

visited - просмотренная вершина;
storage - пропускаемая "тупиковая" вершина.

Укрупненная схема алгоритма решения задачи:

Шаг 1. Установка пометок всех вершин дерева как "*passive*".

Шаг 2. Фиксация корней дерева трасс (число деревьев равно количеству альтернатив заданий) в первых элементах стека просмотренных вершин и вычисление времени окончания их выполнения t_i .

Шаг 3. Вычисление текущего оптимального времени выполнения всех заданий $t_{opt} = \sum \max\{t_{ki}\} \quad i=(0, k)$,

где k - количество заданий,

t_{ki} - время окончания выполнения i -й альтернативы k -го задания

Шаг 4. Выполнение процедуры анализа текущих состояний вершин дерева: все вершины, помеченные как "*passive*" у которых $t_i > t_{opt}$ помечаются как "*storage*".

Шаг 5. Выбор из множества вершин с меткой "*passive*" вершины с минимальным временем окончания выполнения. Если такая вершина найдена, то она становится текущей и помечается как "*actived*", иначе процесс поиска завершен - переход на шаг 10.

Шаг 6. Планирование развития очередной ветви дерева из текущей вершины.

Шаг 7. Если имеется не просмотренная ветвь дерева, то выполняется процедура вычисления времени окончания выполнения порожденной вершины с учетом возможности ее параллельного выполнения с ранее рассмотренными и переход на шаг 6.

Шаг 8. Если очередь просматриваемых выходных связей у текущей вершины пуста, то пометка ее как "*visited*" и выполнение проверки достижимости полной глубины дерева.

Шаг 9. Если текущая вершина является конечной вершиной ветви дерева и для нее выполняется условие $t_i < t_{opt}$, происходит установка указателя оптимальной альтернативы на данную ветвь дерева.

иначе пометка текущей вершины как "*storage*" и переход на шаг 3.

УДК 608.16

Строкач П.П., Житенев Б.Н., Яловая Н.П., Житенева Н.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЦЕСС ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ ВОДЫ

Подземные воды, используемые для хозяйственно-питьевого водоснабжения, отличаются стабильностью состава: имеют невысокое соледержание и незначительные колебания температуры. По основным показателям они соответствуют требованиям Санитарных правил и норм Республики Беларусь (СанПиН РБ) /5/. Однако вода из артезианских скважин, используемая для водоснабжения г. Дрогичина, не удовлетворяет вышеназванным требованиям по содержанию железа. В связи с неудовлетворительной работой сооружений по обезжелезиванию воды, на кафедре инженерной экологии

Шаг 10. Вызов процедуры регистрации оптимального плана выполнения портфеля заказов по указателю она оптимальную альтернативу и завершение процедуры решения задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная модель динамических процессов компаундирования в терминах сетей Петри позволяет решать задачи управления: независимого и с заданной внешней критериальной функцией. Приведенный способ графического решения отличается универсальностью и позволяет учесть временные и технологические ограничения, накладываемых на систему.

Предложенный алгоритм составления оптимального плана выполнения портфеля заказов практически использован при объектно-ориентированном проектировании системы управления маршрутизацией потоков в установках компаундирования.

Проведенные имитационные эксперименты с моделью при размерности схемы технологической установки 2000 единиц оборудования, характерной для нефтеперерабатывающих заводов, показали приемлемое время решения для использования в производственных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. - 400 с.
2. Ревотюк М.П., Тихомирова Е.В. Поиск и представление допустимых технологических маршрутов в установках компаундирования- Труды региональной конференции молодых ученых и студентов, Брест: БПИ, 2000г.- С. 49-52.
3. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. -М.: Мир, 1984, - 264с.
4. Липский В. Комбинаторика для программистов- М.: Мир, 1988. 608 с.
5. Тихомирова Е.В. Анализ потенциальной эффективности кооперативных схем решения задач дискретной математики - Труды региональной конференции молодых ученых и студентов, Брест: БПИ, 2000г.- С. 52-55.

и химии Брестского государственного технического университета (ИЭиХ БГТУ) проведены исследования по влиянию физико-химических и технологических факторов на процесс обезжелезивания.

