

позволят перевести очистные сооружения в целом или многие процессы в дистанционный режим управления. Помимо прочего цифровые технологии на стадии проектирования реконструкции очистных сооружений позволят вывести на новый уровень процесс технической эксплуатации, аварийного и планового обслуживания, а также в последующем процессы модернизации и инсталляции нового оборудования.

Таким образом, процесс цифровизации очистных сооружений способствует:

- минимизации убытков за счет повышенной координации персонала;
- централизации знаний и управления.

Таким образом, разумное сочетание принципов реконструкции очистных сооружений, разработка новых методов глубокой очистки сточных вод и внедрение новых материалов и реагентов, а также с применением современных цифровых технологий поможет справиться с насущной проблемой сброса неочищенных сточных вод в водоемы Российской Федерации.

3.2. Опыт использования электродиализных аппаратов для обессоливания осветлённых сточных вод на предприятиях приборо- и машиностроения

После глубокого осветления сточных вод (отстаивание + фильтрация), на базовом предприятии (ОАО «Брестский электромеханический завод»), получены сточные воды с солесодержанием до 1 г/дм^3 [1, 2, 3].

Деминерализация такой воды может производиться диафрагменными или ионообменными методами. Причем ионообменный метод может обеспечить более высокую степень деминерализации, чем диафрагменный метод. Температурные воздействия (дистиляция и вымораживание) нерациональны в использовании в связи с затратами больших количеств энергии, а экстракционные методы неприемлемы по экологическим соображениям.

Поэтому, распространённым проектным решением обессоливания сточных вод является их обработка ионообменными методами. Стоимость такой обработки на порядок выше стоимости реагентной очистки сточных вод. Определённым выходом можно считать применение мембранных методов, в частности, метода электродиализа.

Преимущество этого метода перед другими методами заключается в том, что он не приводит к изменению агрегатного состояния воды. Осуществляется при обычной температуре и давлении. Потребление энергии пропорционально солесодержанию в исходной воде. При низком солесодержании (до 1000 мг/дм^3) срок службы мембран увеличивается благодаря малой плотности тока. Малый расход электроэнергии до 1 квт·час. Расход воды на собственные нужды (промывка приэлектродных пространств) также незначительный. Кроме того, серийные аппараты автоматизированы, обслуживающий персонал быстро осваивает их эксплуатацию. Расход дополнительных реагентов сведён к минимуму.

Сложность заключается в том, что стандартные установки разработаны для получения небольших объёмов деминерализованной воды для питьевого водоснабжения, а слабо концентрированный рассол обычно сбрасывается в водоёмы.

Известно, что требования к качеству воды, поступающей на электродиализные аппараты для обессоливания весьма жёсткие

Обессоливание методом электродиализа. На базовом предприятии применительно к доочистке промышленных сточных вод были проведены исследования на серийной электродиализной установке ЭДУ 400х2 производства Алма-Атинского завода МПС [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Данный аппарат предназначен для эксплуатации в проточном и проточно-циркуляционном режимах. Предварительными опытами установлено, что при обработке воды, солесодержание которой ниже 1 г/дм^3 , предпочтителен проточно-рециркуляционный режим с концентрированием рассола в промежуточном баке концентрата. При этом избыток концентрата удаляется из бака через перелив. Однако при таком режиме содержание солей в дилюате повышается по мере увеличения концентрации рассола, что снижает эффект обессоливания.

Определение величины общего солесодержания. В данной схеме основным назначением аппарата является получение обессоленной воды. В связи с ограничением объёмов фильтрата, циклы обессоливания не могут быть продолжительными, однако кинетику процесса необходимо контролировать оперативно.

Использование весового метода для определения величины общего солесодержания – процесс крайне трудоёмкий. В качестве оперативного контроля целесообразным является измерение электропроводности.

Соотношение между электропроводностью и общим солесодержанием представлены на графике (рисунок 1). Сходимость результатов – удовлетворительная (таблица 1).

Проточный и ступенчато – проточный режимы. Для исследований был выбран проточный режим, как режим, позволяющий достигнуть максимальной степени обессоливания исходной жидкости.

