

Таблица 4. Индекс эффективности некоторых станций утилизации сточных вод, использующих метод метановой ферментации ОСВ в районах северо-восточной Польши

Параметры	N-NH ₄ ОСВ	БПК/щёлочность	ХПК-Мн Жидкой фазы	Баллы			Индекс эффектив- ности [IND_E]
	мг/дм ³	-	мг/дм ³	N-NH ₄	ВПК/ щёлочь	ХПК-Мн жидкой фазы	
1 станция очистки	739	0,37	591	5	5	5	53
2 станция очистки	726	0,08	523	5	9	9	70
3 станция очистки	641	0,03	462	5	10	10	73

II камера – 4 дм³ навозной жижи + 2 дм³ ОСВ (коммунальных вод) + 4 дм³ ОСВ (вод промышленных молокозаводов);

III камера – 4 дм³ навозной жижи + 4 дм³ – ОСВ (коммунальных вод) + 2 дм³ ОСВ (вод промышленных молокозаводов).

Значения IND_E метановой ферментации ОСВ на основе измерений 3-х выбранных показателей по 3-м технологическим камерам на больших станциях утилизации сточных вод для региона северо-восточной Польши приведены в таблице 4. Технологические процессы ферментации были непрерывными. Время пребывания ОСВ в камерах составляло от 20–30 дней. Камеры были ранее опробованы, испытаны и находятся в действующем состоянии, о чём свидетельствуют относительно равные данные контроля хода технологических процессов. Индекс эффективности IND_E был устойчивым и составлял 53-73. Это значит, что процесс метановой ферментации ОСВ проходил правильно [Magrel, 2004]

Практические предложения:

Использованная литература и полученные результаты позволяют сформулировать следующие предложения:

1. ОСВ разного происхождения (полученные из коммунальных сточных вод, промышленных стоков молокозаводов и животноводческих ферм) могут быть смешаны и вместе использованы для метановой ферментации с последующим возвратом нейтрализованных ОСВ в природно-хозяйственный оборот.

2. Для оценки процесса метановой ферментации предложен индекс эффективности IND_E, который может определяться при наличии следующих параметров: технологических процессов ферментации: количества N-NH₄ ОСВ; количества летучих жирных кислот; щёлочности ОСВ и жидкой фазы; ХПК – Мн для жидкой фазы стоков; степени стабильности смешанных ОСВ.

3. Индекс эффективности метановой ферментации ОСВ может найти применение при проектировании и эксплуатации ферментационных камер с осадками промышленных вод, смешанными с навозной жижей, а также при контроле технологических процессов в камерах.

4. Значение индекса эффективности выше 50% свидетельствует о нормальном течении процесса метановой ферментации ОСВ.

УДК 628.337

Ялова Я.П.

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРОКОАГУЛЯЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ МАЛОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПРИРОДНЫХ ВОД

Введение

Высокие темпы роста промышленного и жилищно-бытового строительства в Республике Беларусь, возрастающий уровень благоустройства жилого фонда, увеличение объемов промышленного производства и усложнение технологических

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. BARTKIEWICZ B. (2002), Oczyszczanie ścieków przemysłowych, PWN, Warszawa.
2. BIEN J. (2002), Osady ściekowe. Teoria i praktyka, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
3. BIEN J., MATYSIAK B., WESTALSKA K. (1999), Stabilizacja i odwadnianie osadów ściekowych, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa.
4. G. BURACZEWSKI G., BARTOSZEK B. (1990), Biogaz – wytwarzanie i wykorzystanie, PWN, Warszawa.
5. DYMACEWSKI Z., OLESZKIEWICZ J. A., SOZAŃSKI M. M., (1997), Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków, PZITS, Poznań.
6. FURMAŃSKA M., PODEDWORNA J. (1995), Zmiany charakterystyki osadów w procesie wydzielonej stabilizacji tlenowej, materiały z I Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt.: "Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków", Częstochowa.
7. KEMPA E. S. (1993), Przyszłościowa gospodarka osadami ściekowymi, mat. konferencyjne, nt.: „Problemy gospodarki osadowej w oczyszczalniach ścieków”, Częstochowa.
8. KUTERA J., HUS S., (1990), Zasady zagospodarowania gnojówki i gnojowicy w rolnictwie terenów górskich z uwzględnieniem warunków ochrony środowiska, wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.
9. KUTERA J. (1994), Gospodarka gnojowicą, wydawnictwo Akademii Rolniczej we Wrocławiu, Wrocław.
10. MAĆKOWIAK Cz. (1997), Wartość nawozowa osadów i odpadów z przemysłu spożywczego, materiały z konferencji nt. „Osady ściekowe przeróbka i wykorzystanie”, Poznań.
11. MAGREL L. (2004), Prognozowanie procesu fermentacji metanowej mieszaniny osadów ściekowych oraz gnojowicy, wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok.
12. SERAFIN M., TABERNACKI J. (1992), Biochemiczne usuwanie azotu i fosforu ze ścieków w świetle doświadczeń duńskich, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 9/92.
13. SKALMOWSKI K. (1998), Poradnik gospodarowania odpadami, Dashofer Holding Ltd. I Wydawnictwo Verlag Dashofer sp. z o. o., Warszawa.
14. WÓJCIK A. R., LAUDAŃSKI Z. (1989), Planowanie i wnioskowanie statystyczne w doświadczałnictwie, PWN, Warszawa.