Известно /1, 2, 3/, что железо в природных водах может присутствовать в виде соединений:

- ионов железа (II);
- истинно-растворенных органических соединений железа (II) и железа (III);
- коллоидных органических и неорганических соединений.

Строкач Петр Павлович. Профессор, к.т.н., зав. каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Житенев Борис Николаевич. К.т.н., доцент каф. водоснабжения, водоотведения и теплоснабжения Брестского государственного технического университета.

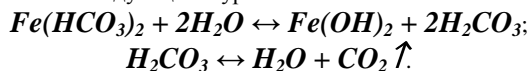
Яловая Наталья Петровна. Ст. преподаватель каф. инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Житенева Наталья Сергеевна. Ст. преподаватель каф. начертательной геометрии и инженерной графики Брестского государственного технического университета.

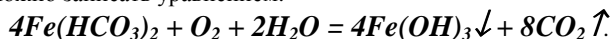
Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

В подземных горизонтах с затрудненным водообменом или при его отсутствии, когда преобладает восстановительная среда, железо обычно содержится в виде гидрокарбоната железа (II). Это хорошо растворимая в воде соль, которая, гидролизуясь, увеличивает в воде содержание ионов железа (II).

Такая форма железа устойчива при наличии свободной углекислоты и отсутствии окислителей. При контакте воды с воздухом она обогащается кислородом, и железо (II) окисляется в железо (III). Процесс окисления железа (II) и гидролиз железа (III) в присутствии гидрокарбонат-ионов может быть представлен следующими уравнениями /4/:



В общем виде процессы гидролиза и окисления железа можно записать уравнением:



Таким образом, из воды удаляется угольная кислота, происходит окисление железа (II) в железо (III) и его гидролиз.

В результате этого процесса снижаются органолептические свойства воды, происходит образование отложений, зарастание труб, оборудования и водопроводной аппаратуры соединениями железа и продуктами жизнедеятельности железобактерий. Отмершие бактерии образуют плотные наросты на стенках труб и сооружений. Кроме того, в результате их жизнедеятельности вода приобретает железистый привкус, увеличивается ее цветность и мутность. Бактерии Gallionella и Leptothrix образуют на стенках трубопроводов плотные пленки, под которыми начинаются коррозионные процессы. Вода с повышенным содержанием железа непригодна для ряда производств.

В соответствии с СанПиН РБ содержание железа в хозяйственно-питьевой воде не должно превышать 0,3 мг/дм³. В подземных водах, добываемых на водозаборных сооружениях г. Дрогичина, концентрация железа составляет 2-7 мг/дм³. Поэтому перед подачей воды потребителю она должна обезжелезиваться.

Обезжелезивание подземных вод на современных станциях водоподготовки может осуществляться аэрированием, аэрированием с последующим окислением соединений железа, подщелачиванием, коагулированием, фильтрованием и др.

При выполнении исследований в лаборатории химии воды кафедры ИЭиХ БГТУ выполнен физико-химический анализ подземных вод, поступающих из артезианских скважин на очистные сооружения г. Дрогичина (таблица 1).

Анализ проводился химическими, фотоэлектроколориметрическим и ионометрическим методами с использованием иономера лабораторного И – 130.2М.1, фотометра фотоэлектрического КФК – 3 и др.

Результаты анализов приведены по усредненным данным, полученным не менее чем из 3-х опытов.

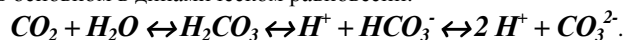
Из приведенных в таблице данных видно, что вода по большинству показателей соответствует требованиям, предъявляемым к воде при ее обезжелезивании методом упрощенной аэрации, применяемым на станции водоподготовки г. Дрогичина:

- содержание железа общего до 10 мг/дм³ (в том числе железа (II) ≈ 70%);
- pH > 6,8;
- щелочность >(1+Fe²⁺/28).

Остаточное содержание железа в очищенной методом упрощенной аэрации воде г. Дрогичина составляет 0,6-0,7 мг/дм³.

