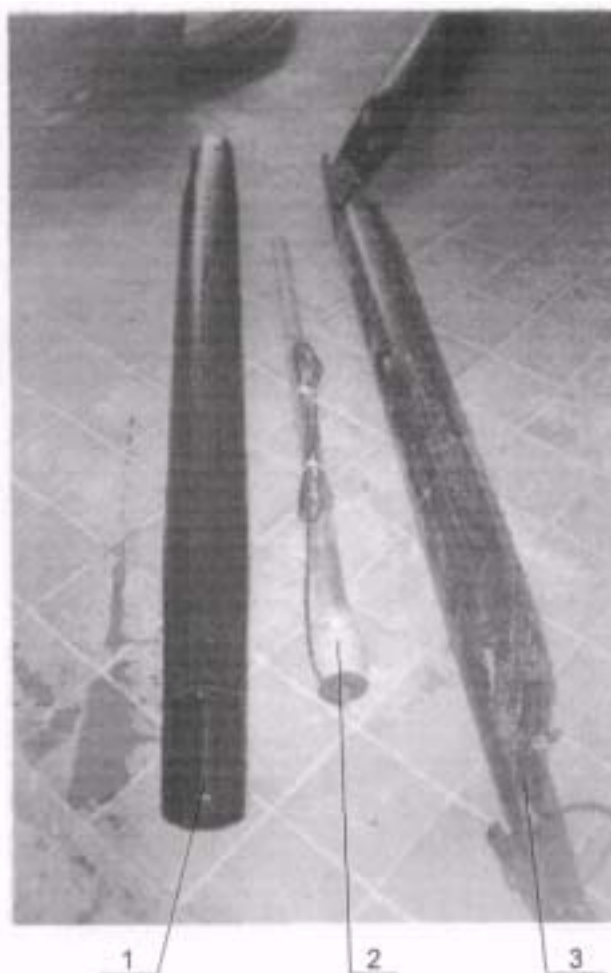


Рис. 3. Секция внутренних анодов из железокремниевых электродов типа «Менделеевец-ММ»

- 1 – перфорированный диэлектрический экран;
- 2 – железокремниевый электрод «Менделеевец-ММ»;
- 3 – секция внутренних анодов в сборе

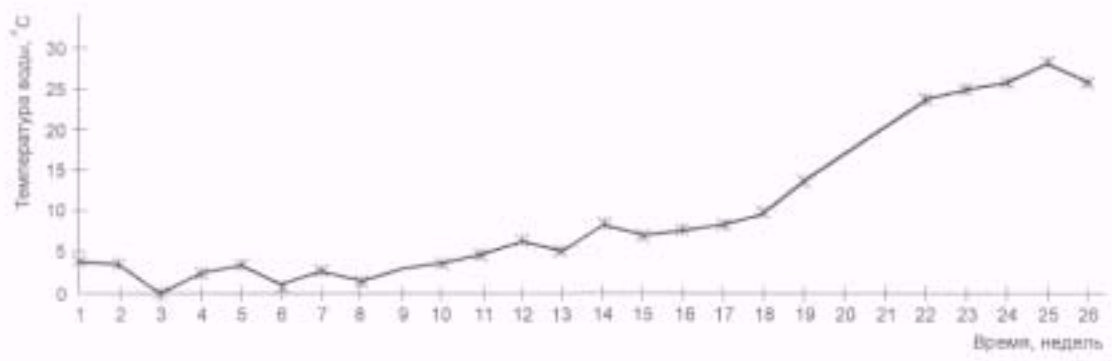
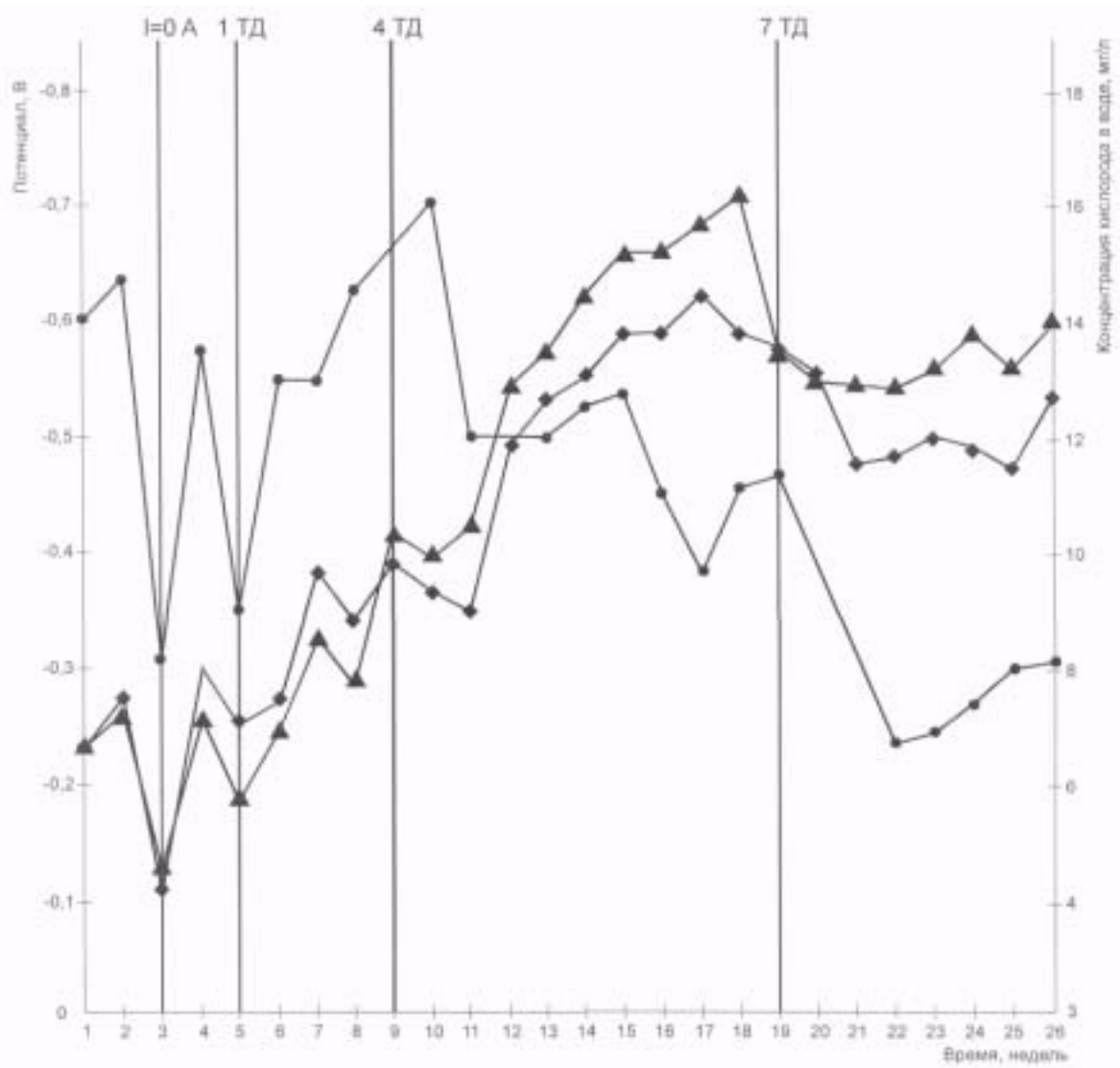