Статья поступила в редакцию 02.05.2007

процессов в промышленности требуют резкого увеличения темпов развития водопроводного хозяйства и значительного улучшения качества воды, подаваемой потребителям.

Новым прогрессивным направлением в технологии очистки природных вод является применение электрохимических

Ялова Наталья Петровна, доцент кафедры инженерной экологии и химии БрГТУ.

Беларусь, Брестский государственный технический университет, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

методов, в частности, электрокоагуляции – безреагентного метода очистки воды в электролизерах с растворимыми электродами.

1. Производственные испытания электрокоагуляционного метода, технологии и установки

Исследования в лабораторных условиях по изучению растворения алюминиевого анода при электролизе и улучшению органолептических, химических и микробиологических свойств и показателей качества воды позволили найти основные технологические параметры процесса электрокоагуляционной очистки.

Таблица 1. Качественный состав воды р. Мухавец

Наименование показателя	Значения показателей в воде реки
Азот аммонийный	0,86 мг/дм ³
Азот нитритный	0,015 мг/дм ³
Алюминий	0,02 мг/дм ³
БПК ₅	2,9 мгО ₂ /дм ³
Гидрокарбонаты, HCO ₃ ⁻	210,2 мг/дм ³
Железо, общее	0,6-1,2 мг/дм ³
Жесткость, общая	4,2 ммоль/дм ³
Калий, K ⁺	2,7 мг/дм ³
Кальций, Ca ²⁺	50,6 мг/дм ³
Кремний, SiO ₂	14,2 мг/дм ³
Магний, Mg ²⁺	16,0 мг/дм ³
Мутность	65 мг/дм ³
Натрий, Na ⁺	3,5 мг/дм ³
Окисляемость, перманганатная	13,8 мг/дм ³
Растворенный кислород (O ₂)	8,1 мг/дм ³
pH	7,9 един. pH
Сульфаты, SO ₄ ²⁻	49,0 мг/дм ³
Хлориды, Cl ⁻	33,0 мг/дм ³
Цветность	70 град.

Учитывая, что особые трудности возникают при обеспечении хозяйственно-питьевой водой населения малых населенных пунктов, внедрение безреагентного электрокоагуляционного метода с использованием малогабаритных и легкоуправляемых электролизных установок позволит решить эту проблему достаточно эффективно.

На основании найденных нами оптимальных технологических параметров процесса [1-5] с применением электрокоагуляционного метода были проведены испытания разработанной технологии на водозаборах № 3, 4 КУ ПВКХ «Водоканал» г. Бреста.