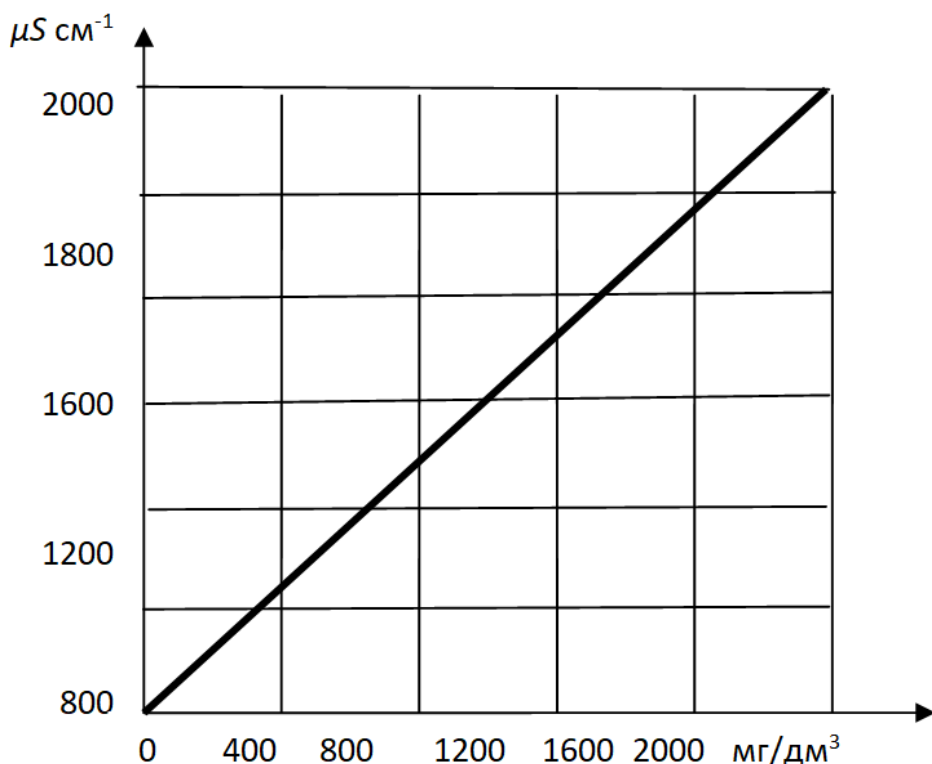


Рис. 1. График зависимости общего солевого содержания от электропроводности

В таблице 2 приведены результаты рядового опыта на этом режиме. Фиксировались величина силы тока и напряжение, а также степень опреснения.

По результатам опытов была составлена таблица 3 с усреднёнными показателями по основным параметрам. Из таблиц видно, что за один проход электропроводность диллюата, уменьшается в 8-10 раз, снижается жёсткость, содержание сульфатов, хлоридов, металлов и органики, pH диллюата уменьшается примерно на единицу. Установлено, что объём диллюата не превышает 40–50% от количества воды, подаваемой на обработку. Кроме того, до 20% воды расходуется на промывку приэлектродного пространства.

Таблица 1

Усреднённые показатели фильтрата и диллюата осветлённых сточных вод на очистных сооружениях базового предприятия

Проба	pH	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Общее солесодержа- ние (весовой метод)	Общее солесодержа- ние (по рисунку 1)
		мг/дм ³							
Фильтрат	8,1	120,0	136,0	8,54	152,27	179,5	288,2	882,2	890
Диллюат	7,25	13,0	16,03	1,83	10,6	36,6	50,4	128,4	100

Таблица 2

Результаты исследования работы ЭДУ в проточном режиме

Концентрат	7,9	1620	0	0,17	0,50	0	12,1	13,9	225,7	171	2,55
Промывка диллюата	8,8	958	1,0	0,32	1,15	0,01	0,0	16,00	165,0	57,3	0,22
Промывка концентрата	8,3	1073	1,0	0,32	1,82	0,02	6,2	16,80	185,0	68,7	0,25

Таблица 3

Усреднённые результаты исследований работы ЭДУ в проточном режиме

Проба	pH	Электропро- водность, $\mu S \cdot cm^{-1}$	Железо мг/дм ³	Жёсткость, мг-экв/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Сульфаты, мг/дм ³	Объём, %
Исходная	8,4	1100	0,43	6,60	185,0	256,9	-
Диллюат	6,9	147	0,14	1,38	24,0	32,8	41
Концентрат	8,1	1960	0,27	12,4	276,2	430,3	39

Такое положение не приемлемо в условиях обработки промышленных сточных вод с целью их максимального использования.