Рис. 4. Изменение потенциала на образцах свидетелях в КДП № 1, в зависимости от точек дренажа, времени испытаний, от концентрации в воде растворенного кислорода и температуры воды

- ▲ потенциал образца под ЭХЗ, В;
 - ◆ потенциал образца под коррозией, В;
 - концентрация кислорода в воде, мг/л;
- 1, 4, 7 – количество точек дренажа

Рассмотрим зависимость сдвига потенциала ВП от времени ОПИ, количества точек дренажа (контактных устройств (КУ) на водоводе), наличия в воде растворенного кислорода и температуры воды (рис. 4) в КДП №1. На графике четко просматриваются такие зависимости, как сдвиг потенциала от количества точек дренажа (в первые недели, в течение которых проводились пуско-наладочные работы). При постоянном количестве точек дренажа наблюдаются постоянные величины сдвига потенциала ($E_{СП}$) в катодную область на ВП водовода и на ОС_{ЭХЗ}, постоянный рост поляризационного потенциала ($E_{П}$) и незначительный рост (сдвиг в катодную область из-за стабильного уменьшения в воде растворенного кислорода) потенциала коррозии ($E_{КОР}$) на ОС_{КОР}. На 18 неделе ОПИ сдвиг потенциала на ОС_{ЭХЗ} достигает максимальной величины, по сравнению с $E_{КОР}$, которая равна -120 мВ. Эта величина хорошо согласуется с величиной потенциала последствия, которая составляла 120 мВ; с величиной потери массы образца; со степенью защиты, равной 100 % с наличием защитной плёнки на образцах-свидетелях, на штанге крепления образцов и на ВП водовода.

Максимальные концентрации в воде кислорода (14,4; 16, 12,4; 12,6) хорошо объясняются остановами и частичным опорожнением водовода, подсосом воздуха, – это происходило на 8, 10, 14, 15 неделях ОПИ. В это же время насосные агрегаты №№ 4 и 3 работали в неделю соответственно 10, 8, 25 и 3 часа, а в одной неделе - 168 часов. Насосные агрегаты запускали только на время отбора проб воды и измерения электрохимических параметров. Порой данные работы проводились в турбулентных потоках, что вносило определенные погрешности при определении химического состава воды.

3. Снизилась потеря массы образцов-свидетелей.

По потере массы ОС_{ЭХЗ} и ОС_{КОР} проведены расчеты степеней защиты, величины которых лежат в пределах 87... 100 % (табл. 2), при токе защиты до 26 А и величине зоны защиты 1882 м и более, при внутреннем диаметре 1200 мм. Конечная величина защитной плотности тока при этом равняется 0,0037 А/м².

4. Снизилась концентрация растворенного кислорода в воде.

О физико-химическом составе воды на ОПУ-ВКЭХЗ №1 водовода «Астрахань - Мангышлак» ЛПДС «Кигач» дано заключение НИИ ВОДГЕО, в котором отмечается положительное влияние ВКЭХЗ на качество воды.

Результаты определений растворенного кислорода на ОПУ-ВКЭХЗ № 1, ЛПДС «Кигач» свидетельствуют о тенденции уменьшения его концентраций в зоне ВКЭХЗ, по сравнению с исходной водой, на 24%.

Интересны результаты анализа растворенного в воде кислорода в течение всего времени опытно-промышленных испытаний (рис. 5).

На рис. 5 представлено изменение концентрации растворенного в воде кислорода в зависимости от продолжительности работы насосных агрегатов № № 3, 4.

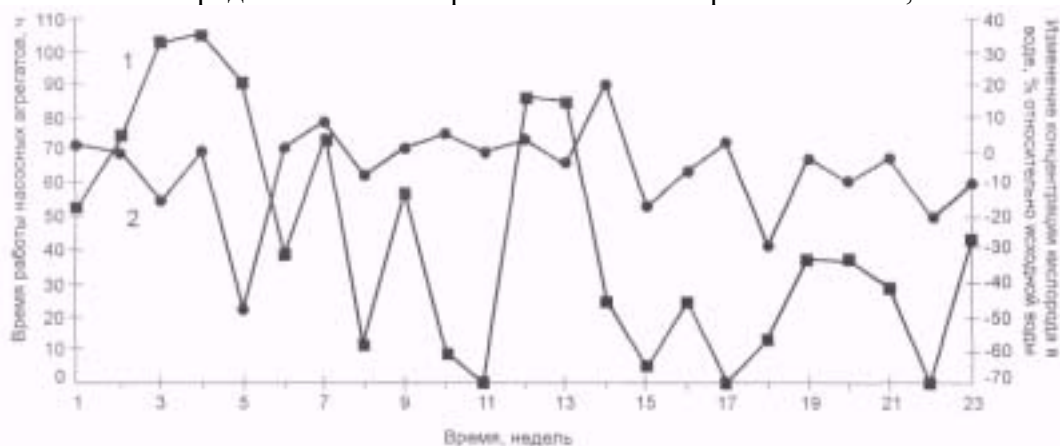


Рис. 5. Изменение концентрации растворенного кислорода в воде в зависимости от времени работы насосных агрегатов в течение недели

- 1 – время работы насосных агрегатов;
- 2 – изменение концентрации кислорода

На приведенном графике кривая № 1 -средний процент снижения или повышения концентрации кислорода во всех внутренних ККИП, расположенных за внутренними анодами, по сравнению с исходной водой. Просматривается связь между увеличением концентрации кислорода и временем простоя насосных агрегатов (НА) № 3 и 4 и снижением в воде содержания кислорода под действием ВКЭХЗ в периоды стабильной работы НА.

Средняя величина снижения концентрации кислорода в воде во время стабильной работы НА под действием ВКЭХЗ при среднем токе защиты 20 А за все время ОПИ равняется 12,53 %, что является хорошим показателем эффективности работы установки ВКЭХЗ, в т. ч. и по снижению в воде O_2 .

