

### 6.3 Опытные-промышленные испытания противокоррозионной обработки воды силикополифосфатом цинка-натрия

В настоящее время для Казахстана, как и для стран СНГ в целом, весьма актуальна проблема коррозии внутренней поверхности стальных магистральных водопроводов различного назначения, в том числе и питьевого, поскольку конструкции эти являются морально не стареющими, и срок их службы определяется лишь сохранностью уложенного в землю металла. При этом скорость внутренней коррозии трубопроводов составляет от 0,2-0,8 мм/год и без использования защитных мероприятий срок их службы не превышает 10-12 лет [138].

Особенно остро стоит проблема внутренней коррозии трубопроводов для ряда регионов нашей республики, отличающихся повышенной коррозионной активностью воды. К числу таких регионов относится Кызылординская область, для которой практически единственными источниками водоснабжения являются реки Сырдарья и Амударья. Верховья и русла этих рек находятся в зоне интенсивной эрозии пермских отложений и засоленных почв, что обуславливает высокое содержание сульфат- и хлорид-ионов (таблица 40). Это не только влияет на здоровье людей, но и ускоряет коррозию металла, в результате чего ухудшается как качество транспортируемой воды, так и увеличиваются расходы на эксплуатацию водопроводов.

Таблица 40. Результаты химического анализа питьевой воды г.Кызылорды

Дата отбора (1997г)	pH	Общая жесткость, мг-экв/л	Содержание компонентов, мг/л						
			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Fe <sub>общ</sub>	Cu <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Сухой остаток
Май	7,1	3,8	41,0	25,2	0,40	0,36	124,0	440,0	1140,0
Сентябрь	7,0	6,6	68,4	42,5	0,54	0,43	222,0	474,0	1220,0
Ноябрь	7,2	5,9	56,2	32,6	0,38	0,70	185,0	450,0	1195,0

Следует отметить, что на водоочистных сооружениях Кызылординского водопровода, кроме обработки воды коагулянтном – сернокислым алюминием, проводимой в целях удаления взвешенных веществ, механических и коллоидных примесей и обеспечения качества воды по показателю мутности, а также ее обеззараживания путем хлорирования другие мероприятия не проводятся.

О внутренней коррозии стальных водоводов свидетельствует повышенное содержание как общего, так и закисного растворенного железа в воде (таблица 40), превышающее нормативы ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая» (0,3 мг/л).

Хотя химической лабораторией водоочистных сооружений Кызылординского водопровода и не проводились систематические определения концентрации железа в воде, все же по имеющимся разовым анализам можно сказать, что его содержание на входе в резервуар чистой воды насосной станции II-го подъема (рисунок 75) до проведения опытно-промышленных испытаний колебалось в пределах 0,3-0,6 мг/л, что в 1,5-2 раза выше нормативов ГОСТ. Кроме того, проводимые плановые ревизии внутренней поверхности магистральных водоводов Кызылординского водопровода показали ее существенное обрастание продуктами коррозии и снижение пропускной способности трубопровода.

Учитывая вышеизложенное, было предложено провести опытно-промышленные испытания антикоррозионной обработки воды разработанными силикополифосфатными ингибиторами состава (мас. %):  
 $\text{Na}_2\text{O}$  - 22,2;  $\text{ZnO}$  - 8,5;  $\text{P}_2\text{O}_5$  - 65,3;  $\text{SiO}_2$  - 4,0, опытная партия которых была наработана на ОАО «Тараз-Фосфор» (акт прилагается).

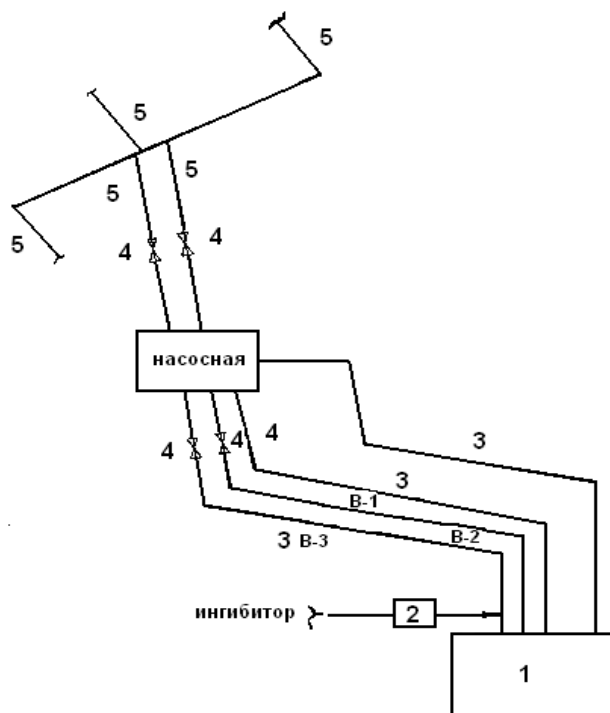


Рис. 75. Схема водоводов участка № 3 Кызылординского водопровода:  
1 – водоочистные сооружения; 2 – дозатор; 3 – магистральные водоводы;  
4 – смотровые колодцы; 5 – внутриквартальные сети.