Испытание установки в циркуляционном режиме показало, что одновременно с увеличением концентрации рассола повышается концентрация солей в дилуате. Явление также нежелательное в рамках поставленной задачи.

Была предпринята попытка перекомпоновки коммуникаций ЭДУ с целью уменьшения затрат воды на собственные нужды и создания условий для ступенчатого концентрирования рассола до необходимой концентрации (рисунок 2).

Поскольку использование щелочного католита и кислого анолита проблематично, принято решение возвращать этот вид стоков в промежуточные баки.

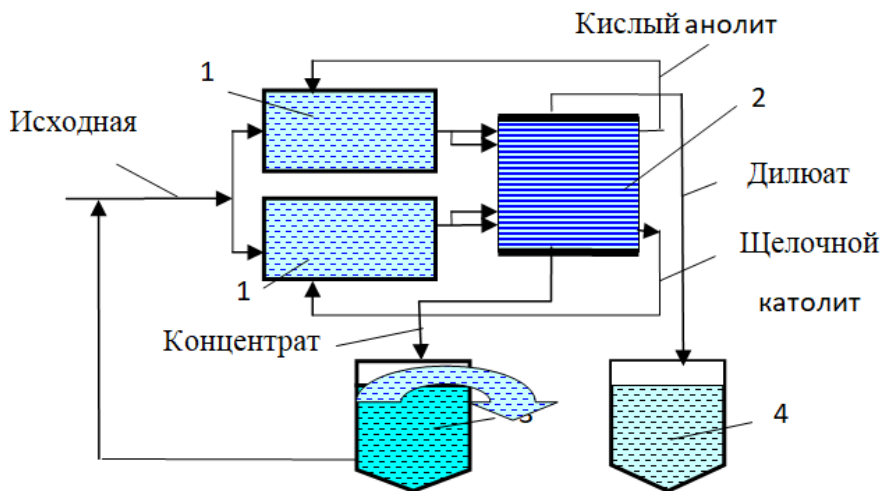


Рис. 2 Проточно-ступенчатый режим 1 – промежуточные баки; 2 – электродиализатор; 3 – сборник концентрата; 4 – сборник дилуата

В таблице 4 приведены результаты рядового опыта, а в таблице 5 - усреднённые показатели по основным параметрам.

Трёхкратное концентрирование рассола позволило в 3,6 раза увеличить его электропроводность, в 2,6 раза – жёсткость, в 2,3 раза – содержание сульфатов и хлоридов. К концу процесса объём концентрата не превышал 10 % от первоначального объёма сточных вод. Содержание

металлов в дилуате сократилось в 2 - 3 раза. Из этого представляется целесообразным для повторного использования применять дилуат после первой и второй ступени. Дилуат третьей ступени может быть использован для промывки фильтра, а затем направлен в исходные сточные воды (рисунок 3).

Таблица 4

Типовая таблица результатов исследования работы ЭДУ в ступенчатом режиме

Ступень обработки	Проба	pH	Электропроводность, μScm^{-1}	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Железо, мг/дм ³	Медь, мг/дм ³	Хром, мг/дм ³	Жёсткость, мг-экв/дм ³	Окисляемость, мг/дм ³ O ₂	Сульфаты, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³	Объём, м ³
1	Исходная	8,4	856	5,0	0,34	0,78	0,12	5,80	5,92	146,0	114,2	6,07
	Дилуат	7,1	86	1,0	0,13	0	0	0,60	1,44	16,0	6,022	2,42
	Концентрат	8,5	1429	3,5	0,17	0,6	0,02	12,2	5,92	109,4	174,5	2,53
	Промывка дилуата	8,7	324	4,0	0,34	0,68	0,09	5,82	5,90	78,0	108,5	0,50
	Промывка концентрата	7,7	897	5,0	0,34	1,38	0,12	6,0	6,67	148,0	119,7	0,62
2	Исходная	8,5	1429	3,5	0,2	0,6	0,02	12,2	5,92	209,4	174,5	2,15
	Дилуат	7,2	187	2,0	0,11	0,06	0	1,32	2,08	32,7	11,3	0,59
	Концентрат	8,3	2038	3,0	0,20	1,80	0,02	21,3	6,24	584,0	275,8	1,09
	Промывка дилуата	7,7	1287	3,5	0,20	0,9	0,03	9,90	5,61	153,9	131,3	0,23
	Промывка концентрата	8,0	1332	3,5	0,67	1,5	0,05	9,80	6,37	120,2	138,4	0,24
3	Исходная	8,2	2038	3,0	0,20	1,80	0,02	21,3	6,24	584,0	275,8	0,96
	Дилуат	7,5	607	1,0	0,17	0,05	0	5,0	4,80	124,0	56,7	0,37
	Концентрат	8,0	3072	1,0	0,15	2,00	0,01	26,2 6	8,00	626,0	344,5	0,42
	Промывка дилуата	8,0	1800	2,0	0,23	2,10	0,03	18,3	5,93	534,0	235,7	0,09
	Промывка концентрата	7,2	1920	3,0	0,71	2,70	0,05	18,2	6,72	504,0	240,3	0,08