5. Снизились концентрации в воде соединений железа, кальция и магния.

При стабильной работе НА №№ 3 и 4 НС №1 и при работе установки ВКЭХЗ средние величины снижения концентрации в воде равны: железа-19,09 %, кальция и магния - 8,15 %, что является также хорошими показателями эффективности работы установки ВКЭХЗ на ОПУ-ВКЭХЗ № 1 при сравнительно малом токе защиты.

Таблица 2. Массы образцов-свидетелей с продуктами коррозии и ЭХЗ и степень их защиты

№№ образцов	Место установки образцов	Масса образцов до испытаний, г	Масса образцов после испытаний, г	Потеря массы образцов, г	Степень защиты, %	Примечание
1 (эхз)	НА №4	64,37	64,35	-0,02	99,6	Эхз-под защитой
2 (Кор)	НА №4	67,24	62,20	-5,04		Кор-под коррозией
3 (эхз)	Кол. 18	65,48	65,48	+0,00	100	Зона периодического смачивания
4 (Кор)	Кол. 18	67,17	67,25	+0,08		
5 (Кор)	КДП № 1	66,95	66,72	-0,23		Постоянно в воде
6 (эхз)	КДП № 1	65,54	65,55	+0,01	100	В 7 м от анода
7 (эхз)	КДП № 2	66,67	66,66	-0,01	88	На 272 м водовода
8 (эхз)	КДП № 2	67,17	67,09	-0,08		
13 (эхз)	Люк-лаз №2, за ЕСР	64,72	61,27	-3,45		На 1882 м водовода
14 (эхз)	Люк-лаз за ЕСР	63,98	63,54	-0,44	87	На 1882 м водовода

Важным моментом является связь, четко просматриваемая на рис. 6, где отражена зависимость процента повышения и снижения концентрации железа в воде от времени работы НА №№ 3, 4. Так, на 11, 17 и 22 неделях, когда насосы стояли и запускали их на время отбора проб воды и измерения электрохимических параметров процент роста концентрации железа в воде составил величины соответственно: 72,5; 50; 34,61. А во время стабильной работы НА №№ 3,4, на 3,4,13,14 неделях процент уменьшения концентрации железа в воде составил величины, соответственно: 22,86; 29,01; 17,14; 31,33, при этом установка ВКЭХЗ работала постоянно.

Что касается уменьшения концентрации в воде кальция и магния, то здесь просматривается следующая закономерность (рис. 7): в первые недели работы установки ВКЭХЗ происходило максимальное уменьшение жесткости воды, а на 13 и 14 неделях ОПИ, при примерно одинаковых часах работы НА (86 и 84 часа), приблизительно одинаково было снижение концентрации (-14,8 % и -13,33 %) соединений Са и Mg.

Уменьшение концентрации в воде железа, кальция и магния объясняется тем, что электрохимическим путем формировались защитные пленки (ЗП) на ВП водовода (рис. 8).

б. Электрохимическим путем сформирована защитная пленка на ВП водовода на ОПУ-ВКЭХЗ № 1:

- при вскрытии люка-лаза № 1 в колодце № 18 камеры обратных клапанов НС №1 у внутренних анодов и на удалении от них происходило образование защитной пленки. Особенностью данного участка водовода в том, что это

самая верхняя отметка водовода. При выключении НА №№ 3,4 водовод практически опорожняется, вода остается только на нижней образующей. Поэтому штанга с образцами-свидетелями расположенная на отметке 3 часа и образцы во ВККИП №2 большую часть времени ОПИ находились под действием атмосферной коррозии, а штанга № 1, расположенная на отметке 6 часов большую часть времени ОПИ находилась под действием коррозии по ватерлинии,

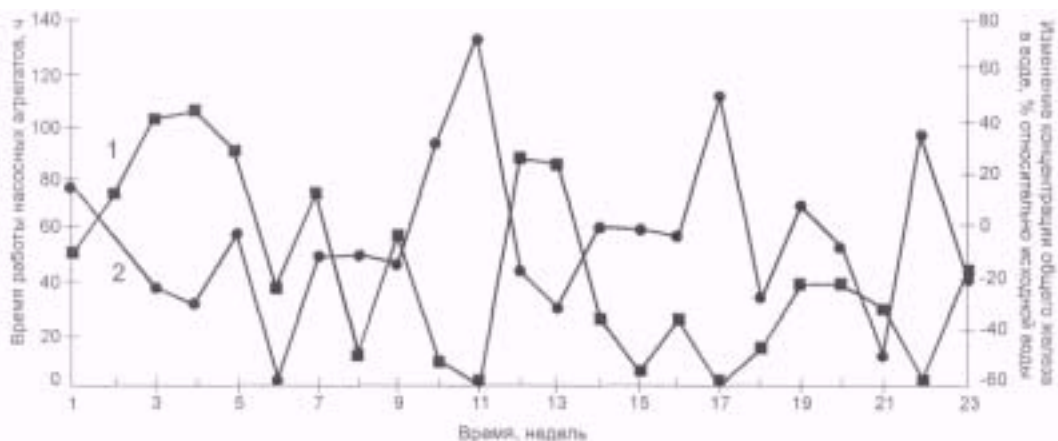


Рис. 6. Изменение концентрации общего железа в воде в зависимости от времени работы насосных агрегатов в течение недели

- 1 – время работы насосных агрегатов
- 2 – изменение концентрации ионов железа

т.е. в зоне периодического смачивания.

- При вскрытии люка-лаза №2, за камерой с расходомерами, за КДП №1 водовод находится на более низкой отметке, чем у люка-лаза №1. В этой зоне формируется более качественная защитная пленка: белого цвета, сплошная, на основе соединений кальция и магния.

В 10 м от внутреннего анода, в районе люка-лаза №2, продукты коррозии уплотнены до такой степени, что их приходилось отделять стальным скребком.

7 Повышение pH и стабильности воды при КЭХЗ, по заключению ВНИИ ВОДГЕО, могут быть критериями для подтверждения эффективности протекающих процессов внутренней комплексной электрохимической защиты водовода.

8 Снижена защитная плотность тока.

Если начальные величины защитной плотности тока были равны - при сдвиге потенциала в катодную область на 20 мВ - 0,032 А/м², на 40 мВ - 0,064 А/м², то через месяц ОПИ они соответственно составили: на 20 мВ - 0,002 А/м², на 40 мВ - 0,0067 А/м², т.е. величина защитной плотности тока при 40 мВ снижена в 9,55 раза.

Таким образом, можно утверждать, что эффективность внутренней КЭХЗ подтверждается сразу несколькими показателями.

