



Визуализация процесса ионообменного умягчения воды с целью прогнозирования и управления

Комарова И.В., Галкина Н.К., Анфилов Б.Г., Шептовецкая К.И.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

Аннотация

При разработке системы контроля и управления процесса ионообменного умягчения воды предлагается использовать адекватные математические модели процесса очистки и регенерации. Это дает возможность рассчитать и отобразить состояние фильтра в течение процесса, зная производительность и состав воды, поступающей на вход фильтра, в разные моменты времени. Результат расчета позволяет прогнозировать момент времени, когда необходимо произвести изменение режима.

Разработано Windows приложение расчета и визуализации режимов работы ионообменного фильтра при умягчении воды. Приложение позволяет в режиме «on line» фиксировать время изменения исходных данных и вводить новые значения производительности и состава воды для этого момента времени. Учитывая состояние фильтра в момент изменения входных параметров, производится дальнейший расчет всех стадий процесса умягчения с изменившимися входными параметрами.

В приложении задается последовательность основных этапов процесса. При этом предоставляется возможность варьировать расчет этих этапов изменением исходных данных. Результаты расчетов представляются в виде графиков выходных кривых и распределений по слою ионита сорбированных компонентов

Введение

В промышленных системах умягчения воды, как правило, отсутствуют данные о состоянии ионообменных фильтров в разные моменты времени проведения процесса. Переключение фильтров на регенерацию проводится по данным анализов в периодически отбираемых пробах на выходе из фильтра. Такой способ контроля за ходом процесса является недостаточным и может привести к существенным проскокам целевого компонента, так как выходные кривые кальция и магния достаточно крутые. Информация о протекании процесса регенерации обычно отсутствует, что затрудняет выбор условий регенерации. Особенно усложняется решение вопроса при изменении входных параметров, которыми являются производительность и состав воды, поступающей на очистку. В этом случае невозможно предсказать продолжительность фильтроцикла.

Преодоление этих трудностей может быть осуществлено на основе использования математической модели процесса. В ГЕОХИ РАН на основе многолетних фундаментальных исследований разработаны математические модели ионообменных процессов обессоливания и умягчения воды [1-4]. Адекватность математических моделей реальному процессу для стадий очистки, регенерации и отмывки доказана для целого ряда укрупненных и промышленных фильтров [5-10]. Ранее на базе математических моделей стадий очистки и регенерации создан комплекс программ расчета и визуализации процесса химводоочистки с

блочным включением фильтров [6], который позволяет рассчитать состояние фильтра в заданный момент времени и получить кривые распределения поглощенных компонентов по высоте фильтра. Это позволяет отобразить состояние фильтра в момент времени, интересующий оператора-технолога, и прогнозировать момент времени, когда необходимо осуществить переключение стадий процесса. Ограниченность этой программы состоит в том, что она работает с постоянными по времени входными данными.

Очевидно, что состав очищаемой воды и производительность фильтра могут меняться в течение фильтроцикла, что должно привести к изменению режима работы (моменту отключения фильтра на регенерацию, условий регенерации).

Расчет фильтроцикла с учетом изменений исходных данных в течение процесса очистки позволяет дать рекомендации оператору технологу по изменению режима отключения фильтра на регенерацию в связи с изменившимися условиями.

Кроме того, возможность расчета состояний фильтров в рабочем режиме и режиме регенерации позволит решать задачу поиска оптимальных режимов процесса по экономическому критерию при ограничениях на производительность и качество очищенной воды непосредственно для каждого цикла.

В связи с этим в развитие ранее проведенных работ в ГЕОХИ РАН разработана программа расчета и визуализации режимов работы ионообменного фильтра при умягчении воды. Программа позволяет в режиме «on line» фиксировать изменения исходных данных, новые значения производительности и состава воды и на основании этого проводить расчет всех стадий процесса умягчения. Результаты расчета представляются в виде графиков.

Иллюстрация работы программы приводится для процесса очистки воды от кальция, что характерно для процесса умягчения воды и очистки сточных вод от избыточного кальция, как способа предварительной очистки воды перед мембранными установками.

Работа с программой визуализации

Пример исходных данных для работы программы представлены в табл. 1.