Поскольку в воде присутствует значительное количество оксида углерода (IV), который является основной причиной агрессивности воды, нами проанализированы формы, в которых находится углекислота.

В природной воде все формы угольной кислоты находятся в основном в динамическом равновесии:



При наличии ионов кальция углекислотное равновесие смещается в сторону образования гидрокарбоната кальция:



Т.е. гидрокарбонат-ионы существуют в растворе только при наличии свободной углекислоты. Часть ее, находящаяся в равновесии с гидрокарбонатами, является равновесной, как бы связанной, и не вступает в химические реакции. Избыточная углекислота, в отличие от равновесной, очень активна и называется агрессивной. Однако не вся избыточная углекислота агрессивна, поскольку часть ее расходуется на растворение карбоната кальция с образованием гидрокарбонатов, а другая – на удержание в растворе вновь образованных гидрокарбонатов. Поскольку в воде, подаваемой на станцию обезжелезивания, содержится 384 мг/дм³ гидрокарбонатов, то в соответствии с рисунком 2 приложения 5 /3/ при:

- концентрации кальция – 92,2 мг/дм³;
- щелочности воды – 6,3 мг-экв/дм³;
- солесодержании – 0,45 г/дм³;
- температуре воды – 10⁰С,

концентрация свободной углекислоты составит 12 мг/дм³, остальная ее часть будет связана с гидрокарбонатами.

Индекс стабильности /3/ рассчитывается по формуле:

$$J = pH_o - pH_s,$$

где

pH_o - значение активной реакции среды, измеренной нами (таблица 1) иономером ($pH_o = 7,75$);

Таблица 1 – Основные показатели качества воды.

№ п/п	Физико-химические показатели	Единицы измерения	Значения
1	Активная реакция среды, pH	-	7,75
2	Железо общее	мг/дм ³	3,2-3,5
3	Железо (II), Fe ²⁺	мг/дм ³	2,2-2,4
4	Гидрокарбонаты, HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	384
5	Щелочность	мг-экв/дм ³	6,3
6	Карбонаты, CO ₃ ²⁻	мг/дм ³	отсутствуют
7	Кальций, Ca ²⁺	мг/дм ³	92,2
8	Оксид углерода (IV), CO ₂	мг/дм ³	59,4
9	Солесодержание	мг/дм ³	450
10	Дихроматная окисляемость	мг/дм ³	400
11	Температура	⁰ С	10
12	Мутность	мг/дм ³	7
13	Цветность	град.	45

Таблица 2 – Результаты исследований по пробному обезжелезиванию воды с использованием хлора.

№ опыта	Доза хлора, мг/дм ³	Время, с	Остаточное содержание общего железа, мг/дм ³					Среднее значение
			№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	
1	5,00	25,00	0,31	0,26	0,36	0,22	0,18	0,27
2	1,00	25,00	0,70	0,83	0,70	0,40	0,85	0,70
3	5,00	5,00	0,68	0,65	1,00	0,48	0,20	0,60
4	1,00	5,00	1,10	1,35	0,52	0,68	0,65	0,86
5	5,83	15,00	0,24	0,20	0,21	0,25	0,20	0,22
6	0,17	15,00	0,47	0,58	0,81	0,78	1,02	0,73
7	3,00	29,14	0,57	0,60	0,59	0,55	0,65	0,59
8	3,00	0,86	0,60	0,80	1,18	0,41	1,05	0,81
9	3,00	15,00	0,36	0,38	0,32	0,35	0,31	0,34
10	3,00	15,00	0,38	0,29	0,39	0,35	0,38	0,36
11	3,00	15,00	0,32	0,41	0,25	0,34	0,32	0,33
12	3,00	15,00	0,29	0,40	0,35	0,30	0,30	0,33
13	3,00	15,00	0,38	0,35	0,38	0,33	0,32	0,35

pH_s – значение активной реакции среды в условиях насыщения воды карбонатом кальция.