Что касается эффективности защиты наружной поверхности, в том числе и во время паводка, когда грунтовая вода весьма коррозионно активна, величина удельного сопротивления грунтовой воды при 26 °С равнялась 4 Ом-м, а химический состав был следующим: pH=7,55, сухой остаток=700 мг/л, общая жесткость=8,2 мг-экв/л, Cl⁻= 32,5 мг/л, сульфат-ионы=120 мг/л. На образцах, изъятых из КДП № 2, 3, 4, за 3 месяца паводка электрохимическим путем сформировалась качественная защитная пленка.

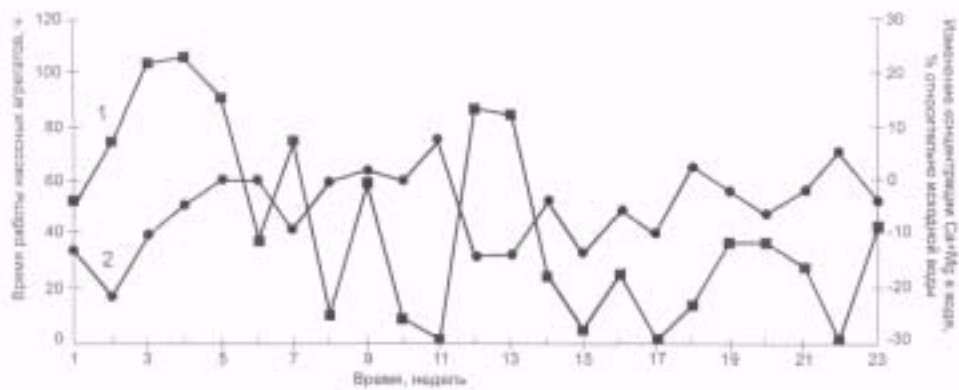


Рис. 7. Изменение концентрации суммы ионов кальция и магния в воде в зависимости от времени работы насосных агрегатов в течение недели

- 1- время работы насосных агрегатов
- 2- изменение концентрации суммы ионов кальция и магния

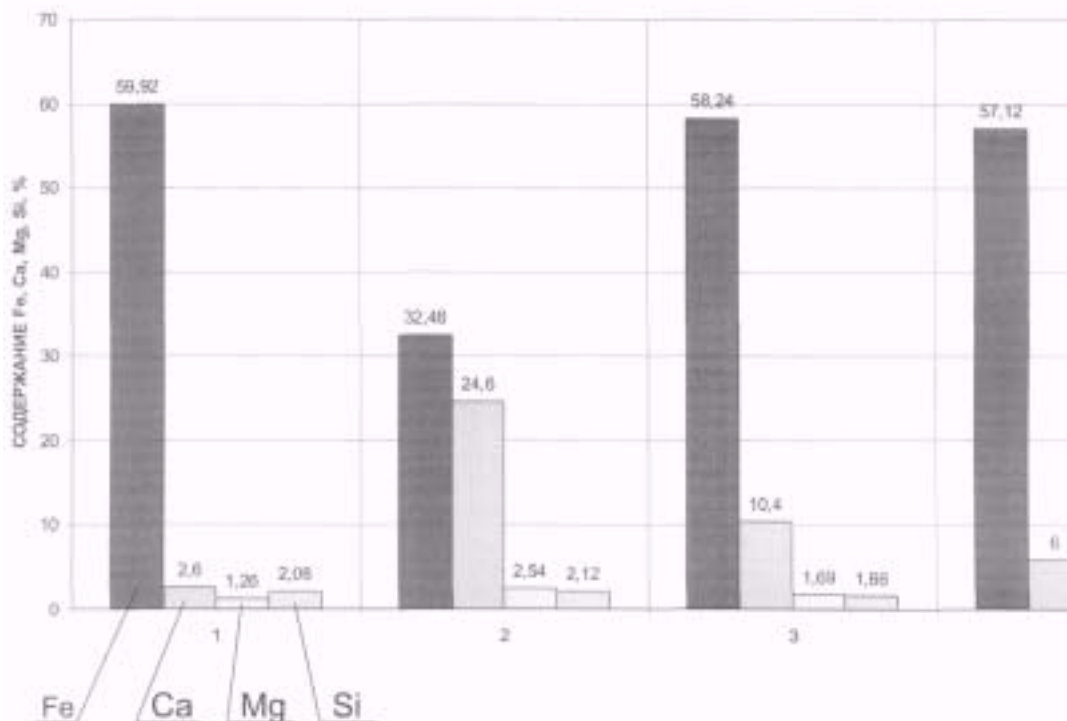


Рис. 8. Процентное содержание железа, кальция, магния и кремния в защитной пленке на внутренней поверхности водовода на ОПУ-ВКЭХЗ № 1:

- 1 – до включения в работу установки внутренней комплексной электрохимической защиты (УВКЭХЗ);
- 2 – на нижней образующей (на 6 часов) внутренней поверхности (ВП) водовода, у последнего анода 2-ой секции;
- 3 – на боковой поверхности (на 9 часов) ВП;
- 4 – на верхней образующей (на 12 часов) ВП.

Наружная электрохимзащита на ОПУ-НЭХЗ № 2, НПО «Сай Утес»

РНИЦ РОСЗАЩИТА разработаны Рекомендации по наружной электрохимической катодной защите от коррозии водовода «Астрахань - Мангышлак» на опытно-промышленном участке (ОПУ-НЭХЗ № 2), на 832 км [6]. Совместно с ВНИИК разработана методика опытно-промышленных испытаний НЭХЗ.

План размещения ОПУ № 2 представлен на рис. 9.

Особенностью данного ОПУ № 2 является линейный узел на водоводе, наличие 7 задвижек, камеры запуска и приёма скребка, ассимметричное расположение труб большого диаметра и оборудования, наличие с правой стороны по ходу воды котлована размером 20 x 35 м и глубиной до 3 м.

Для более равномерного распределения защитного тока на ОПУ устроены 2 горизонтальных анодных заземления (каждое состоит из 10 железокремниевых электродов «Менделеевец - ММ» [7, 8] в коксо-минеральном активаторе КМА [9]). Весь комплект изготавливается и поставляется АО «ХИМСЕРВИС».

С целью равномерной подачи тока на каждое анодное заземление от СКЗ типа УКЗТ-5,0 А в анодные цепи включен диодно-резисторный блок типа БДР-4-25. Эти блоки в комплекте с постаментами, контрольно-измерительными колонками, медно-сульфатными электродами длительного действия (МСЭ ДД) и вспомогательными электродами (ВЭ) поставляются НПП «ДОН».

