

КОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА КОНСТРУКЦИЙ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ СТОЧНЫХ ВОД ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Жалилов Т.К

Адизов Б.З.

¹ АО «Узбекнефтегаз», Республика Узбекистан, г. Ташкент.

e-mail:

Jalilovpulatp@gmail.com

² Институт общей и неорганической химии АН РУз., Ташкент.

e-mail: bobirjon_adizov@mail.ru

Аннотация: В работе рассмотрены проектные решения по коррозионной защите конструкций очистных сооружений газоперерабатывающих заводов (ГПЗ), эксплуатируемых в условиях высокой минерализации сточных вод. Очистные сооружения эксплуатируются при воздействии сточных вод с высоким содержанием агрессивных ионов: хлориды — 7233,8 мг/л, сульфаты — 272,4 мг/л, гидрокарбонаты — 3538,0 мг/л, кальций — 75,2 мг/л, магний — 60,8 мг/л. Суммарная минерализация сточных вод превышает 11 000 мг/л, что создаёт экстремально агрессивную среду для бетонных и металлических конструкций. В этих условиях для повышения коррозионной стойкости применяются комплексные методы защиты, включая использование сульфатостойкого цемента, полимерных и композитных материалов, эпоксидных покрытий и электрохимической (катодной) защиты. Реализация комплекса мероприятий обеспечивает расчётный срок службы сооружений не менее 25 лет.

Ключевые слова: коррозионная защита, очистные сооружения, минерализованные сточные воды, хлориды, сульфаты, сульфатостойкий цемент, эпоксидное покрытие.

ВВЕДЕНИЕ

Очистные сооружения предприятий переработки углеводородного сырья эксплуатируются в условиях воздействия сточных вод с высокой минерализацией, содержащих хлориды до 7233,8 мг/л, сульфаты до 272,4 мг/л и суммарную минерализацию более 11 000 мг/л. Эти концентрации значительно превышают предельные значения, при которых начинается интенсивная коррозия строительных материалов: при концентрациях хлоридов и сульфатов, превышающих нормативные значения для неагрессивных сред [1]. Высокая

концентрация растворённых солей создаёт агрессивную электролитическую среду, вызывающую ускоренную коррозию арматуры и снижение расчётного срока службы железобетонных конструкций [2].

Хлорид-ион является одним из наиболее опасных факторов коррозии железобетона, поскольку обладает высокой диффузионной способностью и способен проникать через поровую структуру бетона даже при низкой проницаемости. Достигнув поверхности арматуры, хлориды нарушают пассивирующий слой оксидов железа и инициируют локальную электрохимическую коррозию. Это приводит к возникновению внутренних напряжений, растрескиванию защитного слоя бетона и потере несущей способности конструкций [3]. Сульфатная агрессия, в свою очередь, проявляется через реакцию сульфат-ионов с гидратами алюмината кальция в цементном камне с образованием расширяющихся кристаллогидратов — этtringита ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$) и гипса ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Кристаллизационное давление этих соединений создаёт внутренние напряжения, превышающие прочность цементного камня [4].

Проблема коррозионной стойкости приобретает особую актуальность для сооружений очистки сточных вод газоперерабатывающих предприятий Узбекистана, где помимо высокой минерализации стоков необходимо учитывать специфические природно-климатические факторы: сейсмичность района до 8 баллов по шкале сейсмичности (КМК 2.01.03-96) [5], засоленность грунтов (хлориды >1000 мг/кг), высокие температуры воздуха до $+45^\circ\text{C}$, ускоряющие кристаллизацию и концентрацию солей на поверхности бетона. В таких условиях традиционные методы защиты (обычный портландцемент, лакокрасочные покрытия) оказываются недостаточными, что подтверждается практикой эксплуатации существующих очистных сооружений, где за 10–15 лет службы наблюдается разрушение до 40% защитного слоя бетона и коррозия до 30% арматурного каркаса [6].

Для обеспечения долговечности очистных сооружений применяются комплексные методы защиты, включая:

—использование сульфатостойкого цемента марки М500 для монолитных железобетонных конструкций (пескоуловители, нефтеуловители, усреднители);

—применение композитных материалов на основе стеклопластика (FRP) и полиэтилена высокой плотности (HDPE) для трубопроводов в зонах контакта с агрессивной средой;

—устройство электрохимической (катодной) защиты с сопротивлением заземления ≤ 30 Ом при удельном сопротивлении грунта $\rho = 380$ Ом·м;

—нанесение эпоксидных покрытий толщиной 300–500 мкм на поверхности подземных сооружений, эксплуатируемых в условиях засоленных грунтов.

Современные исследования показывают, что интеграция указанных методов защиты позволяет увеличить расчётный срок службы очистных сооружений до 25–30 лет даже при концентрации хлоридов >7000 мг/л, что подтверждается данными эксплуатации очистных сооружений нефтегазовых предприятий Узбекистана [7]. Экономический эффект от применения комплексной коррозионной защиты заключается не только в снижении затрат на капитальный ремонт, но и в предотвращении аварийных ситуаций, связанных с разрушением конструкций и возможными экологическими последствиями [8].

Комплексная система коррозионной защиты включает пять взаимодополняющих барьеров:

1. *Материал первого барьера* — сульфатостойкий портландцемент марки М500 с содержанием алюминатов кальция СЗА $<5\%$, обеспечивающий 3,2-кратное повышение стойкости к сульфатной коррозии по сравнению с обычным цементом марки М400. Применяется для монолитных железобетонных конструкций: пескоуловителей ($12,0 \times 6,0 \times 2,5$ м), нефтеуловителей ($16,0 \times 6,0 \times 2,5$ м), усреднителей ($15,0 \times 15,0 \times 5,0$ м).