Для проведения испытаний был выделен участок № 3 Кызылординского водопровода, где расположены магистральные водоводы, транспортирующие воду от водоочистных сооружений до насосной II-го подъема.

В качестве испытуемого водовода был выбран водовод В-3 длиной 11080 метров и диаметром труб 530 мм. Контрольными водоводами служили водоводы В-1 и В-2 того же диаметра (рисунок 75).

Рабочий 1%-ный раствор ингибитора готовили в расходной емкости объемом 1,2 м<sup>3</sup>, из которой его подавали через шайбовый дозатор на всас насоса, подающего воду из резервуара чистой воды в трубопровод В-3. Подачу устанавливали таким образом, чтобы остаточная концентрация ингибитора на выходе (контрольная точка № 3 – смотровой колодец водовода В-3 перед насосной II-го подъема) не превышала 1 мг Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>/л (рисунок 75), что соответствует нормативам ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая».

Концентрация катионов цинка при этом не превышала 0,4 мг/л, что в 2,5 раза ниже предельно-допустимой концентрации катионов цинка для питьевых вод. Суточный расход силикополифосфата цинка-натрия при данном режиме дозирования составил 35 кг.

Об эффективности антикоррозионной обработки воды судили по коррозии образцов-индикаторов, помещенных в поток воды. Следует отметить, что для коррозионного контроля внутренней поверхности водоводов применяется большое количество датчиков самой разнообразной конструкции [143].

Однако большинству из них присущ ряд недостатков, главными из которых являются неэквивалентность гидродинамических и электрохимических условий датчика и внутренней поверхности водовода, трудности при установке и извлечении образцов и др.

Для получения достоверных данных о коррозионном состоянии стенок водовода необходимо использовать образцы-индикаторы, которые должны быть изготовлены из материала трубопровода, обеспечивать эквивалентность процессов, протекающих на поверхности датчика и внутренних стенках трубопровода, а также возможность их взвешивания с достаточной точностью. Учитывая вышеизложенное, нами, в качестве индикаторов коррозии были использованы датчики и устройства для их установки в трубопровод конструкции треста «Южводопровод» [268], представляющие собой вырезки из труб с площадью рабочей поверхности 1,0÷1,5 дм<sup>2</sup> и весом не более 1 кг. Образец-свидетель и схема устройства для его установки в водовод показаны на рисунке 76.

Перед установкой в водовод поверхность образцов-индикаторов вручную очищали от продуктов коррозии, окислы и жировых загрязнений стальными щетками, а затем абразивными шкурками различной крупности и обезжиривали влажным асбестом. Качество обезжиривания проверяли промывкой образца струей дистиллированной воды – если рабочая поверхность образца была

покрыта сплошной пленкой влаги, то его считали обезжиренным. В противном случае обезжиривание повторяли. Затем образцы-индикаторы взвешивали.