Впервые для оборудования контрольно-диагностических пунктов (КДП) применены, кроме МСЭ ДД, ВЭ, образцы-свидетели (ОС) под электрохимзащитой и под коррозией, для определения скорости коррозии по потери массы образцов в течение года, датчики скорости коррозии типа ДК-1ц [10], датчики температуры грунта типа ТМТ-4 и датчики выделения водорода типа ДН-1 [11], для мгновенного измерения величин скорости коррозии, температуры и концентрации выделяемого водорода в точках дренажа УКЗ. Данные датчики разработаны и производятся институтами ИФХ РАН и ООО ВНИИГАЗ.

Результаты ПНР на ОПУ-НЭХЗ № 2:

- Средняя величина удельного электрического сопротивления грунта, при максимальной влажности в местах расположения анодных заземлений (АЗ) №№ 1 и 2 составляет 21 Ом-м.
- Начальный режим работы установки НЭХЗ 24 А-44 В, начальное сопротивление цепи УНЭХЗ составило величину 1,83 Ом.
- Начальные величины защитных потенциалов с омической составляющей ($E_{ом}$) и поляризационных ($E_{п}$), при потенциале коррозии на 834 км ($E_{к}$) равном -0,27 В, при отключенных ближайших УКЗВ №№ 25 и 26 на 830 и 836 км водовода составили следующие величины:

КИК 830 км	-1,35 В (Ом),
КИК 831 км	-1,43 В (Ом),
КИК 832 км	-1,40 В (Ом),
КИК 833 км	-1,42 В (Ом),
КИК 834 км	-1,32 В (Ом),

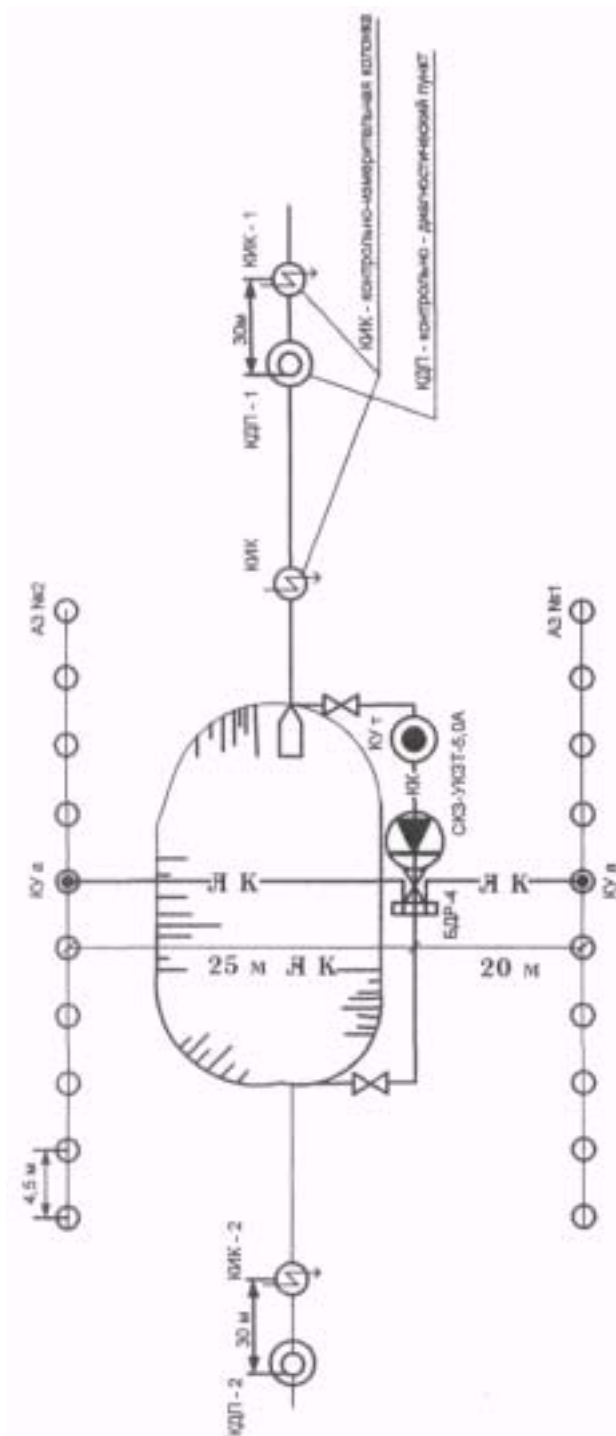


Рис. 9. СПН «Сай-Утес», ОПУ - НЭХЗ № 2, 832 км. План размещения средств электрохимической защиты от коррозии наружной поверхности водовода «Астрахань-Мангышлак»

- КДП₁ 834 км, E_п=0 м -0,50В,
 ОС_{ЭХЗ}=-0,50В, ВЭ=-0,56В,
 КИК=-0,51В,
- КДП₂, 835 км, E_п=0 м -0,56В,
 ОС_{ЭХЗ}=-0,56В, ВЭ=-0,60В,

КИК=-0,54В,
– КДПЗ, 836 км, Еп=0 м -0,96В,
ОС_{ЭХЗ}=-0,96В, ВЭ=-0,52В,
КИК=-0,96В.

Таким образом, начальный прирост поляризационного потенциала составил 230 и более мВ, процент защищенности вырос до 85.

Важным моментом при ПНР явилось введение в анодную цепь № 2 дополнительного сопротивления путем последовательного включения сопротивлений каналов №№ 1, 2 и 3 диодно-резисторного блока БДР-4-25, т.к. сопротивление анодной цепи (АЦ) № 2 оказалось равным 0,3 Ом, а сопротивление АЦ №1 =1,7 Ом для выравнивания токовой нагрузки на электроды АЗ № 1, 2 и их равномерного растворения.

Результаты опытно-промышленных испытаний на ОПУ-НЭХЗ №2:

1. Достигнуты величины защитных потенциалов во всех КДП и КИК.

При включенных опытной СКЗ, УКЗВ № 25 ток (20 А) и УКЗВ № 26 ток (37 А) величины потенциалов равны:

830км	-1,69 (Ом) В,
831км	-1,43 (Ом) В,
832км	-1,40 (Ом) В,
833км	-1,42 (Ом) В,
834км	-1,70 (Ом) В,
834км в КДП № 1	-0,87 (п) В,
835км в КДП №2	-1,09(п)В,
836км в КДП №3	-1,15(п)В,
Задвижка № 956	-1,53 (Ом) В,
Задвижка № 96	-1,12 (Ом) В,
Задвижка № 976	-1,95 (Ом) В,
Камера запуска скребков	-2,67 (Ом) В,
Нефтепровод	-1,67 (Ом) В.