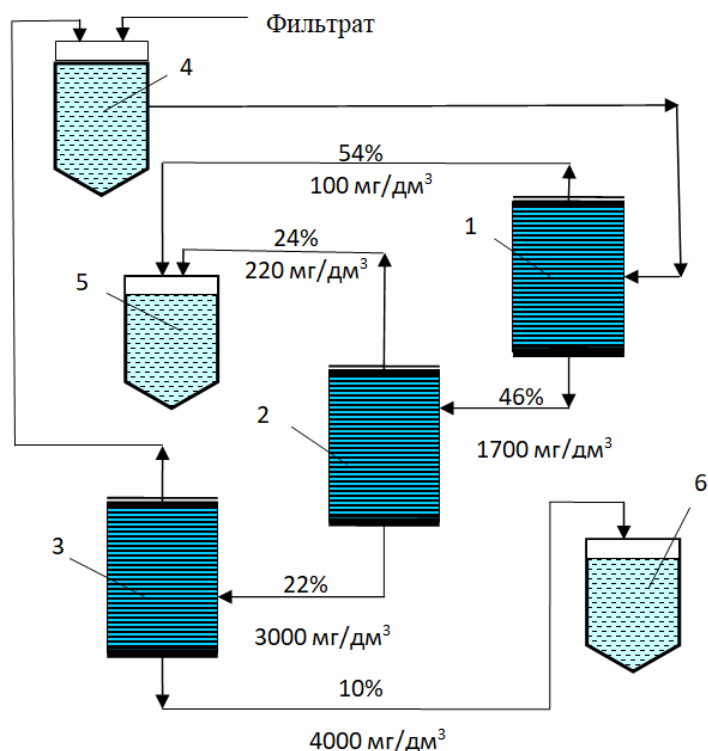


Рис. 3. Ступенчатая схема концентрирования рассола и накопления дилуата для повторного использования

**1 – диализатор первой ступени; 2 – диализатор второй ступени;
3 – диализатор третьей ступени; 4 – приёмная ёмкость исходной воды;
5 - приёмная ёмкость дилуата; 6 – приёмная ёмкость концентрата**

Помимо характеристик работы двух основных режимов использования аппарата, получены данные, представляющие интерес для проектирования и эксплуатации установок.

Концентрация загрязнений на входе в ЭДУ. Необходима глубокая очистка жидкости, поступающей в аппарат, от взвеси, металлов, органики. Несмотря на это, эксперименты проводились при заметном нарушении этих ограничений. Сделано это для того, чтобы за относительно короткий период исследований накопить данные, равноценные длительной эксплуатации.

Таблица 5

**Усреднённые результаты исследований работы ЭДУ
на ступенчатом режиме**

Проба	Степень обработки	pH	Электропро- водность, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Железо, $\text{мг}/\text{дм}^3$	Жёсткость, $\text{мг-экв}/\text{дм}^3$	Хлориды, $\text{мг}/\text{дм}^3$	Сульфаты $\text{мг}/\text{дм}^3$	Объём, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Исходная	I	8,42	1100	0,43	6,60	185,1	256,9	-
	II	8,10	1960	0,27	12,4	276,2	490,3	
	III	8,20	2734	0,25	16,2	383,5	552,0	
Дилюат	I	6,97	147	0,14	1,38	24,0	32,6 11,2143.7	54,0
	II	7,02	300	0,13	2,98	56,3		53,0
	III	7.24	517	0,21	3,30	85,4		51,0
Концентраг	I	8,10	1960	0,27	12,4	276,2	430.3	46,0
	II	8,20	2734	0,25	16,2	383,5	552.0	47,0
	III	8,20	3700	0,22	21,6	464,8	619.3	49,0

Появилась возможность оценить распределение загрязнений в потоках ЭДУ, их концентрацию на диафрагмах, степень необратимости влияния на процессы и т.д.