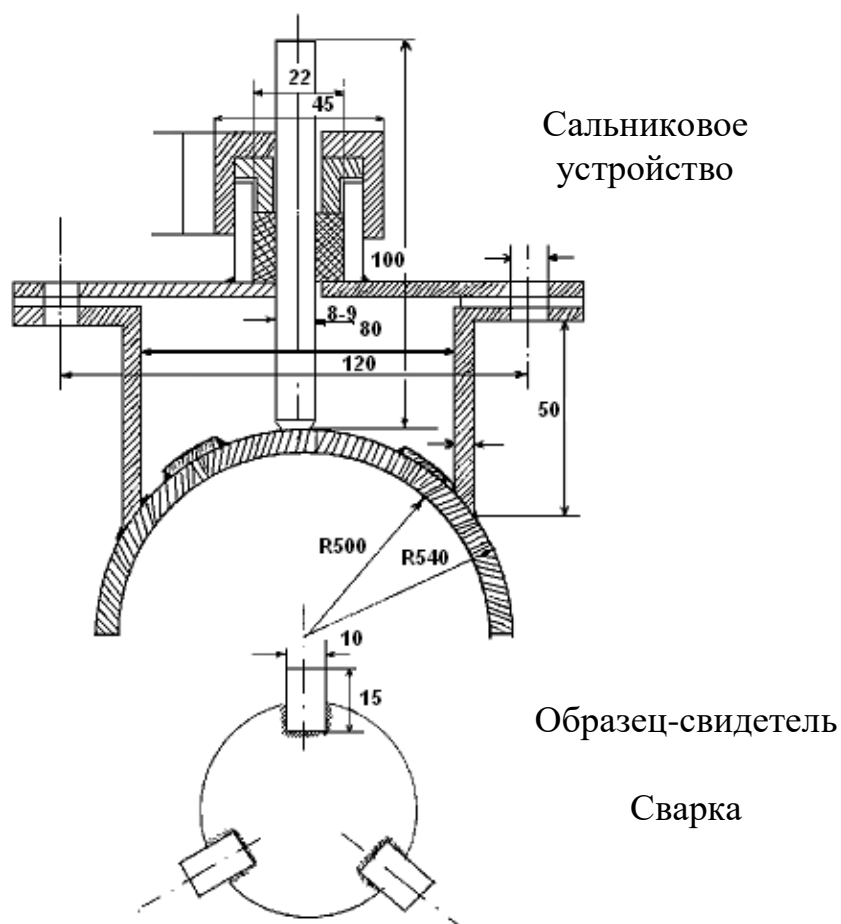


Рис. 76. Индикатор коррозии и устройство для его установки в трубопровод

Торцы, наружную поверхность образца, а также внутреннюю поверхность заглушки, в которую его устанавливали, изолировали водостойким нитролаком. После испытаний датчики извлекали из трубопровода и высушивали на воздухе при комнатной температуре. После чего производили визуальные наблюдения и механическим путем удаляли продукты коррозии, образовавшиеся на рабочей поверхности образцов-индикаторов для рентгенофазового анализа. Оставшиеся коррозионные отложения удаляли химическим путем используя специальные ингибированные растворы, образцы сушили, снимали растворителем изолирующее покрытие, промывали датчики дистиллированной водой, высушивали и взвешивали.

Кроме коррозионного контроля по данным образцов-свидетелей, был проведен мониторинг химико-аналитических характеристик транспортируемой воды путем систематического отбора и анализа проб воды из смотровых колодцев по трассе как контрольных, так и испытываемого водоводов (таблицы 41-43).

Таблица 41. Химико-аналитические показатели исходной воды р.Сыр-Дарья

Дата отбора проб	рН	Концентрация, мг/л					
		Растворенного кислорода	Общего растворенного железа	Катионов Fe <sup>+2</sup>	Катионов Fe <sup>+3</sup>	Анионов SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Полифосфатов в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
02.10.98	7,2	9,0	0,18	0,01	0,17	446,0	0,09
06.10.98	7,3	9,1	0,19	0,01	0,18	448,9	0,09
09.10.98	7,3	9,4	0,17	0,01	0,16	455,5	0,09
12.10.98	7,4	9,2	0,17	0,03	0,14	449,4	0,15
16.10.98	7,6	9,4	0,20	0,02	0,18	443, 1	0,15
19.10.98	7,4	9,6	0,17	0,02	0,15	442, 5	0,08
23.10.98	7,3	9,6	0,16	0,03	0,13	492,8	0,07
26.10.98	7,3	9,8	0,17	0,02	0,15	488,3	0,12
29.10.98	7,4	9,8	0,14	0,02	0,12	490,0	0,08
03.11.98	7,2	9,8	0,15	0,02	0,13	474,6	0,08
05.11.98	7,3	9,7	0,16	0,01	0,15	454,1	0,09
09.11.98	7,2	9,6	0,14	0,03	0,11	457,5	0,12
12.11.98	7,1	9,7	0,17	0,02	0,15	455,2	0,10
17.11.98	7,2	9,8	0,15	0,02	0,13	452,8	0,12
20.11.98	7,3	10,1	0,11	0,02	0,09	458,4	0,11
23.11.98	7,3	9,8	0,15	0,03	0,12	450,8	0,12
27.11.98	7,3	9,7	0,16	0,03	0,13	451,8	0,12
01.12.98	7,3	10,1	0,17	0,02	0,15	451,4	0,12
04.12.98	7,4	10,0	0,18	0,02	0,16	455,6	0,10
07.12.98	7,4	10,2	0,21	0,02	0,19	457,1	0,11
11.12.98	7,4	10,2	0,16	0,02	0,14	454,9	0,13
14.12.98	7,3	10,3	0,18	0,02	0,16	451,8	0,14
17.12.98	7,5	10,6	0,19	0,03	0,16	56,8	0,14
21.12.98	7,4	10,5	0,21	0,02	0,19	456,9	0,14
24.12.98	7,4	10,6	0,19	0,02	0,17	454,1	0,14
28.12.98	7,3	10,5	0,19	0,03	0,16	451,3	0,14
30.12.98	7,4	10,5	0,18	0,01	0,17	452,8	0,15
04.01.99	7,3	10,6	0,18	0,01	0,17	455,7	0,13
08.01.99	7,4	10,6	0,17	0,01	0,16	451,4	0,14
11.01.99	7,4	10,5	0,20	0,01	0,19	457,9	0,12
15.01.99	7,4	10,5	0,17	0,01	0,16	455,6	0,10
18.01.99	7,3	10,5	0,20	0,02	0,18	454,2	0,11
22.01.99	7,4	10,6	0,19	0,01	0,18	454,5	0,12
25.01.99	7,3	10,6	0,18	0,02	0,16	451,3	0,12