Величины потенциалов в начале и в конце испытаний НЭХЗ представлены в табл. 3.

2. Определены величины удельного электрического сопротивления грунта, которые, при максимальной влажности, составили следующие величины:

830 км - 48 Ом-м, 831 км - 90 Ом-м, 832 км - 76 Ом-м, 833 км - 12 Ом-м, 834 км - 29 Ом-м; 835 км - 21 Ом-м; 836 км-58 Ом-м.

Сопротивление грунта выше 10 Ом-м, соответствует требованиям ГОСТ. При данной величине УЭС грунта на трубопроводах с полимерной изоляцией потенциалы в соответствии с п.5.1 и табл. 4, 5 ГОСТ Р 51164-98 должны находиться в пределах: минимальный - -0,85(п) и -0,90(Ом), максимальный -1,15(п) и -3,5(Ом)В

3. Определена стабильность работы всей установки НЭХЗ.

Режим работы начальный, в весенний период, максимальная влажность грунта (19.04.2002 г.) -24 А-44 В, сопротивление цепи УНЭХЗ-1,83 Ом; режим работы установки в осенний период при минимальной влажности грунта (20.10.2002г.) - 20 А-52 В R_у=2,6 Ом; через год эксплуатации: 28.04.2003г. K_цу=2,2 Ом, а 10.10.2003г. R₄у = 2,0 Ом, что говорит о стабильности работы 20 анодов «Менделеевец - ММ» и всей в целом УНЭХЗ.

4. Определена стабильность работы датчиков коррозии, температуры и водорода, медно-сульфатных электродов длительного действия и вспомогательных электродов.

- Скорость коррозии по датчику ДК-1ц в КДП № 2 при сдвиге потенциала в катодную область на 100 мВ, при температуре грунта +16 °С составляет 0,43

мм/год, что в соответствии с ГОСТ допустимо на участках с плохим состоянием защитных покрытий (предел -0,50 мм/год).

- Концентрация диффузионно - подвижного водорода в трубной стали в точке дренажа (КДП № 3) находится на безопасном уровне и составляет 0,001 см³/100 г Fe, т.к. показания датчика водорода ДН-1 -0,005 мА (предел -0,4 мА).

Стабильно работают все средства контроля в КДП и КИК, включая МСЭ и вспомогательные электроды.

Таблица 3. Величины потенциалов в начале и в конце опытно-промышленных испытаний наружной электрохимической катодной защиты от коррозии водовода «Астрахань-Мангышлак» на ОПУ-НЭХЗ № 2, НПС «Сай Утес»

Место измерения потенциалов, км трассы	Величина потенциалов в начале испытаний, В (-)	Величина потенциалов в конце испытаний, В (-)
КИК, 831	1,43 (Ом)	1,43 (Ом)
КИК, 832	1,40 (Ом)	1,40 (Ом)
КИК, 833	1,42 (Ом)	1,42 (Ом)
КИК, 834	1,32 (Ом)	1,70 (Ом)
КДП № 1 , 834	0,50 (п)	0,87 (п)
КДП № 2, 835	0,56 (п)	1,09(п)
КДП № 3, 836	0,96 (п)	1,15(п)
Нефтепровод	1,09 (Ом)	1,67 (Ом)

Таким образом, опытно-промышленные испытания показали:

- Целесообразность применения схемы установки НЭХЗ с горизонтальным анодным заземлением, состоящим из 2-х секций по 10 шт. железокремниевых электродов «Менделеевец - ММ».
- Возможность эффективной катодной защиты наружной поверхности водовода, задвижек, камеры запуска и приёма скребков с неудовлетворительным состоянием защитного покрытия со сдвигом поляризационного потенциала на 100 мВ.
- Положительное влияние установки НЭХЗ водовода «Астрахань-Мангышлак» на параллельный нефтепровод.

Наружная электрохимзащита на ОПУ-НЭХЗ № 3, 973км, ГНПС «Узень»

РНИЦ РОСЗАЩИТА разработаны Рекомендации на ОПУ-НЭХЗ №3 [12].

Особенностью ОПУ № 3 является линейный узел водовода, наличие задвижек, камеры запуска и приема скребка, смежных сооружений, двух ниток нефтепровода и водовода, тонкого слоя (до 0,5 м) высокоомного грунта с УЭС до 500 Ом.м ракушечника на глубину до 80 м, с УЭС =26000 Ом.м и более. Самый низкий потенциал коррозии на водоводе, -0,25 В.

Принято новое техническое решение о расположении горизонтального анодного заземления (АЗ) из 20 шт. электродов в 12 метрах от водовода в тонком слое грунта с последующей обваловкой, с высотой вала 1,5 м.

Применена автоматическая станция типа «ДОН» (УКЗТ-5,ОА), построено три КДП с МСЭ, ВЭ, ОС_{ЭХЗ}, ОС_{КОР}, ДК -1 ц, ТМТ - 4, ДН -1.

Результаты ПНР на ОПУ-НЭХЗ № 3:

- Величина сопротивления цепи установки НЭХЗ при влажном грунте равна 2,38 Ом.
- Величины потенциалов коррозии на всех ПМС, при выключенных всех ближайших установках НЭХЗ в течение 48 часов, равны: на водоводе «Астрахань - Мангышлак»:

КИК № 1	-0,37 В,
КИК № 2	-0,45 В,
КИК № 3	-0,40 В,
Задвижка № 104	-0,25 В;
На водоводе «Аму - Дарья - Бейнеу»:	-0,25 В,
На 2 нитке нефтепровода:	-0,68 В;
- Начальные величины потенциалов защиты работы УНЭХЗ в режим 21 А - 50 В: На водоводе «Астрахань - Мангышлак»: КИК № 1 -6 В (в дальнейшем снижается до величины-3,5 В), Задвижка №104 -0,30В, На водоводе «Аму - Дарья - Бейнеу»: -0,49 В, На 2 нитке нефтепровода: -0,68 В.

Таким образом, поляризационный потенциал на задвижке вырос в начальный момент на 50 мВ, прирост потенциала с омической составляющей на водоводе «Аму - Дарья - Бейнеу» составил 240 мВ, что является хорошими показателями в начальный момент защиты ПМС без защитных покрытий. Второй важный момент ПНР,-это отсутствие вредного влияния УНЭХЗ на 2 нитку нефтепровода.

Результаты опытно-промышленных испытаний на ОПУ-НЭХЗ №3

При ОПИ наружной ЭХЗ на ОПУ-НЭХЗ №3, на 973 км, ГНПС «Узень» получены следующие результаты:

1. *Определена стабильность работы всей установки НЭХЗ, включая станцию катодной защиты типа УКЗТ-5,0 А (НПП «ДОН») и аноды «Менделеевец-ММ».*

СКЗ работает надежно в ручном и автоматическом режимах.