Таблица 1. Пример исходных данных

Фильтры						
Высота слоя	L	см	25			
Сечение фильтра	S	м ²	25,25 10 ⁻⁴			
Сорбент	КУ-2					
Порозность сорбента	p		0,4			
Диаметр зерна сорбента	d	см	0,06			
Раствор						
Время изменения	t	мин	0	50	100	120
Количество изменений			3			
Содержание натрия	Na	г-экв/л	0,011	0,011	0,011	0,011
Содержание магния	Mg	г-экв/л	0,018	0,008	0,018	0,018
Содержание кальция	Ca	г-экв/л	0,016	0,026	0,036	0,036
Производительность	V	м ³ /час	0,01	0,012	0,011	0,01
Сорбция						
Останов по проскоку кальция	C _{пр}	г-экв/л	0,015			
Регенерация						
Производительность	V	м ³ /час	0,005			
Концентрация хлорида натрия	C _{NaCl}	г-экв/л	2			
Время	T	мин	20			
Состав воды для приготовления реагента	Na	г-экв/л	0			
	Mg	г-экв/л	0			
	Ca	г-экв/л	0			

Таблица 1. Пример исходных данных(продолжение)

Отмывка			
Производительность	V	м ³ /час	0,005
Время	T	мин	20
Состав отмывочной воды	Na	г-экв/л	0
	Mg	г-экв/л	0
	Ca	г-экв/л	0

Стадии регенерации и отмывки рассчитываются последовательно при заданных значениях параметров (время регенерации, концентрация хлорида натрия, состав воды для приготовления реагента и отмывки фильтра, а также время отмывки). В результате получаем степень регенерации и распределения по слою после восстановления емкости. Данные, представленные в табл. 1, вводятся в программу с помощью системы меню и «окон» (рис. 1,2).

Рис. 1. Окно ввода информации на стадии сорбции

После расчета стадии сорбции в окне ввода данных (рис. 1) появляется значение продолжительности фильтроцикла. Переход от стадии сорбции к регенерации и отмывке происходит по команде оператора нажатием кнопки «на регенерацию». В момент окончания стадии сорбции оператор имеет возможность продолжить расчет, т.е. перейти к следующей стадии, либо посмотреть результаты расчета проведенной стадии, вызвав соответствующие графики, либо ввести изменения в исходные данные, если они произошли в реальном процессе. Изменения в составе воды или производительности, вводятся командами «ввести» и «сохранить» (рис. 1). Вводится время изменения и значения соответствующих параметров. Все изменения отражаются на графиках зависимости производительности и состава воды от времени (рис. 3) и хранятся до окончания данной стадии очистки. Перед каждым циклом существует возможность изменить исходные данные для любой стадии процесса, а для стадии сорбции эти изменения можно ввести во время цикла.

Расчет стадий регенерации и отмывки начинается нажатием кнопки “RW”. После окончания стадий выдается информация о степени регенерации в окне ввода исходных данных для регенерации (рис.2). Перед началом следующей стадии очистки может

производится расчет регенерации и отмывки, с варьированием времени регенерации, концентрации хлорида натрия и времени отмывки с целью выбора условий регенерации и отмывки. У оператора есть возможность выбора: продолжить расчет, просчитать несколько вариантов условий регенерации или посмотреть графики результатов. Для перехода к следующей стадии используется кнопка «на сорбцию».

Рис. 2. Окно ввода информации на стадии регенерации

Рис. 3 представляет визуализацию процесса очистки на полностью регенерированном катионите – изменение значения производительности и состава исходной воды, выходные кривые кальция и магния и распределение по слою катионита сорбированных компонентов. На рисунке 3 видно, что в момент времени, равный 50 минутам, произошло увеличение производительности и изменение состава исходной воды – выросла концентрация кальция и уменьшилась концентрация магния. Следующее изменение этих параметров произошло через 100 минут от начала процесса – производительность уменьшена, концентрация магния такая же, как в начале процесса, но концентрация кальция снова увеличилась. В момент времени, равный 120 минутам состав воды не изменился, а производительность уменьшена до первоначального уровня. Продолжительность фильтроцикла с учетом всех изменений составила 192 минуты, что существенно меньше продолжительности фильтроцикла (339 минут) при постоянных первоначально заданных значениях производительности и состава очищаемой воды.

На рис. 3 показана шкала времени, двигаясь по которой, можно получить численные значения концентраций выбранного компонента в отмеченном графике. На графике выходных кривых показано значение концентрации кальция в момент окончания фильтроцикла ($t=192$ минуты).