В соответствии с рисунком 1 приложения 5 /3/ для исследуемой воды pH_s равно 7,25. Следовательно, индекс стабильности для исследуемой воды:

$$J = pH_o - pH_s = 7,75 - 7,25 = +0,5 \text{ - т. е. вода стабильна.}$$

Вместе с тем вода характеризуется высокой дихроматной окисляемостью воды (400 мг-О₂/дм³), что свидетельствует о наличии в воде органических соединений железа.

Поскольку вода, очищенная на станции водоподготовки г. Дрогичина, содержит 0,6-0,7 мг/дм³ железа, и методом упрощенного азрирования не достигаются требования СанПиН РБ по содержанию общего железа, нами проведены исследования по использованию при обезжелезивании воды окислителей (хлора и перманганата калия). Для сокращения количества опытов и получения более полных данных использовался метод ротатбельного центрального композиционного планирования (ЦКП), позволяющий при минимальном количестве опытов получить экспериментально-статистическую модель исследуемого процесса в виде многочлена второго порядка.

В качестве основных факторов на стадии лабораторных исследований были приняты: доза хлора и продолжительность контакта хлора с обрабатываемой водой. Доза хлора изменялась в процессе опытов с 1 до 5 мг/дм³, а время контакта – от 5 до 25 с. В качестве хлорсодержащего реагента использовали хлорную известь с содержанием активного хлора 57,6 %.

Остаточное содержание общего железа определяли в отфильтрованной воде, в которую предварительно вводили расчетную дозу хлора, выдержав расчетное время. Было выполнено 5 серий по 13 опытов. Результаты исследований приведены в таблице 2.

В результате опытов установлено, что около 80% железа удаляется без введения окислителя, т.е. методом упрощенной азриации. При пропускании азрированной воды через бумажный фильтр содержание железа устойчиво снижалось с 3,2-3,5 до 0,6-0,7 мг/дм³, т.е. из воды удаляется железо (II), находящееся в воде в ионной форме. Оставшаяся часть железа находится в виде железоорганических соединений и не извлекается из воды безреагентными методами. Для более полного обезжелезивания в экспериментах использовалась хлорная известь.

В ходе проведения исследований по пробному обезжелезиванию было получено уравнение регрессии, адекватно опи-

сывающее процесс обезжелезивания в лабораторных условиях:

$$Y_{расч} = 0,34 - 0,18 \cdot X_1 - 0,1 \cdot X_2 - 0,04 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,07 \cdot X_1^2 + 0,18 \cdot X_2^2$$

где

$Y_{расч}$ – остаточное содержание общего железа в обработанной воде, мг/дм³;

X_1 – доза хлора в кодированных переменных;

X_2 – продолжительность контакта в кодированных переменных.

Для определения оптимальных значений исследованных факторов была решена задача условной оптимизации с граничными условиями:

$$\begin{aligned} Y_{расч} &\rightarrow \min \\ -1 &\leq X_1 \leq 1 \\ -1 &\leq X_2 \leq 1. \end{aligned}$$

Решение системы позволило выявить оптимальные значения факторов, при которых достигалось наименьшее содержание остаточного железа: при дозе хлора 5 мг/дм³ и продолжительности контакта 19-20 с остаточное содержание железа составило 0,2 мг/дм³.

Данные исследований представлены проектной организации для проектирования промышленной установки для обезжелезивания воды на станции водоподготовки г. Дрогичина.

Таким образом, установлено, что артезианская вода, поступающая из скважин на станцию водоподготовки г. Дрогичина, методом упрощенной азриации не обезжелезивается до существующих норм. Экспериментально установлено, что одним из вариантов обезжелезивания воды может быть использование окислительного метода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Никаноров А.М. Гидрохимия: Учебник. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989.-351 с.
2. Драйвер Дж. Геохимия природных вод. –Пер. с англ. – М.: Мир, 1985.-440 с.
3. СНиП 2.04.02. - 84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения./ Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1985.-136 с.
4. Строкач П.П., Кульский Л.А. Практикум по технологии очистки природных вод: /Учебное пособие/. – Мн.: Высш. школа, 1980.-320 с.
5. Сборник санитарных правил и норм по питьевому водоснабжению. – Мн.: 2000.-154 с.