Работа 20 анодов «Менделеевец - ММ» и всей УНЭХЗ в целом, в столь сложных условиях эксплуатации, также надежна.

2. *Определена стабильность работы всех датчиков, электродов и образцов - свидетелей.*

- Скорость коррозии, определённая по датчику коррозии типа ДК-1 ц в КДП № 2 при сдвиге поляризационного потенциала в катодную область на 100 мВ при температуре фунта 14 °С составляет 0,28 мм/год.
- Концентрация диффузионного водорода в трубной стали в точке дренажа (КДП № 1) находится на безопасном уровне и составляет 0,005 см³/100 г Fe, т. к. показания датчика водорода типа ДН-1 - 0,23 мА (предел - 0,4 мА).
- Эффективность НЭХЗ водовода, определённая по методу «Потеря массы образца» составила следующие величины: КДП № 1 -60 %, КДП № 2 -100%, КДП № 3 -77 %.

3. *Определены величины защитных потенциалов.*

Потенциалы с омической составляющей:

- Водовод «Астрахань-Мангышлак»

КИК № 1	-3,37 В
КИК № 2	-0,93 В
КИК № 3	-0,94 В
- Водовод «Бейнеу-Узень» -1,08В,
- Задвижка № 104 -0,53 (п) В,
- 1 нитка нефтепровода -1,21 В,

- 2 нитка нефтепровода -1,05 В.
4. *Определены величины удельного электрического сопротивления грунта.*
- Среднее УЭС при максимальной влажности грунта по трассе водовода:
КДП №1 -351,76 Ом-м,
КДП №2 -92,55 Ом-м,
КДП №3 -13,03 Ом-м.

Величины УЭС грунта свыше 10 Ом-м и величины защитных потенциалов отвечают требованиям ГОСТ.

- Среднее значение удельного сопротивления грунта на площадке размещения анодного заземления равно 447,53 Ом. м.

Таким образом, ОПИ НЭХЗ на ОПУ № 3 показали:

- целесообразность применения схемы установки НЭХЗ с горизонтальным расположением 20 шт. железокремниевых анодов «Менделеевец-ММ» в тонком слое грунта, 0,5 с высоким УЭС=448 Ом. м, с расположением анодов параллельно водоводу, в 12 м от него;
- стабильную работу УКЗТ - 5,0 А и анодов «Менделеевец - ММ» в разное время года: весной при максимальной влажности грунта и осенью при максимальном высыхании грунта;
- надежную работу датчиков коррозии ДК-1 ц, температуры грунта - ТМТ-4, водорода - ДН-1, медно-сульфатных электродов длительного действия, вспомогательных электродов, образцов-свидетелей;
- возможность эффективной катодной защиты наружной поверхности водовода на линейном узле, при наличии оголённых задвижек, камеры запуска и приёма скребков и смежных трубопроводов. Средний процент степени защиты равен 79 %, с допустимой скоростью коррозии равной 0,28 мм/год. По ГОСТу максимальная величина скорости коррозии равна 0,5 мм/год;
- положительное влияние установки НЭХЗ водовода «Астрахань-Мангышлак» на смежные сооружения: на 1 и 2 нитку нефтепровода и водовод «Бейнеу-Узень».

Технико-экономическое обоснование

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) выполнялось по двум направлениям:

- ТЭО внутренней комплексэлектрохимзащиты;
- ТЭО наружной электрохимической катодной защиты.

ТЭО внутренней комплексэлектрохимзащиты

В настоящее время при защите от коррозии внутренней поверхности водовода применяется ингибитор KW 2353 фирмы «Петролайт».

Для водовода «Астрахань-Мангышлак» нами предлагаются:

- внутренняя комплексная электрохимическая защита (ВКЭХЗ), которая будет состоять из 2-ух групп установок ВКЭХЗ. Каждая группа состоит из 5 шт. установок ВКЭХЗ. Каждая установка включает в себя:
- автоматическая станция катодной защиты типа УКЗТ - 5,0 А, НПП «ДОН»;
- внутренние железокремниевые аноды «Менделеевец-ММ», из 20 шт. электродов, расположенных на диэлектрических экранах;
- воздушная катодная линия, выполненная алюминиевым проводом, подвешенным на существующие опоры ВЛ - 10 кВ протяженностью 5000 м;
- внутренние комплексные контрольно-измерительные пункты, 5 шт.; О контактные устройства на трубопроводе, 5шт.;
- контактные устройства на внутренних анодах, 21 шт.

1-ая группа УВКЭХЗ устанавливается на первых 25 км водовода, начиная с насосной станции второго подъема (НС-2), головных очистных сооружений.

2-ая группа УВКЭХЗ устанавливается на 25 км водовода, начиная с 449 км водовода.

Расчёт ожидаемого годового экономического эффекта выполнен на основании «Методических рекомендаций по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса» по формуле:

$$\mathcal{E}_r = \frac{Z_{ГБ} - Z_{ГН}}{E_H + K_p}, \quad (1)$$

где: $Z_{ГБ}$ и $Z_{ГН}$ - затраты на реализацию мероприятий по базовому и новому вариантам;

E_H - норматив приведения разновременных затрат ($E_H=0,15$);

K_p - норма реновации, определяемая с учётом фактора времени ($K_p=0,004$).

Затраты по базовому и новому вариантам определяются из фактической цены защиты по базовому варианту 2900000 руб. в год на 1041 км или на 1 км - 27857 рублей, а по новому варианту 1204600 рублей или на 1 км 1157 рублей.

Принимая годовые эксплуатационные затраты по базовому и новому вариантам одинаковыми, ожидаемый годовой экономический эффект на 1041 км составит сумму 180489610 рублей, или по курсу доллара США=31,5 рублей - $\mathcal{E}_r=5729829$ долларов.

Величина ожидаемого годового экономического эффекта на 1 км водовода будет равна 5504 дол. США.

Данный экономический расчёт следует считать предварительным, а для уточнённого расчёта необходимы данные по фактическим затратам.

Для справки: стоимость потребляемой электроэнергии 10 УВКЭХЗ составит сумму: 365 дн. x 24 часа x 10 УВКЭХЗ x 5 квт/ час x 1 руб/ квт : 31, 5 руб/доллар США = 13905 долларов США или 1 3,4 дол. / км в год.