Вода из р. Мухавец с показателями качества (таблица 1) подавалась в резервуар исходной воды, из которого самотеком с расходом 0,5-1,0 м³/ч направлялась в электролизер с

Таблица 2. Показатели качества исследуемой воды р. Мухавец

Наименование показателя	Единица измерения	Нормативные (ПДК), не более	Количественные показатели	
			исходной воды	после электрокоагуляции
Запах	баллы	2	1	отсутствует
Привкус	баллы	2	1	отсутствует
Цветность	град.	20	60	5
Мутность	мг/дм ³	1,5	55	0
pH	единицы pH	6-9	7,9	8,1
Жесткость, общая	ммоль/дм ³	7,0	4,2	3,6
Окисляемость, перманганатная	мг/дм ³	5,0	12,6	2,3
Железо (Fe, суммарно)	мг/дм ³	0,3	0,44	0,11
Алюминий (Al ³⁺)	мг/дм ³	0,5	0,03	0,02
Кремний	мг/дм ³	10,0	10,6	3,1

растворимыми анодами (методика расчета электрокоагулятора приведена в п.2). С целью депассивации электродов в бак исходной воды подавался раствор NaCl (0,1 г/дм³). Пакет электродов был изготовлен в виде набора пластин, расположенных вертикально на расстоянии 8 мм друг от друга и соединенных между собой фиксаторными стержнями с винилпластовыми прокладками. Рабочая поверхность 5-ти алюминиевых анодов (А 6) и 5-ти катодов из нержавеющей стали (08Х18Н10) составляла по 0,45 м². Постоянный электрический ток поступал от выпрямителя ВСК-5К. После обработки в электролизере вода с сорбентом направлялась на безнапорный фильтр, заполненный кварцевым песком (высотой 0,7 м), а затем – в резервуар чистой воды.

При цветности исследуемой речной воды 60 град., мутности 55 мг/дм³, pH 7,9, жесткости общей 4,2 ммоль/дм³, окисляемости перманганатной 12,6 мг/дм³, содержании железа общего 0,44 мг/дм³, кремния 10,6 мг/дм³, алюминия 0,03 мг/дм³ на установке дозой алюминия 3,0 г/м³ была произведена очистка воды от загрязнений до нормативных требований СанПиНа 10-124 РБ 99 [6]. Исследования показали, что вода безвредна по химическому составу и имеет благоприятные органолептические свойства (таблица 2).

Расход воды через электролизер составлял 0,5-1,0 м³/ч; скорость движения воды относительно поверхности электродов – 9-18 м/ч; сила тока – 3,5-7,5 А; плотность тока – 0,86-2,0 мА/см²; напряжение на электродах с добавлением NaCl – 6-8 В, расход электроэнергии – 7-15 Вт·ч/м³, выход алюминия по току – ≈115-119 %. Величины силы тока и напряжения контролировались ампер-вольтметром. Расход воды регулировался вентилем перед электролизером. Расход алюминия при плотности тока 2,0 мА/см² составлял 3 г/ч.

В процессе электролиза образовывались белые крупные быстрооседающие хлопья. Осмотр электродов после завершения эксперимента показал, что растворение алюминиевого анода было равномерным, на поверхности катода образовался тонкий слой карбонатных осадков рыжего цвета, легко удаляемый механически.

Вода из артезианской скважины (таблица 3) подавалась на электрокоагуляционную установку с алюминиевыми электродами. Для активации алюминиевых анодов в бак исходной воды подавался раствор поваренной соли (0,1 г/дм³).

При силе тока 5,0 А, напряжении на электродах 4 В, плотности тока 2,0 мА/см² и дозе алюминия 1,7 мг/дм³ артезианская вода с расходом 1,0 м³/ч очищалась нормативных требований СанПиНа [6], была безопасна в эпидемическом отношении, безвредна по химическому составу, имела благоприятные органолептические свойства (таблица 4).

2. Методика расчета электрокоагулятора

Разработанная методика может быть использована для технологического и конструктивного расчета электролизера с

Таблица 3. Качество артезианской воды

Наименование показателя	Единица измерения	Количественные показатели			
		июль	август	сентябрь	октябрь
Водородный показатель	единицы рН	7,8	7,6	7,7	7,7
Жесткость общая	ммоль/дм ³	2,8	2,5	2,6	2,9
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	3,7	3,6	3,7	3,5
Щелочность	мг-экв/дм ³	4,25	4,4	4,9	4,8
Железо общее	мг/дм ³	1,75	1,6	1,6	1,7
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	270	268,4	259	268
Цветность	град.	15	10	10	15
Кремний	мг/дм ³	6,8	5,5	6,0	7,1
Алюминий	мг/дм ³	нпч	нпч	нпч	нпч
Термотолерантные колиформные бактерии	число бактерий в 100 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³
Общие колиформные бактерии	число бактерий в 100 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³
Общее микробное число	число образующих колонии бактерий в 1 см ³	<50	<50	<50	<50