Таблица 42. Усредненные аналитические характеристики воды испытываемого водовода В-3

Дата отбора проб	рН	Концентрация, мг/л						
		O <sub>2</sub> раст	Σ(Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup> )	Fe <sup>+2</sup>	Fe <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (остат)	Zn <sup>+2</sup>
2.10.98	7,0	8,6	0,56	0,21	0,45	54,6	2,1	0,6
6.10.98	7,2	8,6	0,60	0,22	0,38	54,8	2,0	0,6
9.10.98	7,2	8,7	0,64	0,22	0,42	50,5	2,0	0,6
12.10.98	7,0	8,7	0,63	0,22	0,41	54,9	1,8	0,5
16.10.98	7,1	8,6	0,66	0,22	0,44	54,8	1,8	0,5
19.10.98	7,2	8,7	0,65	0,22	0,43	54,6	2,0	0,6
23.10.98	7,2	8,8	0,65	0,21	0,44	54,8	1,8	0,5
26.10.98	7,3	8,9	0,66	0,22	0,44	54,6	1,7	0,5
29.10.98	7,3	9,0	0,64	0,21	0,43	54,5	1,9	0,5
3.11.98	7,3	9,1	0,62	0,21	0,41	54,6	1,7	0,6
5.11.98	7,2	9,1	0,62	0,21	0,41	54,8	1,7	0,5
9.11.98	7,1	9,1	0,61	0,20	0,41	54,7	1,8	0,5
12.11.98	7,3	9,1	0,60	0,20	0,40	54,8	1,7	0,5
17.11.98	7,2	9,2	0,59	0,19	0,40	55,2	1,7	0,5
20.11.98	7,1	9,3	0,58	0,19	0,39	52,8	1,6	0,6
23.11.98	7,2	9,2	0,57	0,17	0,40	58,4	1,5	0,5
27.11.98	7,2	9,3	0,55	0,18	0,37	56,4	1,4	0,5
1.12.98	7,3	9,5	0,53	0,15	0,38	51,8	1,5	0,6
4.12.98	7,3	9,6	0,52	0,15	0,37	54,7	1,5	0,5
7.12.98	7,3	9,7	0,52	0,15	0,37	55,6	1,5	0,5
11.12.98	7,3	9,8	0,61	0,15	0,46	57,1	1,5	0,5
14.12.98	7,2	9,8	0,50	0,14	0,36	59,9	1,4	0,4
17.12.98	7,2	9,9	0,48	0,15	0,33	54,6	1,4	0,4
21.12.98	7,1	9,9	0,48	0,14	0,34	56,8	1,5	0,5
24.12.98	7,2	9,9	0,48	0,13	0,35	56,9	1,6	0,5
28.12.98	7,3	10,0	0,46	0,13	0,46	54,1	1,5	0,6
4.01.99	7,3	10,0	0,45	0,13	0,32	52,8	1,6	0,6
8.01.99	7,2	9,9	0,40	0,13	0,37	52,3	1,6	0,6
11.01.99	7,3	10,0	0,38	0,12	0,26	55,7	1,6	0,5
15.01.99	7,2	10,1	0,39	0,12	0,27	54,4	1,5	0,5
18.01.99	7,3	9,9	0,36	0,12	0,24	57,9	1,5	0,5
22.01.99	7,2	10,0	0,34	0,12	0,22	55,6	1,5	0,5
25.01.99	7,2	10,0	0,32	0,11	0,21	54,2	1,6	0,5
29.01.99	7,2	10,0	0,31	0,11	0,20	54,7	1,5	0,5
2.02.99	7,2	9,9	0,31	0,11	0,20	56,2	1,6	0,5

Таблица 43. Усредненные аналитические характеристики воды  
контрольного водовода В-2