ТЭО наружной электрохимической катодной защиты

В настоящее время при катодной защите от коррозии наружной поверхности водовода в ЗАО «КазТрансОйл» в год монтируется 106 глубинных анодных заземлителей (ГАЗ) глубиной 40 м с 14 графитопластовыми электродами типа ЭГТ общей стоимостью 13.780.000руб.

Срок службы ГАЗ с ЭГТ в основном равен 1,2 и 3 года, иногда - до 5 лет.

РНИЦ РОСЗАЩИТА предлагает новый вариант для надёжной защиты наружной поверхности водовода от коррозии, а именно: применение в установках катодной защиты вместо ГАЗ горизонтальных анодных заземлений из 20 шт. железокремниевых электродов «Менделеевец» со сроком службы 10, 20 и 30 лет.

Расчёт ожидаемого годового экономического эффекта проводится по формуле 1, а результаты расчёта приведены в табл. 4.

Анализ данных, представленных в табл. 4, показывает, что величины ожидаемого годового экономического эффекта на 100 установок НЭХЗ лежат в диапазоне от 670 067 до 2 388 888 долларов США.

Выводы по внутренней защите

- Впервые на ОПУ были осуществлены одновременные ОПИ ВКЭХЗ водовода с речной волжской водой, разбалансированной активным хлором, с количеством растворённого кислорода до 16 мг/л.
- ВКЭХЗ от коррозии водовода не оказывает вредного влияния на НЭХЗ, качество воды, работу расходомеров.
- Эффективность внутренней КЭХЗ подтверждена 10 показателями.
- Оптимальной технологической схемой установки ВКЭХЗ является схема, предложенная РНИЦ РОСЗАЩИТА: с несколькими точками дренажа, с определённым их расположением и с максимальным удалением от ВАЖК.
- Оптимальное оборудование для установки ВКЭХЗ:
 - автоматическая станция катодной защиты типа УКЗТ-5,ОА;
 - 2 диодно-резисторных блока типа БДР-4-25;

- внутренние аноды из 20 шт. железо-кремниевых электродов типа «Менделеевец-ММ», расположенных в диэлектрических экранах;
- внутренние комплексные контрольно-измерительные пункты (ВККИП).

Ожидаемый годовой экономический эффект от применения внутренней КЭХЗ на водоводе «Астрахань-Мангышлак» более 5 млн. дол. США.

Таблица 4. Величины ожидаемого годового экономического эффекта от применения горизонтальных анодных заземлений из железо-кремниевых электродов «Менделеевец-ММ» в зависимости от сроков службы ГАЗ с электродами ЭГТ

Срок службы «Менделеевец-ММ», лет	Срок службы ГАЗ, год Экономический эффект в дол. США		
	2	1	3
10	1076085	2294206	670067
20	1147105	2365222	741084
30	1170769	2388888	764749

Выводы по наружной электрохимзащите

1. Определена оптимальная схема установки НЭХЗ, для линейных узлов на водоводе, для участков трубопроводов с нарушенным защитным покрытием, для участков трубопроводов, на которых потенциал защиты меньше величины стационарного потенциала новой стали в грунте (-0,55 В): для участков трубопроводов с высоким удельным сопротивлением грунтов (до 500 Ом-м), при котором горизонтальное анодное заземление ($A_{3\text{гор}}$) располагается параллельно защищаемому трубопроводу на расстоянии 10...30 м от него.
2. Определено оптимальное оборудование для установок НЭХЗ:
 - станция катодной защиты типа УКЗТ-5,0 А;
 - диодно-резисторный блок типа БДР-4-25;
 - железокремниевые электроды типа «Менделеевец-ММ» в коксо-минеральном активаторе (КМА);
 - датчики коррозии ДК-1ц, температуры грунта ТМТ-4, выделения водорода типа ДН-1;
 - образцы-свидетели из стали трубопровода, размером 75 x 150 x 2 мм.
3. Показана возможность эффективной катодной защиты от коррозии наружной поверхности водовода и задвижек без защитного покрытия, со сдвигом поляризационного потенциала в катодную область на 100 и более мВ.
4. Установки НЭХЗ не оказывают вредного влияния на смежные ПМС.
5. Необходимо результаты данной работы распространить на все установки НЭХЗ, т.к. только замена глубинных анодных заземлений из ЭГТ на горизонтальные анодные заземления с электродами «Менделеевец-ММ» на 100 УНЭХЗ с ГАЗ может дать годовой экономический эффект более 2 млн. дол. США.

Литература

1. Синько В.Ф., Синько Т.А., Синько В.В. Научно-технический отчет по договору № 2001. 7/92-НП-01 «Исследование, разработка рекомендаций и внедрение внутренней комплексной электрохимической и наружной электрохимической катодной защиты от коррозии водовода «Астрахань-Мангышлак», г. Коломна, 2002.
2. ГОСТ Р 51164-98. Единая система защиты от коррозии и старения. Магистральные трубопроводы. М., ГС РФ, 1999 .
3. Синько В.Ф., Синько Т.А. Рекомендации по внутренней комплексной электрохимической катодной защите от коррозии опытно-промышленного участка № 1 (ОПУ-ВКЭХЗ № 1) на левом трубопроводе «Астрахань-Мангышлак», от береговой насосной станции до насосной станции 2-го подъёма ЛПДС «КИГАЧ». Коломна, 2000, 58.
4. СНиП 2.03.11.85* «Защита строительных конструкций от коррозии». М., Минстрой РФ, 1995.
5. Красноярский В.В., Цикерман Л.Я. Коррозия и защита подземных металлических сооружений. М., Высшая школа, 1968 .
6. Синько В.Ф., Синько Т.А. Рекомендации по наружной электрохимической катодной защите от коррозии водовода «Астрахань-Мангышлак» на опытно-промышленном участке (ОПУ-НЭХЗ № 2, на 832 км). Коломна, 2001.
7. АС СССР № 1469898. Коррозионно-стойкий сплав на основе железа. М., 1987 .
8. Свидетельство РФ №13120. Соединение магистрального кабеля с питающими кабелями от анодов. М., 2000 .
9. Патент РФ № 2161353. Коксо-минеральный активатор анодов электрохимической защиты от коррозии. М., 2000 .
10. Методические указания по применению индикаторов типа ДК-1 для контроля скорости коррозии подземных трубопроводов. М., ИФХРАН, 1998.
11. Методические указания по применению индикатора типа ДН-1 для контроля наводораживания подземных трубопроводов. М., ИФХРАН, 1998.
12. Синько В.Ф., Синько Т.А. Рекомендации по наружной электрохимической катодной защите от коррозии водовода «Астрахань - Мангышлак» на опытно-промышленном участке (ОПУ-НЭХЗ № 3, на 973 км). Коломна, 2001.