Таблица 4. Качество воды, очищенной на электрокоагуляционной установке

Наименование показателя	Единица измерения	Количественные показатели			
		июль	август	сентябрь	октябрь
Водородный показатель	единицы рН	7,2	7,1	7,0	7,0
Жесткость общая	ммоль/дм ³	2,4	2,1	2,2	2,3
Окисляемость перманганатная	мг/дм ³	0,62	0,6	0,74	0,86
Щелочность	мг-экв/дм ³	2,45	2,3	2,5	2,45
Железо общее	мг/дм ³	0,22	0,2	0,1	0,15
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	147	152	145	133
Цветность	град.	0	0	0	0
Кремний	мг/дм ³	1,1	0,8	0,94	1,3
Алюминий	мг/дм ³	нпч	нпч	нпч	нпч
Термотолерантные колиформные бактерии	число бактерий в 100 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³
Общие колиформные бактерии	число бактерий в 100 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³	отсут. в 300 см ³
Общее микробное число	число образующих колонии бактерий в 1 см ³	<50	<50	<50	<50

растворимыми электродами, применяемого для агрегации дисперсных частиц и примесей за счет их взаимодействия с электрогенерированным коагулянтном.

Исходными параметрами для расчета электролизных установок являются:

- производительность установки $Q_{уст.}$, м³/сут.;
- расход воды, $Q_{вод}$, м³/ч;
- качество исходной и очищенной воды.

В результате технологического и конструктивного расчета необходимо определить: дозу алюминия; силу тока, необходимую для осуществления процесса электрокоагуляционной очистки; площадь алюминиевых электродов; систему соединения электродов; размеры электролизера; электрические параметры, необходимые для выбора электрооборудования.

При проектировании электролизера особое внимание необходимо уделить расчету требуемой степени вентиляции производственного помещения, так как водород, выделяющийся в процессе электролиза на катоде, может образовывать с воздухом взрывоопасную смесь.

1. Определение дозы алюминия.

Доза алюминия $D^{Al^{3+}}$ (мг/дм³) уточняется пробным экспериментальным электрокоагулированием (также может быть принята ориентировочно по дозе вещества с применением химических реагентов по СНиП 2.04.02–84)

2. Определение расхода алюминия.

Расход алюминия R_{Al} (г/ч), необходимый для электрокоагуляционной очистки обрабатываемой воды, определяется по формуле 2.1:

$$R_{Al} = D^{Al^{3+}} \cdot Q, \quad (2.1)$$

где $D^{Al^{3+}}$ – доза алюминия, г/м³; $Q_{вод}$ – расход воды, м³/ч.

3. Определение силы тока.

Сила тока I (А), обеспечивающая растворение алюминия в электролизере, определяется по формуле 2.2:

$$I = \frac{R_{Al}}{0,3356 \cdot B_T} \cdot 100, \quad (2.2)$$

где 0,3356 – электрохимический эквивалент алюминия, (г/А-ч); B_T – выход по току алюминия, зависящий от солевого состава воды, %.

4. Определение активной рабочей поверхности электродов.

Рабочая поверхность электродов S (м²) рассчитывается исходя из оптимальной плотности тока i (А/м²). Плотность тока на электродах i принимается с учетом максимального выхода по току алюминия в раствор на основании экспериментально полученных данных.

$$S = \frac{I}{i}. \quad (2.3)$$

5. Расчет конструктивных размеров электролизера.

5.1. Определение поперечного сечения аппарата.

Площадь поперечного сечения аппарата F (м²) рассчитывается с учетом производительности установки $Q_{уст.}$ и скоро-

сти потока жидкости в межэлектродном пространстве v (м/ч) по формуле 2.4:

$$F = \frac{Q_{уст.}}{v} \quad (2.4)$$

5.2. *Определение внутренних размеров электролизера.*

Принимая отношение «ширина аппарата B » : «длина аппарата L »=1:1, находим размеры в плане (м):

$$B = L = \sqrt{F} \quad (2.5)$$

Высота электролизера H (м) определяется с учетом высоты электродов $h_{эл.}$ и расстояния от электродов до дна электролизера a (м):

$$H = h_{эл.} + a \quad (2.6)$$

5.3. *Определение толщины электродов.*

Необходимая толщина анодов δ (м) определяется с учетом их износа на 80% и срока эксплуатации:

$$\delta = \frac{Q_{уст.} \cdot D^{Al^{3+}} \cdot n}{0,4 \cdot S \cdot \gamma \cdot 10^6} \quad (2.7)$$

где $Q_{уст.}$ – производительность электролизной установки, м³/сут.; γ – удельный вес анодного материала, $\gamma_{Al}=2,58$ т/м³; n – расчетная продолжительность работы одного пакета электродов, сут.