Дата отбора проб	рН	Концентрация, мг/л						
		O <sub>2</sub> раст	Σ(Fe <sup>+2</sup> , Fe <sup>+3</sup> )	Fe <sup>+2</sup>	Fe <sup>+3</sup>	Ca <sup>+2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (остат)	Zn <sup>+2</sup>
2.10.98	7,0	8,4	0,51	0,21	0,30	54,6	0,1	0,0
6.10.98	7,2	8,5	0,52	0,22	0,30	54,8	0,0	0,0
9.10.98	7,2	8,6	0,54	0,23	0,31	50,5	0,1	0,0
12.10.98	7,0	8,5	0,53	0,24	0,29	54,9	0,1	0,0
16.10.98	7,1	8,5	0,55	0,23	0,32	54,8	0,1	0,0
19.10.98	7,2	8,5	0,50	0,23	0,27	54,6	0,1	0,0
23.10.98	7,2	8,6	0,53	0,23	0,30	54,8	0,0	0,0
26.10.98	7,3	8,6	0,54	0,24	0,30	54,6	0,0	0,0
29.10.98	7,3	8,7	0,53	0,24	0,29	54,5	0,1	0,0
3.11.98	7,3	8,8	0,56	0,24	0,32	54,6	0,1	0,0
5.11.98	7,2	8,7	0,55	0,23	0,32	54,8	0,0	0,0
9.11.98	7,1	8,8	0,55	0,22	0,33	54,7	0,0	0,0
12.11.98	7,3	8,7	0,52	0,24	0,28	54,8	0,1	0,0
17.11.98	7,2	8,7	0,53	0,23	0,30	55,2	0,1	0,0
20.11.98	7,1	8,8	0,55	0,23	0,32	52,8	0,1	0,0
23.11.98	7,2	8,8	0,55	0,23	0,32	58,4	0,2	0,0
27.11.98	7,2	8,8	0,54	0,24	0,30	56,4	0,1	0,0
1.12.98	7,3	8,9	0,54	0,23	0,31	51,8	0,1	0,0
4.12.98	7,3	9,0	0,56	0,24	0,32	54,7	0,2	0,0
7.12.98	7,3	9,0	0,55	0,25	0,30	55,6	0,1	0,0
11.12.98	7,3	9,0	0,55	0,25	0,30	57,1	0,0	0,0
14.12.98	7,2	9,0	0,55	0,24	0,31	59,9	0,1	0,0
17.12.98	7,2	9,0	0,56	0,25	0,31	54,6	0,0	0,0
21.12.98	7,1	9,0	0,56	0,24	0,32	56,8	0,1	0,0
24.12.98	7,2	9,0	0,59	0,25	0,34	56,9	0,1	0,0
28.12.98	7,3	9,1	0,57	0,25	0,32	54,1	0,1	0,0
4.01.99	7,3	9,1	0,57	0,24	0,33	52,8	0,0	0,0
8.01.99	7,2	9,0	0,56	0,25	0,31	52,3	0,1	0,0
11.01.99	7,3	9,0	0,58	0,25	0,33	55,7	0,1	0,0
15.01.99	7,2	9,1	0,59	0,24	0,35	54,4	0,1	0,0
18.01.99	7,3	9,0	0,56	0,26	0,30	57,9	0,1	0,0
22.01.99	7,2	9,1	0,54	0,26	0,28	55,6	0,1	0,0
25.01.99	7,2	9,1	0,55	0,26	0,29	54,2	0,0	0,0
29.01.99	7,2	9,0	0,54	0,27	0,27	54,7	0,0	0,0
2.02.99	7,2	9,0	0,56	0,27	0,29	56,2	0,1	0,0

Мониторинг вели по содержанию закисного, общего окисленного железа, а также растворенного в воде кислорода, которые являются непосредственными характеристиками коррозионного процесса. Кроме того, проводили замер pH, а также определяли начальную и остаточную концентрацию подаваемого силикополифосфата. Результаты анализов представлены в таблицах 41-43.

Данные мониторинга химико-аналитических характеристик воды показали, что в первый период антикоррозионной обработки количество общего железа увеличивается в 1,25 раз по сравнению с тем же параметром для контрольного водовода, достигая максимума в первые 15 суток (рисунок 77, кривая 2).