Специальными расчётами установлено, что за один из периодов работы длительностью 65 часов через ЭДУ прошло около 160 м^3 исходных сточных вод. С потоком поступало 254 г Cu, 59,6 г Fe, 17,6 г Cr. Оставалось в аппарате соответственно 120,2 г; 28,2 г; 10,4 г.

Ощутимых изменений степени обессоливания их за этот период не произошло.

Таблица 6

Сравнение результатов работы ЭДУ в прямом и обратном режимах

Ступень обработки	Проба	pH	Электропроводность, μScm ⁻¹	Взвешенные вещества, мг/дм ³	Железо, мг/дм ³	Медь, мг/дм ³	Хром, мг/дм ³	Жёсткость, мг- экв/дм ³	Окисляемость, мг/дм ³ O ₂	Сульфаты, мг/дм ³	Хлориды, мг/дм ³
Прямой ток											
I	Дилоат	7,25	174	0,42	0,14	0,21	0	1,23	3,1	27,4	12,8
II		7,24	380	0,70	0,13	0,49	0,02	4,21	5,78	162,5	87,6
III		7,53	750	0,54	0,18	0,26	0,02	4,90	6,54	183,5	104,1
I	Концентр ат	8,50	1993	1,50	0,25	0,98	0,04	10,51	10,2	413,5	234,5
II			2800	2,53	0,30	1,31	0,02	18,8	11,0	554,5	420,4
Обратный ток											
I	Дилоат	7,19	216	0,90	0,16	0,13	0,02	1,41	4,42	41,3	25,7
II		7,50	390	0,32	0,12	0,20	0,002	2,15	2,75	90,3	47,8
III		7,53	750	0,54	0,18	0,26	0,02	4,90	6,54	183,5	104,1
I	Концентр ат	8,20	1800	1,50	0,30	1,10	0,033	11,1	8,19	435,1	262,3
II		8,17	2570	0,86	0,23	1,17	0,02	11,7	9,10	439,5	348,9

Как было показано выше:

- при трёхкратном концентрировании рассола в 3,6 раза увеличилась его электропроводность в 2,6 раза – жёсткость, - в 2,3 раза – содержание сульфатов и хлоридов, При этом к концу процесса объём концентрата не превышал 10 % от первоначального объёма сточных вод, а содержание металлов в дилоате сократилось в 2-3 раза;
- в результате проведённых исследований было так же установлено, что изменение полярности электродов при регулярной

переполюсовке существенного влияния на степень обессоливания не оказывает. Об этом свидетельствуют данные таблицы 6;

- среднее значение эффекта обессоливания на I, II, III ступенях соответственно составило 85, 81 и 83 % [1, 7] и оно практически оставалось постоянным.

3.3. Технология сорбционной очистки сточных вод от ионов кадмия, свинца и меди гранулированным торфом

В настоящее время ведутся активные исследования по методам очистки сточных вод от таких токсичных металлов, как кадмий, свинец, медь и др. Соединения кадмия в воде считаются высокотоксичными веществами. Им присвоен 2 класс опасности. При попадании в организм человека кадмий связывает серосодержащие аминокислоты и ферменты. Его растворимые соединения при проникновении в кровь оказывают влияние на ЦНС, почки и печень, нарушают обмен кальция. Хроническое отравление кадмием приводит к разрушению костной ткани и малокровию. Большая часть соединений этого металла рассеяна в сульфидах цинка, меди и ртути. Минерал с наиболее высоким содержанием кадмия (от 0,3 до 5 %) - сфалерит, или цинковая обманка. Сфалерит, медные и полиметаллические руды - основной природный источник кадмия в воде. Его растворимые соединения попадают в подземные и поверхностные воды в результате выщелачивания горных пород и разложения тканей живых организмов. Грибы, некоторые виды бактерий, морские животные и растения способны накапливать кадмий в больших количествах.