Толщина катода принимается по конструктивным соображениям.

5.4. *Определение ширины и площади одного электрода.*

Ширина одного электрода $b_{эл.}$ (м) и его площадь $S_{эл.}$ (м²) определяется с учетом конструктивных соображений при заданных величинах: определенной скорости потока воды v (м/ч), расстоянием между электродами $l_{эл.}$ (м) и количеством пластин $n_{эл.}$

5.5. *Определение количества пластин.*

Число пластин $n_{эл.}$, размещаемых в камере электролизера на ширине L :

$$n_{эл.} = \frac{L - l_{эл.}}{\delta - l_{эл.}} \quad (2.8)$$

5.6. *Определение высоты электрода.*

Высоту $h_{эл.}$ (м) электрода определяем, исходя из его площади $S_{эл.}$ и ширины $b_{эл.}$:

$$h_{эл.} = \frac{S_{эл.}}{b_{эл.}} \quad (2.9)$$

6. *Определение напряжения на ячейке.*

Напряжение $U_{я}$ (В) на ячейке в процессе электролиза можно представить как сумму следующих составляющих [7]:

$$U_{я} = \varepsilon_a + \varepsilon_k + \eta_k + e_{к.п.} + e_{д.п.} + IR_э + IR_к + IR_м, \quad (2.10)$$

где ε_a и ε_k – равновесные электродные потенциалы; η_k – перенапряжение выделения водорода на катоде; $e_{к.п.}$ и $e_{д.п.}$ – величины концентрационной и диффузионной поляризации; $R_э$, $R_м$ и $R_к$ – сопротивление электролита, металлических проводников и контактов в ячейке, Ом (значения величин $e_{к.п.}$, $e_{д.п.}$, $R_э$, $R_м$ и $R_к$ незначительны и ими можно пренебречь). Напряжение на один зазор обычно не должно превышать 3-4 В.

7. *Определение напряжения на электролизере.*

Напряжение на электролизере U (В) определяется, исходя из системы соединения электродов и напряжения на ячейке $U_{я}$. Соединение электродов:

• монополярное $U = U_{я}$ (2.11)

• биполярное $U = U_{я} \cdot n_{я}$ (2.12)

• комбинированное $U = U_{я} \cdot n_{я} \cdot n_{бл.}$ (2.13)

где $n_{бл.}$ – количество блоков; $n_{я}$ – количество ячеек.

Напряжение на электролизере должно быть безопасным для обслуживающего персонала и не превышать 36-40 В.

8. *Определение объема воды в электролизере.*

Объем воды в электролизере $V_в$ (м³) определяется как разность между внутренним объемом электролизера $V_{вн.}$ (м³) и объемом электродов $V_{эл.}$ электродов (м³):

$$V_в = V_{вн.} - V_{эл.} \quad (2.14)$$

9. *Определение продолжительности процесса электролиза.*

Продолжительность процесса электролиза $t_{эл.}$ (ч) определяется исходя из объема воды в электролизере $V_в$ и расхода обрабатываемой в нем жидкости (производительности электролизера) $Q_{вод.}$ (м³/ч):

$$t_{эл.} = V_в / Q \quad (2.15)$$

10. *Определение мощности электролизера P (Вт) и расхода электроэнергии W (Вт·ч/м³):*

$$P = I \cdot U; \quad (2.16)$$

$$W = \frac{I \cdot U}{Q} \quad (2.17)$$

11. *Ориентировочный расчет вентиляции.*

В соответствии с нормативными требованиями предельно допустимая взрывоопасная концентрация (ПДВК) водорода в производственном помещении принимается 10 % от нижнего предела взрываемости, т. е. 0,4 об. %. Ориентировочный расчет требуемой степени вентиляции может быть выполнен следующим образом.