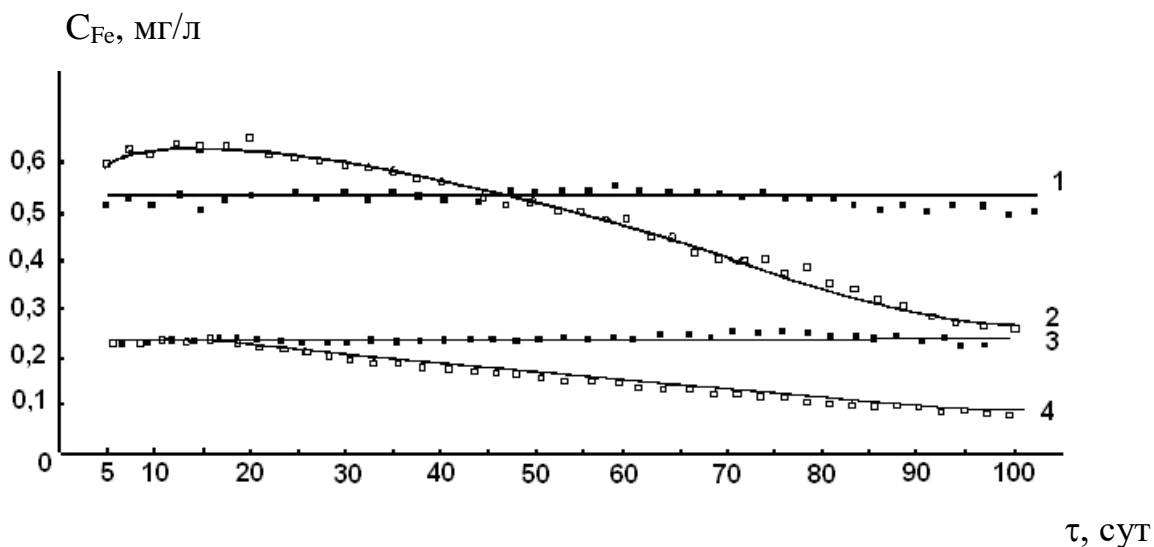


Рис. 77. Мониторинг эффективности ингибирующего действия силикополифосфатов цинка-натрия по содержанию окисленного железа в смотровых колодцах в конце трассы испытываемого водовода В-3 (1;3) и контрольного водовода В-2 (2;4): 1;2 – общее окисленное железо; 3;4 – содержание двухвалентного железа.

Затем концентрация общего железа в воде снижается, составляя к концу испытаний величину 0,3 мг/л, что соответствует нормативам ГОСТ «Вода питьевая».

Концентрация катионов двухвалентного железа, являющегося непосредственным показателем протекания коррозионного процесса, в воде испытываемого водовода равномерно снижается во времени (рисунок 77, кривая 4).

В контрольном же водоводе в отсутствие ингибитора концентрация как двухвалентного, так и общего окисленного железа практически не менялась во времени, при этом превышая допустимые нормативы ГОСТ в 2 раза (рисунок 77, кривые 1,3).



Снижение концентрации двухвалентного железа в воде при ее обработке силикополифосфатным цинксодержащим ингибитором свидетельствует о торможении анодного процесса окисления металла трубопровода.

Некоторое увеличение концентрации общего железа, то есть суммарного содержания двух- и трехвалентного, в период подачи ингибитора, по-видимому связано с пептизирующей способностью по отношению к верхнему слою продуктов коррозии, состоящих в основном из гетита, олигофосфатных анионов, образующихся при гидролизе силикополифосфата (глава 3).

Анализ результатов мониторинга по второму показателю коррозионного процесса – содержанию растворенного кислорода также свидетельствует о торможении внутренней коррозии стальных водоводов при обработке воды силикополифосфатами цинка-натрия. Так, концентрация растворенного кислорода в воде испытуемого водовода В-3 остается практически постоянной по всей его длине, тогда как в контрольных водоводах В-1 и В-2 перепад концентраций по трассе составляет 1,5-2,0 мг/л (рисунок 78 кривые 1,2).

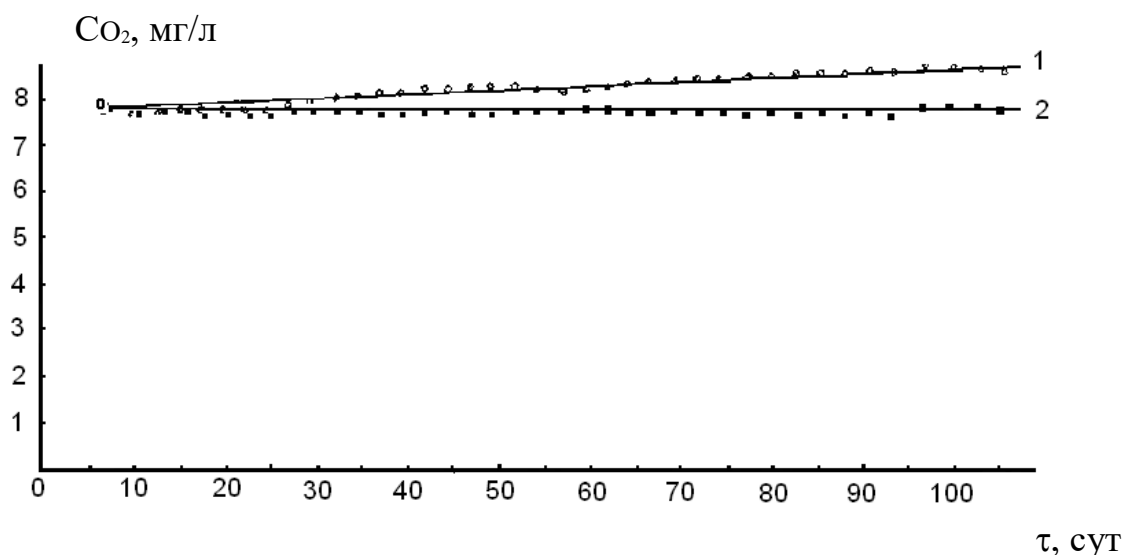


Рис. 78. Мониторинг эффективности ингибирующего действия силикополифосфатов цинка-натрия по содержанию растворенного кислорода в смотровых колодцах в конце трассы испытуемого водовода В-3 (1) и контрольного водовода В-2 (2)

