

ударах трамбовки происходит в основном уплотнение в пределах цилиндра, образуемого подошвой трамбовки. При последующих ударах в большей степени происходит уплотнение грунта в периферийной зоне. Для таких грунтов значение угла ϕ будет иметь максимальное значение. Если же уплотнить достаточно плотные грунты, то с самого начала уплотнения будет преобладающим процесс расширения периферийной зоны, т.е. угол ϕ будет иметь минимальное значение.

Общая картина уплотнения грунта дана Ю.К. Зарецким и М.Ю. Гарицеловым [1, 2], которая предполагает вначале сжатие центрального столба грунта, которое затем сопровождается радиальным расширением, которое в свою очередь вызывает радиальное сжатие в окружающем грунте периферийной зоны. Таким образом, центральный столб грунта в результате прохождения по нему продольной волны становится источником еще одного фронта продольной волны, распространяющегося в радиальном направлении.

Следует отметить, что в целом, влияние угла ϕ на величину расстояния между точками трамбования незначительно. Из рис. 3 видно, что при изменении ϕ от 25° до 55° расстояние между точками удара изменилось всего на 5 см, что, учитывая весьма значительную неоднородность грунтов, позволяет сделать вывод об отсутствии какого-нибудь существенного влияния на величину L .

Выводы.

1. Полученное выражение определения оптимального расстояния между точками удара трамбовки при интенсивном

УДК 628.337

Яловая Н.П.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕСКРЕМНИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

К воде, используемой в теплоэнергетике, целлюлозно-бумажном производстве, химико-фармацевтической и др. видах промышленности предъявляются жесткие требования к содержанию соединений кремния [1], являющихся основным компонентом силикатных накипей.

Повышенным содержанием кремния характеризуется вода р. Мухавец (табл. 1), которую потребляют ТЭЦ, электроламповый завод, ковровый и чулочный комбинаты и др. предприятия г. Бреста.

Таблица 1. Показатели качества воды р. Мухавец*

Наименование показателей	Единицы измерения	Значения показателей
Цветность	град	70
Мутность	мг/дм ³	65
Общая жесткость	мг-экв/дм ³	3,8
Хлориды	мг/дм ³	33
Сульфаты	мг/дм ³	49
Гидрокарбонаты	мг/дм ³	54
Железо общее	мг/дм ³	1,2
Кремний, SiO ₂	мг/дм ³	14,2
Растворенный кислород	мг/дм ³	8,2
Окисляемость	мг O ₂ /дм ³	13,8
pH		7,9

* **Примечание.** Отбор проб воды из р. Мухавец проводился в летне-осенний период; средняя температура воды 20°C.

Яловая Наталья Петровна, ст. преподаватель каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Физика, математика, химия

динамическом уплотнении грунтов позволяет получить однородное по площади и по глубине основание, уплотненное до требуемой плотности. При проектировании уплотнения грунтов тяжелыми трамбовками обеспечение требуемого качества уплотнения при минимальных энергозатратах возможно только при условии соблюдения рекомендаций по выбору оптимального расстояния между точками удара трамбовки.

2. Установлено, что для различных инженерно-геологических условий и технологических параметров уплотнения угол наклона секущей меняется от 22° до 50°. В этом диапазоне изменения угла ϕ его влияние на величину оптимального расстояния между точками удара трамбовки весьма незначительно.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зарецкий Ю.К., Гарицелов М.Ю. Глубинное уплотнение грунтов ударными нагрузками. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 192с.
2. Петров М.С. Опыт уплотнения смеси песчаных и глинистых грунтов на Загорской ГАЭС методом интенсивного ударного уплотнения / Минэнерго СССР. Экспресс-информ. Сер. Стр-во гидроэлектростанций и монтаж оборудования. 1986. №11. С. 11-15.
3. Пойта П.С., Тарасевич А.Н. Исследование зоны уплотнения грунта при применении тяжелых трамбовок // Тезисы докладов научно-технической конференции «Архитектура и строительные конструкции», Новосибирск, 1992, с. 69 - 70.

Существующие химические методы удаления кремния из воды громоздки, требуют больших расходов реагентов, дорогостоящих ионообменных материалов.

Нами исследован электрохимический метод обескремнивания воды р. Мухавец в электролизере с растворимым алюминиевым анодом.

Для выбора наиболее оптимального технологического режима и области применения электрохимического метода изучено влияние анионного и катионного состава минеральных примесей воды на качество очистки ее от соединений кремния электрохимически получаемым гидроксидом алюминия.