Результаты расчета фильтроцикла с учетом всех изменений представлены на рис. 3 в виде выходных кривых кальция и магния и распределения всех компонентов по слою катионита в момент окончания фильтроцикла. Распределения компонентов по слою катионита в моменты времени, соответствующие проведенным изменениям режима, можно просмотреть, используя шкалу под этим графиком.

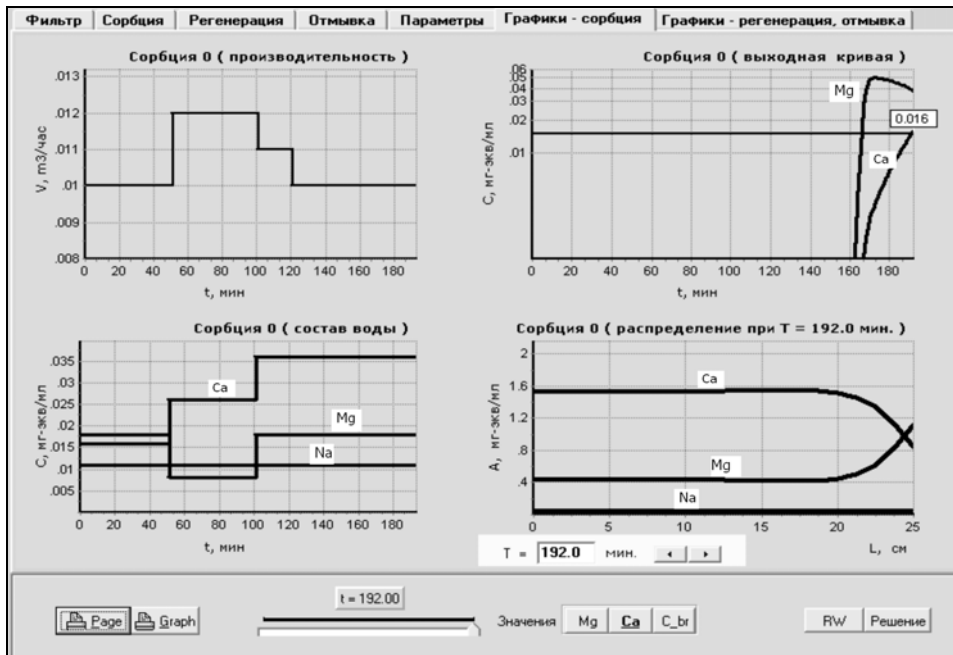


Рис. 3. Визуализация основных показателей сорбции во время фильтроцикла на полностью регенерированном катионите

На рис. 4 приведены графики распределения по слою катионита для каждого указанного момента времени. Пользователю предоставляется возможность выбирать на графиках распределения координаты, для которых он может получить значения концентрации выбранного компонента. На графиках распределений компонентов по слою приведены максимумы значения концентраций магния в разные моменты времени.