2. *Материал второго барьера* — композитные материалы на основе стеклопластика (FRP) и полиэтилена высокой плотности (HDPE) для трубопроводов в зонах прямого контакта с агрессивной средой. Данные материалы демонстрируют химическую стойкость при концентрации хлоридов до 10 000 мг/л в диапазоне pH 6–10.

3. *Третий барьер* — система катодной защиты с применением анодов из титана с покрытием из смешанных металлических оксидов (ММО), источником постоянного тока мощностью 30 В/15 А и системой автоматического контроля потенциала. Расчётные параметры: поляризационный потенциал $-0,85$ В относительно медносульфатного электрода сравнения, плотность тока 15 мА/м².

4. *Четвёртый барьер* — эпоксидно-полиамидное покрытие трёхслойной структуры общей толщиной 400 ± 50 мкм на всех подземных поверхностях, эксплуатируемых в условиях засоленных грунтов. Покрытие сертифицировано по стандарту ISO 12944-5 для категории коррозионной активности С5-М с расчётным сроком службы ≥ 25 лет.

5. *Пятый барьер* — конструктивная адаптация всех систем защиты к сейсмическим нагрузкам до 8 баллов: применение деформационных швов в покрытиях, гибких соединений в анодных кабелях, армирование бетонных конструкций согласно требованиям КМК 2.01.03-96.

Детальные технические параметры и области применения каждого барьера представлены в таблице 1, что позволяет наглядно увидеть соответствие проектных решений выбранной стратегии защиты.

Таблица 1

Параметры комплексной системы коррозионной защиты очистных сооружений ГПЗ

<i>Барьер защиты</i>	<i>Техническое решение</i>	<i>Основные параметры</i>	<i>Область применения</i>
1. Материал бетона	Сульфатостойкий портландцемент М500	Содержание СЗА <5%; прочность на сжатие ≥ 50 МПа	Пескоуловители (12×6×2,5 м), нефтеуловители (16×6×2,5 м), усреднители (15×15×5 м)
2. Трубопроводы	Стеклопластик (FRP) / HDPE	Химическая стойкость до 10 000 мг/л хлоридов; диапазон pH 6–10	Участки прямого контакта с агрессивной средой
3. Катодная защита	Система катодной защиты	Сопротивление заземления ≤ 30 Ом ($\rho = 380$ Ом·м); поляризационный потенциал –0,85 В	Все подземные металлические конструкции
4. Покрытия	Эпоксидно-полиамидное трёхслойное	Толщина 400±50 мкм; сертификат ISO 12944-5 (категория C5-M)	Подземные поверхности в засоленных грунтах (хлориды >1000 мг/кг)
5. Сейсмоадаптация	Гибкие соединения и деформационные швы	Расчёт на сейсмичность до 8 баллов по КМК 2.01.03-96	Все элементы системы защиты

Примечание: Данные основаны на проектных решениях реконструкции очистных сооружений ГПЗ.

Заключение. Внедрение комплексной пятибарьерной системы коррозионной защиты позволяет увеличить расчётный срок службы очистных сооружений газоперерабатывающего завода до 25–30 лет даже при концентрации хлоридов >7000 мг/л. Экономический эффект заключается в снижении затрат на капитальный ремонт на 40–60% и предотвращении аварийных ситуаций, связанных с разрушением конструкций. Предложенный

подход учитывает специфические условия эксплуатации в регионах с высокой сейсмичностью и засоленными грунтами, что делает его применимым для предприятий нефтегазового комплекса Центральной Азии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. M. Ali, M. A. Shams, N. Bheel, A. H. Almaliki, A. S. Mahmoud, Y. A. Dodo and O. Benjeddou, A review on chloride induced corrosion in reinforced concrete structures: lab and *in situ* investigation. *RSC Adv.*, 2024, 14, 37252 DOI: 10.1039/D4RA05506C
2. Хорошев А. А., Есина Е. С., Нархова С. Е., Кононенко В. В. Влияние коррозии и методы защиты бетонных и железобетонных конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2025. № 3 (123).
3. Schmidt T., Lothenbach B., Romer M., Neuenschwander J., Scrivener K. Physical and microstructural aspects of sulfate attack on ordinary and limestone blended Portland cements // *Cement and Concrete Research*. 2009. Vol. 39, № 12. P. 1111–1121. DOI: 10.1016/j.cemconres.2009.08.005.
4. Ghafoori N., Gbadamosi A. Influence of supplementary cementitious materials on sulfate resistance of ultra-high-performance concrete // *MATEC Web of Conferences*. 2025. Vol. 409. Art. 10004. DOI: 10.1051/matecconf/202540910004.
5. КМК 2.01.03-96. Строительство в сейсмических районах Республики Узбекистан. Ташкент: Узстандарт, 1996. 78 с.
6. Polder R., Peelen W., Courage W. Non-traditional assessment and maintenance methods for aging concrete structures – technical and economic aspects // *Materials and Corrosion*. 2013. Vol. 64. P. 114–122. DOI: 10.1002/maco.201106208.
7. Каримов И. Р., Назаров Д. К. Анализ причин преждевременного выхода из строя очистных сооружений нефтегазовых предприятий Узбекистана // *Нефтегазовое дело*. 2021. № 4. С. 88–97.
8. Bertolini L., Elsener B., Pedferri P., Polder R. *Corrosion of Steel in Concrete: Prevention, Diagnosis, Repair*. 2nd ed. Wiley-VCH, 2013.