Минеральный состав исходных проб воды был ограничен содержанием анионов Cl⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻ и катионов Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, что характерно для большинства природных пресных вод [1, 2]. Исходные растворы готовили из химически чистых солей NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, CaCl₂, MgCl₂ в профильтрованной речной воде с учетом содержания в ней основных анионов и катионов. Общая концентрация солей - 2,5; 5 и 10 мг-экв/дм³. Для каждой диаграммы исследовали 15 составов, т.е. концентрация анионов в соседних точках отличалась на 25%. В той части диаграммы, где соединения кремния удалялись трудно, исследовались промежуточные точки для более точного определения границ очистки воды.

Исследования проводились в непроточном электролизере с использованием анодов из листового алюминия и катодов из нержавеющей стали при анодной плотности тока 2 мА/см², температуре воды 18-20°C, концентрацией SiO₂ в речной воде 14,2 мг/дм³. Содержание в воде кремния определяли на фотометре фотоэлектрическом КФК-3, алюминия - по методике [3], водородный показатель - электрометрическим методом на иономере И-130.2М.1.

Таблица 2. Влияние анионного состава на эффект обескремнивания воды

№№ точек диаграммы	Суммарное количество анионов, мг-экв/дм ³														
	2,5				5,0				10,0						
	Выход Al ³⁺ по току, %	остаточный SiO ₂ , мг/дм ³	% удаления SiO ₂	pH до после электролиза	Выход Al ³⁺ по току, %	остаточный SiO ₂ , мг/дм ³	% удаления SiO ₂	pH до после электролиза	Выход Al ³⁺ по току, %	остаточный SiO ₂ , мг/дм ³	% удаления SiO ₂	pH до после электролиза			
1	87,9	4,8	66,2	8,0	9,1	86,4	5,24	63,1	8,1	9,2	80,2	5,67	60,1	8,2	9,3
2	114,0	1,3	90,8	7,8	9,0	122,2	1,48	89,6	7,9	9,0	123,1	1,78	87,5	8,0	8,9
3	97,1	4,42	68,9	7,85	9,0	98,4	4,71	66,9	7,9	9,0	85,0	4,96	65,1	8,05	9,0
4	113,6	0,65	95,4	7,5	8,8	123,0	0,54	96,2	7,6	8,9	125,6	0,54	96,2	7,5	8,9
5	101,0	1,36	90,4	7,5	8,8	107,1	1,55	89,1	7,6	8,9	110,0	1,78	87,5	7,5	8,9
6	98,0	4,71	66,8	7,55	8,8	97,9	4,97	65,0	7,6	8,85	88,0	5,41	61,9	7,6	8,8
7	119,6	0,68	95,2	7,2	8,75	123,1	0,57	96,0	7,3	8,6	126,1	0,596	95,8	7,8	8,6
8	103,5	1,05	92,6	7,3	8,75	109,9	1,28	91,0	7,3	8,6	114,0	1,86	86,8	7,2	8,5
9	100,1	2,84	80,0	7,3	8,75	104,0	3,17	77,7	7,3	8,65	107,5	3,91	72,5	7,2	8,5
10	95,4	5,07	64,3	7,35	8,75	95,8	5,35	62,3	7,4	8,65	87,3	5,62	60,4	7,25	8,6
11	122,1	0,85	94,0	7,0	8,4	124,4	1,22	91,4	6,9	8,3	128,4	1,75	87,7	6,7	8,2
12	104,5	1,25	91,2	7,0	8,4	109,8	1,52	89,3	6,9	8,3	114,9	1,62	88,6	6,7	8,3
13	101,0	2,97	79,1	7,0	8,45	105,0	3,08	78,3	6,9	8,3	108,1	3,22	77,3	6,7	8,4
14	95,5	4,64	67,3	7,05	8,5	98,0	4,96	65,1	6,95	8,4	101,8	5,14	63,8	6,75	8,4
15	93,6	5,81	59,1	7,05	8,5	88,4	5,9	58,4	7,0	8,45	85,9	6,08	57,2	6,75	8,4

Результаты исследования представлены на треугольных диаграммах «состав-свойства» в виде изолиний, ограничивающих области с одинаковыми эффектами (рис. 1, 2, 3). Видно, что эффект удаления соединений кремния возрастает по направлению от вершины SO₄²⁻ к стороне HCO₃⁻ - Cl⁻. При солесодержании воды 2,5 мг-экв/дм³ (рис. 1) наибольший эффект обескремнивания воды, составляющий 90% удаления SiO₂, лежит в области исследованных точек 2, 5, 8, 12, т. е. в хлоридно-гидрокарбонатных водах с небольшим содержанием сульфатов. Аналогичная закономерность повторяется на диаграммах с солесодержанием 5 и 10 мг-экв/дм³ (рис. 2, 3), однако повышение минерализации воды приводит к сужению оптимальной области обескремнивания. В оптимальной зоне происходит эффективная коагуляция получающейся гидроксиды алюминия, что приводит к образованию крупных рыхлых хлопьев, легко отделяющихся при отстаивании.