11.1. *Определение объема водорода (м³/ч), выделяющегося на катодах при нормальном давлении*

$$V_{H_2}^k = \frac{B_T^k \cdot A_э^V \cdot I \cdot (273 + T)}{273}, \quad (2.18)$$

где B_T^k – катодный выход по току водорода: $B_T^k = 0,9 \div 0,95$;

$A_э^V$ – объемный электрохимический эквивалент водорода: $A_э^V = 0,00042$ м³/(А·ч).

11.2. *Определение количества водорода (м³/ч), растворяющегося в воде*

$$V_{H_2}^p = \frac{21,4 \cdot (273 + T) \cdot Q_{вод.}}{273 \cdot 10^3}, \quad (2.19)$$

где 21,4 – объем водорода, растворяющегося в 1 м³ воды при $T = 0$ °С и давлении 0,1 МПа.

11.3. *Определение объема водорода (м³/ч), выделяющегося непосредственно в атмосферу*

$$V_{H_2}^{a.m.} = V_{H_2}^k - V_{H_2}^p \quad (2.20)$$

Электролизер должен быть снабжен отдельным вентиляционным устройством, если в результате выделения водорода его содержание в воздухе производственного помещения может достигать ПДВК, т.е. 0,4 об. %.

11.4. *Определение концентрации водорода в помещении*

При расчете возможной концентрации водорода в воздухе производственного помещения учитываются общий объем помещения, кратность смены в нем воздуха в течение 1 ч, достигаемая в результате естественной или уже действующей

в помещении механической приточной вентиляции. Концентрация водорода рассчитывается по формуле 4.21

$$C_{H_2} = \frac{V_{H_2}^k}{K_{np} \cdot V_{np}} \cdot 100 \%, \quad (2.21)$$

где K_{np} – кратность смены воздуха в производственном помещении в течение 1 ч; V_{np} – объем производственного помещения, м³.

11.5. Определение производительности вентилятора

При оборудовании электролизера автономным вытяжным вентиляционным устройством его производительность может быть определена из условия разбавления выделяющегося водорода воздухом до концентрации его в отсасываемом воздухе (<0,4 об. %). В соответствии с этим производительность вентилятора (м³/ч) составит

$$Q_B = (300 \div 350) \cdot V_{H_2}^k. \quad (2.22)$$

При выполнении нормативных требований, здание, в котором размещена электролизная установка, может быть отнесено к категории Д (невзрывоопасное).

Заключение

1. Проведенные испытания электрокоагуляционного метода показали, что небольшими расходами электрогенерированного коагулянта $Al(OH)_3$ можно эффективно удалять из воды загрязнения до нормативных показателей СанПиН 10-124 РБ 99 [6].
2. Эксплуатация электролизной установки в устойчивом технологическом режиме в течение длительного времени

показала высокую эффективность и надежность работы, что подтверждено актами испытаний.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яловая Н.П. Исследование процесса электрохимического обескремнивания поверхностных вод. // Вестник БГТУ. – 2003. - №5.
2. Яловая Н.П. Исследование обезжелезивания природных вод электрокоагуляционным методом. // Материалы VIII между. науч.-метод. конференции «Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества». – Витебск, ИСЗ им. А.М. Широкова. – 2005.
3. Яловая Н.П., Строкач П.П. Исследование влияния физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на процесс обескислороживания поверхностных вод. // Вестник БГТУ. –2004. - №5.
4. Яловая Н.П., Строкач П.П. Исследование электрохимического удаления загрязнений из поверхностных вод. // Вестник БГТУ. –2003. - №5.
5. Яловая Н.П., Строкач П.П. Исследование влияния физико-химических, электрических и гидродинамических факторов на процесс электрокоагуляционного обезжелезивания природных вод. // Материалы V между. научн. конференции «Сахаровские чтения 2005 года: экологические проблемы 21 века» - Ч. 2. – Гомель: РНИУП «Ин-т радиологии», 2005.
6. Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. СанПиН 10 – 124 РБ 99, СанПиН 10 – 113 РБ 99, СанПиН 8 – 83 – 98 РБ 99. – Минск, 2000. – 152 с.
7. Скорчелетти В.В. Теоретическая электрохимия / В.В. Скорчелетти. – Л.: Химия, 1974. – 567 с.

Статья поступила в редакцию 07.05.2007