Помимо мониторинга эффективности ингибирующего действия силикополифосфатного ингибитора были проведены визуальный осмотр и гравиметрический анализ образцов-индикаторов, установленных в контрольных (В-1 и В-2) и испытуемом водоводах (В-3), а также химический и рентгенофазовый анализ отложений, снятых с их поверхности. Полученные результаты представлены в таблицах 44, 45 и на рисунке 79.

Таблица 44 – Изменения массы и скорость коррозии стальных образцов-индикаторов, установленных на водоводах Кызылординского водопровода.  $S_{обр} = 176,6 \text{ см}^2$

Дата и место установки датчика	№ датчика	Время испытаний	Масса датчика до испытаний, г	Масса датчика после испытаний, г	Потеря массы, г	Скорость коррозии $\text{мг/см}^2 \cdot \text{сут}$
Водовод В-1 02.10.1998- 02.02.1999	1	124	164,78	162,21	2,57	0,14±0,03
	2	124	167,49	163,12	4,37	
	3	124	166,24	163,32	2,92	
	4	124	168,50	165,85	2,65	
Водовод В-2 29.09.1998- 01.02.1999	5	126	175,09	171,31	3,78	0,14±0,04
	6	126	169,00	165,74	3,26	
	7	126	172,49	169,40	3,09	
	8	126	170,75	168,00	2,75	
Водовод В-3 03.10.1999- 03.02.1999	9	124	169,36	168,96	0,40	0,05±0,01
	10	124	170,07	168,48	1,59	
	11	124	172,51	171,50	1,01	
	12	124	174,30	173,21	1,09	

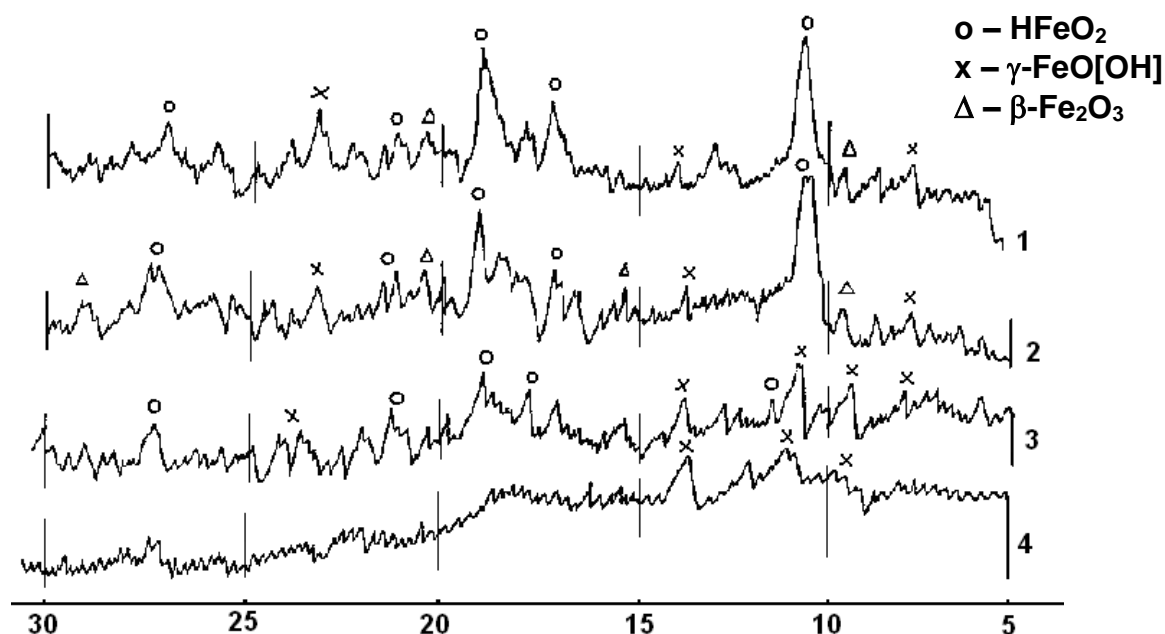


Рис. 79. Рентгенограммы коррозионных отложений: 1 – водовод В-1; 2 – водовод В-2; 3 – водовод В-3 (верхний слой); 4 – водовод В – 3 (нижний слой)