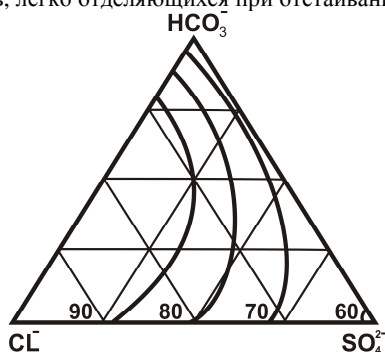


Рис. 1. Эффект обескремнивания воды при содержании анионов 2,5 мг-экв/дм³.

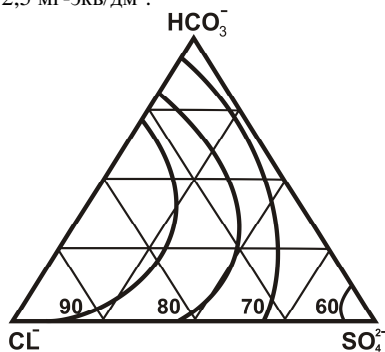


Рис. 2. Эффект обескремнивания воды при содержании анионов 5 мг-экв/дм³.

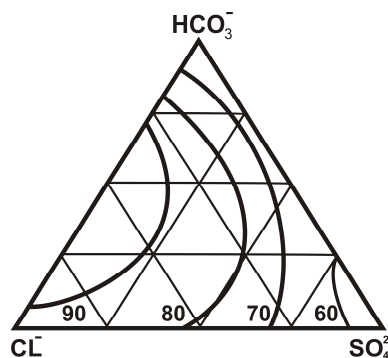


Рис. 3. Эффект обескремнивания воды при содержании анионов 10 мг-экв/дм³.

Cl⁻-ионы в присутствии HCO₃⁻-ионов (до 80% от общего количества анионов) способствуют удалению соединений кремния из воды. Анализируя эффект обескремнивания в хлоридно-гидрокарбонатных растворах, заметно, что он почти не изменяется в широких интервалах соотношений ионов и составляет 95-96%. Высокая концентрация хлоридов в воде приводит к стабилизации золя гидроксида алюминия и снижает его адсорбционные свойства по отношению к SiO₂. Так, повышение концентрации Cl⁻-ионов с 87,5 до 355 мг/дм³ (т.е. от 2,5 до 10 мг-экв/дм³) снижает эффект обескремнивания на 7,7%, объем осадка и крупность хлопьев в этих условиях уменьшается. При этом образуются сильно гидратированные и трудно оседающие частицы (опалесценция остается на длительное время), а осадок способен значительно уплотняться.

Увеличение доли HCO₃⁻-ионов свыше 80% от общего количества анионов резко снижает эффект обескремнивания и в вершине HCO₃⁻ составляет 60-66%. Наименьший эффект обескремнивания (около 60%) - в вершинах треугольных диаграмм, где содержание HCO₃⁻ и SO₄²⁻-ионов 100%, а также вдоль стороны HCO₃⁻ - SO₄²⁻. С увеличением концентрации указанных ионов оптимальная область вдоль стороны HCO₃⁻ - Cl⁻ сужается. В сульфатно-хлоридных растворах с увеличением доли сульфатов свыше 30% от общего количества анионов эффект обескремнивания тоже снижается. Это можно объяснить снижением выхода алюминия по току в этих средах и изменением структуры образующегося гидроксида алюминия, сорбционная активность которого в связи с этим уменьшается.

Таблица 3. Влияние катионного состава на эффект обескремнивания воды

№.№ точек диа- грам- мы	Суммарное количество катионов, мг-экв/дм ³								
	2,5			5,0			10,0		
	выход Al ³⁺ по току, %	остаточ- ный SiO ₂ , мг/дм ³	% удале- ния SiO ₂	выход Al ³⁺ по току, %	остаточ- ный SiO ₂ , мг/дм ³	% удале- ния SiO ₂	выход Al ³⁺ по току, %	остаточ- ный SiO ₂ , мг/дм ³	% удале- ния SiO ₂
1	120,5	1,065	92,5	124,4	0,967	93,5	128,4	1,023	92,7
2	120,3	0,497	96,5	124,2	0,497	96,5	128,3	0,611	95,7
3	121,7	0,71	95,0	126,0	0,966	93,2	129,2	1,065	92,5
4	120,2	0,185	98,7	125,0	0	100,0	128,0	0	100,0
5	120,3	0,809	94,3	124,2	1,022	92,8	128,0	1,406	90,1
6	120,1	1,093	92,3	124,0	1,377	90,3	127,8	1,633	88,5
7	119,7	0,071	99,5	124,0	0	100,0	128,0	0	100,0
8	120,3	0,71	95,0	124,0	0,966	93,2	127,8	1,392	90,2
9	120,5	1,22	91,4	124,4	1,775	87,5	129,0	1,491	89,5
10	121,9	1,434	89,9	125,0	2,059	85,5	129,0	2,513	82,3
11	121,3	0	100,0	124,4	0	100,0	129,0	0	100,0
12	120,1	0,852	94,0	125,0	1,874	86,8	129,0	2,201	84,5
13	119,1	1,448	89,8	124,0	2,584	81,8	129,0	2,315	83,7
14	120,7	1,874	86,8	124,4	2,655	81,3	128,3	2,868	79,8
15	120,3	1,988	86,0	124,6	2,442	82,8	129,0	2,868	79,8