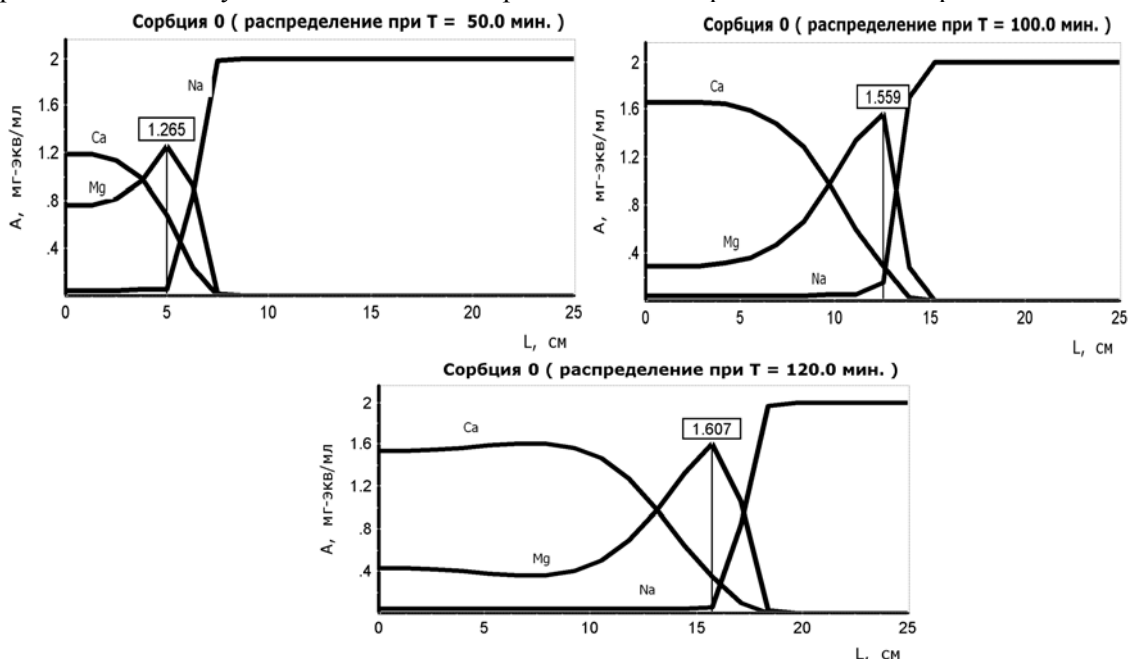


Рис. 4. Распределение компонентов по слою катионита в разные моменты времени

На рис. 5 приведены графические результаты расчета стадий регенерации и отмывки, из которых можно получить информацию о выходных кривых этих стадий, а также распределения компонентов в начале и конце стадий. Значения концентраций компонентов в заданные по шкале моменты времени вызываются таким же образом, как на стадии сорбции.

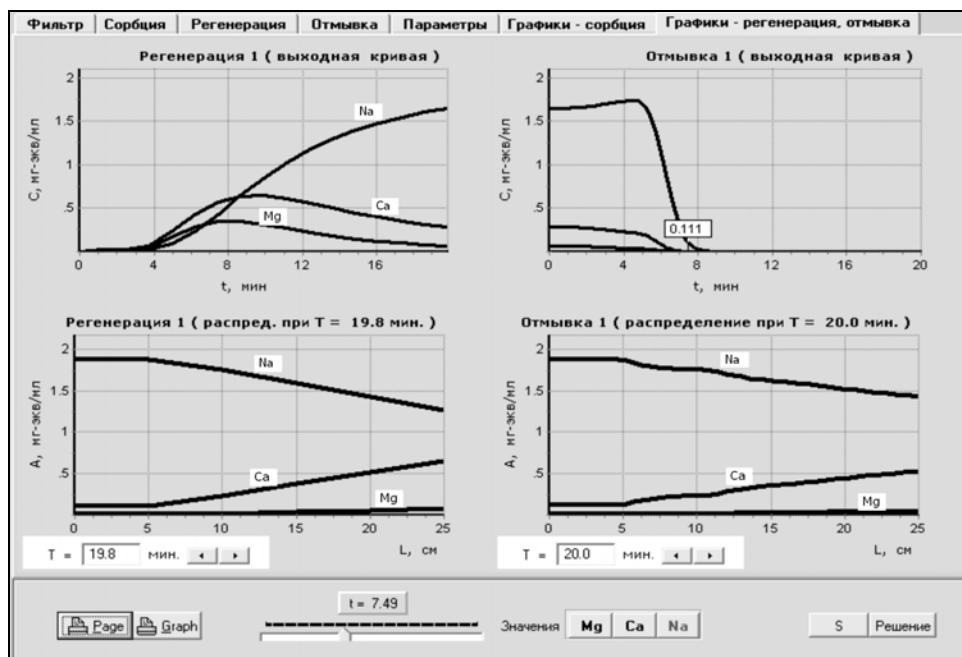


Рис. 5 Визуализация основных показателей регенерации и отмывки

Рапорт варианта Тест		Фильтроцикл 1		15.08.2007 15:36:01	
Фильтр	Высота слоя, см	25			
	Сечение фильтра, м2	25.25e-4			
Сорбция					
Раствор, г-экв/л	t = 0	50	100	120	
Натрий	0.011	0.011	0.011	0.011	
Магний	0.018	0.008	0.018	0.018	
Кальций	0.016	0.026	0.036	0.036	
Производительность, м3/час	0.01	0.012	0.011	0.01	
Остановка сорбции	по компоненту	Ca	концентрация	1.5e-2	г-экв/л.
Регенерация					
Состав раствора, г-экв/л					
Натрий	0.000	Время регенерации, мин	20		
Магний	0.000	Концентрация NaCl, г-экв/л	2		
Кальций	0.000	Расход воды, м3/час	5.0E-0003		
Отмывка					
Состав раствора, г-экв/л					
Натрий	0.000	Время отмывки (мин)	20.000		
Магний	0.000	Расход воды, м3/час	5.0E-0003		
Кальций	0.000				
<hr/>					
Продолжительность фильтроцикла, мин	146.0				
Рабочая обменная емкость, г-экв/л	1.951				
Вода, м3:	Очищенной воды	1.580			
	На регенерацию	0.099			
	На отмывку	0.100			
	На собственные нужды	0.199			
<hr/>					
Концентрация NaCl, г-экв/л	2				
Степень регенерации после отмывки	0.836				