Таблица 45. Химический состав коррозионных отложений на стенках стальных водоводов Кызылординского водопровода. Опытно-промышленные испытания

Место отбора проб	Гигроскопическая влага, %	Структурно-связанная вода, %	Содержание компонентов в пересчете на оксиды, мас.%					
			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	ZnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>
Водовод В-1 (контроль)	1,37±0,15	15,01±0,30	70,74±0,63	3,26±0,17	1,19±0,07	0,00	0,10±0,01	6,00±0,07
Водовод В-2 (контроль)	1,04±0,15	15,30±0,23	70,91±0,69	3,40±0,14	1,08±0,12	0,00	0,10±0,01	6,00±0,07
Водовод В-3 (испытуемый, обработка воды силикополифосфатом)	2,21±0,15	19,41±0,15	63,87±0,61	1,68±0,11	0,83±0,10	0,57±0,03	1,69±0,01	8,19±0,15

Из анализа полученных данных следует, что скорость коррозии стенок стальных водоводов, транспортирующих воду без добавок, определенная по потере массы образцов-свидетелей составляет 0,14 мг/см<sup>2</sup>·сут. Та же величина для образцов, установленных в водовод В-3, транспортирующий воду с добавкой силикополифосфата натрия-цинка, равна 0,05 мг/см<sup>2</sup>·сут, что соответствует степени защитного действия 64,3%.

Кроме того, антикоррозионная обработка воды силикополифосфатом цинка-натрия оказывает влияние как на химический, так и на фазовый состав продуктов коррозии. Так, коррозионные отложения на внутренней поверхности водовода В-3 имеют рентгеноаморфный характер, в отличие от кристаллических железистоокисных соединений, образовавшихся на стенках водовода В-2 (таблица 46, рисунок 79, кривые 3,4). Химический анализ отложений, сформировавшихся в период обработки воды ингибитором показал, что содержание фосфатов в них в 6 раз, а силикатов в 1,4 раза выше, чем в контрольных. Содержание же железистоокисных соединений, а также солей кальция напротив, меньше (таблица 45).

Таблица 46. Фазовый состав коррозионных отложений

№ пробы	Место отбора проб	Характер отложений (визуальные наблюдения)	Фазы
1	Водовод В-1 (контроль)	Капле- и лепешкообразные отложения рыжего и темно-коричневого цвета, довольно рыхлые	HFeO <sub>2</sub> – гетит γ - FeO[OH] – лепидокрокит β-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – гидрогематит
2	Водовод В-2 (контроль)	Шлакообразные отложения рыжего и коричневого цвета высотой 15-20 мм	HFeO <sub>2</sub> – гетит γ - FeO[OH] – лепидокрокит FeFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> – магнетит CaCO <sub>3</sub> - кальцит
3	Водовод В-3 (постоянное дозирование ингибитора)	Равномерные отложения: Верхний слой – желтого цвета, адгезия слабая Нижний – темнокоричневый, адгезия высокая	HFeO <sub>2</sub> – гетит Рентгеноаморфная фаза

Из анализа проведенных опытно-промышленных испытаний следует, что антикоррозионная обработка воды силикополифосфатом цинка–натрия в режиме поддержания остаточной концентрации на выходе из водовода не менее 1,0 мг  $P_2O_5$ /л снижает концентрацию как катионов двухвалентного железа, так и суммарное содержание двух- и трехвалентного железа в 2-2,5 раз (рисунок 77), что помимо снижения внутренней коррозии стенок стальных водоводов улучшает органолептические характеристики воды по этому показателю [265].

Кроме того, испытания подтверждают высказанную выше (глава 4) гипотезу механизма ингибирующего действия силикополифосфатных ингибиторов коррозии металлов в водных средах.

Известно [142], что при температурах 25°C и ниже основным, первичным продуктом коррозии нелегированной стали в воде является аморфный гидроксид железа  $FeO(OH)$ . Он обладает хорошей адгезией к металлу и высокими защитными свойствами. Однако со временем в присутствии растворенного в воде кислорода  $FeO(OH)$  превращается в различные кристаллические железистоокисные соединения, не препятствующие доступу кислорода к поверхности металла, что и подтверждают испытания (рисунок 77, кривые 1 и 2).

Наличие в транспортируемой воде силикополифосфата и продуктов его гидролиза – олиго-, дифосфатов, кремниевой кислоты, ведет к их адсорбции аморфным  $FeO(OH)$  и его стабилизации в этом состоянии.

Кроме того, помимо физической адсорбции происходит и хемосорбция, в результате которой защитные свойства  $FeO(OH)$  усиливаются за счет образования ферросиликатов и, возможно, дифосфатов цинка и железа (таблица 45). Акт проведенных испытаний прилагается.