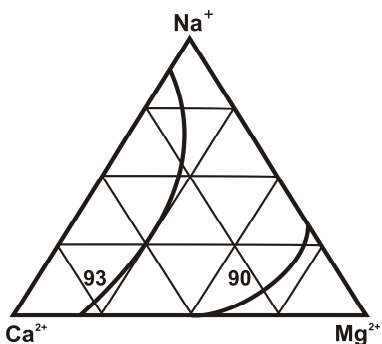


Рис. 4. Эффект обескремнивания воды при содержании катионов 2,5 мг-экв/дм³.

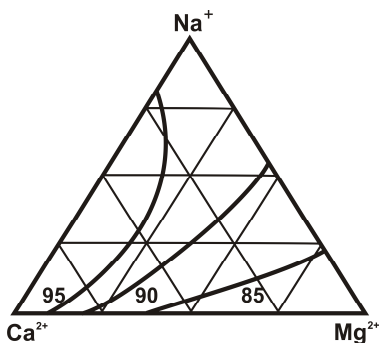


Рис. 5. Эффект обескремнивания воды при содержании катионов 5 мг-экв/дм³.

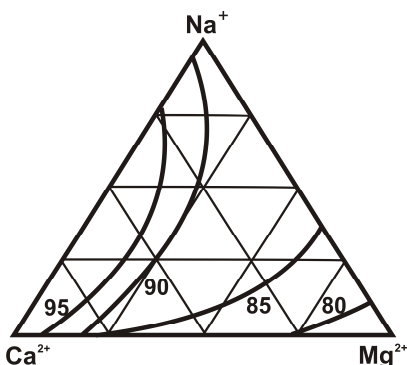


Рис. 6. Эффект обескремнивания воды при содержании катионов 10 мг-экв/дм³.

При исследованиях отмечалось изменение pH до и после электролиза в зависимости от вида и количества вводимых солей (табл. 2).

Результаты опытов по изучению влияния катионного состава воды на процесс обескремнивания приведены на рис. 4, 5, 6.

Наиболее эффективно этот процесс протекает вдоль стороны Na⁺ - Ca²⁺. С увеличением доли ионов Ca²⁺ от общего количества катионов эффект очистки достигает 100%. Однако с увеличением общего солесодержания воды от 2,5 до 10 мг-экв/дм³ увеличивается и концентрация хлоридов (так как изучение влияния катионного состава производилось на хлоридах солей), что приводит к сужению оптимальной зоны. Наличие ионов Mg²⁺ в воде несколько ухудшает процесс обескремнивания, и с увеличением их доли свыше 50% от общего количества катионов процент удаления кремния достигает 80-90% (табл. 3).

Анализируя результаты исследований по влиянию анионного и катионного составов воды на процесс удаления кремния из воды р. Мухавец, можно сделать вывод, что наибольший эффект удаления SiO₂ достигается в водах с преобладанием Cl⁻ и Ca²⁺-ионов. При содержании в воде более 80% (от общего количества анионов) HCO₃⁻-ионов и более 30% SO₄²⁻-ионов процесс ее обескремнивания ухудшается. Катионный состав растворов на эффект обескремнивания значительного влияния не оказывает. При небольших расходах гидроксида алюминия, получаемого электрохимическим растворением электрода, достигается эффективное обескремнивание поверхностных вод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод: Учебник для вузов. – К.: Высш. школа. Головное изд-во, 1986. – 352 с.
2. Яловая Н.П., Строкач П.П. Экология и гидрохимия. Словарь – справочник: Справ. пособие. – Брест: Бгту, 2002. – 244 с.
3. Строкач П.П., Кульский Л.А. Практикум по технологии очистки природных вод. Учеб. пособие. – Мн.: Высш. школа, 1980. – 320 с.
4. Томашов Н.Д., Чернова Г.П. Пассивность и защита металлов от коррозии. М.: «Наука», 1995.
5. Гребенюк В.Д., Мазо А.А. Обессоливание воды ионатами. – М.: Химия, 1980. – 256 с.