В результате расчета цикла регенерация, отмывка, сорбция пользователь получает полную информацию о проведенном процессе в виде рапорта, в котором отражены исходные данные и результаты этого фильтроцикла. Результаты последнего фильтроцикла сохраняются в файлах и графиках до расчета следующего.

Заключение

Работа пользователя с приложением осуществляется через систему меню и «окон» ввода и вывода информации. В приложении задается последовательность основных этапов процесса умягчения. При этом предоставляется возможность варьировать расчет этих этапов изменением исходных данных расчета процесса, ввод исходных данных, осуществляется вывод информации в виде таблиц и графиков. В приложении предусмотрены простые переключения «окон» расчетов и «окон» графиков / значений.

За счет быстрого получения результатов расчета, оператор может остановить фильтр на регенерацию, не допустив при этом проскока целевого компонента.

Использование приложения при разработке системы контроля и управления процессом ионообменного умягчения воды дает возможность рассчитать и отобразить состояние фильтра в разные моменты времени, основываясь на данных о составе воды, поступающей на вход фильтра, и величине производительности, учитывая изменение этих величин в течение процесса. Полученная информация позволяет прогнозировать момент времени, когда необходимо произвести изменение режима ведения процесса.

Список литературы

1. Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Комарова И.В., Смагин В.Н., Ярошевский Д.А., Галкина Н.К., Никашина В.А. Теоретические основы деминерализации пресных вод.-М.: Наука.-1975. - 325с.
2. Сенявин М.М., Рубинштейн Р.Н., Веницианов Е.В., Галкина Н.К., Комарова И.В., Никашина В.А. Основы расчета и оптимизации ионообменных процессов. М.1972.- 172с.
3. Комарова И.В., Галкина Н.К., Махалов Е.М., Ипполитова О.Д., Колотилина Н.К., Шептовецкая К.И., Гвоздев В.Ф. Решение задач ионообменной водоподготовки на основе математического моделирования с применением ЭВМ.// Теория и практика сорбционных процессов.1989. Вып.20. Воронеж. С.30-41.
4. Галкина Н.К., Комарова И.В., Анфилов Б.Г., Шептовецкая К.И. Математическая модель глубокой отмывки ионообменного фильтра.// Сорбционные и хроматографические процессы. 2004. Т.4. Вып.5. С.644-652.
5. Закова И.М., Комарова И.В., Одинцов К.Ю., Лебедев В.Ю. Моделирование технологических процессов в ионитных фильтрах. //Теплоэнергетика. 1983. №7. С.13-16.
6. Калинина А.Г. Акмамедов С., Комарова И.В., Сенявин М.М. Расчет процесса умягчения на основе математической модели// Теплоэнергетика.1981. №9. С.53-55.
7. Комарова И.В., Галкина Н.К., Анфилов Б.Г., Свечинский В.Б., Руденко Б.А. Комплекс программ расчета процесса химводоочистки на основе математической модели.//Наука производству. 1998. №2 (4). С.53-56.
8. Юрчевский Е.Б., Комарова И.В., Галкина Н.К., Яковлев А.В., Анфилов Б.Г., Киселева С.А. Прогнозирование технологических характеристик противоточных ионообменных фильтров с использованием математического моделирования. // Теплоэнергетика 2003. №7. С.29-34
9. Комарова И.В., Галкина Н.К., Шептовецкая К.И., Анфилов Б.Г., Хамизов Р.Х. Комплексная очистка промышленных сточных вод с повышенным содержанием сульфата кальция Сообщение 1 Ионообменная очистка сточной воды// Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7. Вып. 2. С.187-196.
10. Комарова И.В., Галкина Н.К., Шептовецкая К.И., Кац Э.М., Анфилов Б.Г. Комплексная очистка промышленных сточных вод с повышенным содержанием сульфата кальция Сообщение 2 Безотходный способ регенерации ионитов// Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т.7. Вып. 2. С.197-204.