

В.В. Сарока, доц., канд. техн. наук;
И.О. Оробей, доц., канд. техн. наук;
Н.М. Олиферович, ст. преп.;
М.А. Анкуда, ст. преп.
(БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИБОРОВ ЯМР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА РЕАГЕНТОВ

При производстве калийных удобрений флотационным методом одной из основных проблем является регулирование расхода реагентов, который в значительной степени определяет объем, качество и себестоимость готовой продукции.

ПО «Беларуськалий» специализируется на производстве калийных удобрений, которые получают из сильвинитовой руды при помощи флотации. Флотацией называется процесс разделения воднорастворимых солей при помощи специфических реагентов, в результате чего создаются условия для прилипания зерен сильвина к пузырькам воздуха с последующими их удалением во флотационную пену. Одним из основных реагентов, применяемых при флотации, являются катионактивные уксусно- или солянокислые соли первичных алифатических аминов. Амины представляют собой слабые электролиты и подвергаются гидролизу, образуя в растворе наряду с катионами нейтральные молекулы.

Поскольку амины являются наиболее ценными реагентами, используемыми при флотации, то систему автоматического управления строят на регулировании их расхода. Экономия аминов в принципе может обеспечиваться и за счет повышения их активности при некоторых физических воздействиях на водный раствор.

Вследствие полярности молекул воды в больших объемах группы молекул объединяются в образования, называемые кластерами [1]. В химических реакциях взаимодействие осуществляется только «краями» кластеров, что приводит к неполному использованию реагента. В зависимости от количества молекул воды, образующих кластер, различают следующие виды кластеров: димеры, тримеры, тетрамеры, пентамеры и т.д.

Существуют различные методы дезинтеграции кластеров. Метод механического разбиения при помощи мельниц-дезинтеграторов является неудобным вследствие контакта рабочего органа мельницы с раствором и длительности процесса дезинтеграции. Более перспективны методы бесконтактного воздействия на кластеры водных рас-

творов при помощи электромагнитного поля, одним из которых является дезинтеграция при помощи ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Принцип действия таких дезинтеграторов основан на резонансном поглощении энергии радиочастотного магнитного поля ядрами образца с последующей передачей энергии кластерным объединениям. ЯМР-дезинтеграторы используются в автомобильной промышленности.

В частности, известны устройства «FUELMAX» и «SUPER-FUELMAX», предназначенные для разбиения методом ЯМР кластеров автомобильного топлива. Их использование позволяет сократить расход топлива и увеличить мощность двигателя. [2]

Проведенный анализ литературных источников показал, что наиболее перспективными дезинтеграторами являются установки, действие которых основано на резонансном поглощении энергии радиочастотного магнитного поля. Эти установки позволяют осуществить подвод энергии непосредственно к кластерам и эффективно использовать ее для дезинтеграции. Для дезинтеграции водных растворов можно применить эффект ЯМР.

В разработанном ЯМР-дезинтеграторе растворов разбиение кластеров непосредственно в технологическом процессе подачи аминов во флотационную ванну осуществляется относительно простыми техническими средствами.

Дезинтегратор состоит из поляризатора жидкости, в котором осуществляется предварительное намагничивание движущегося раствора, блока инверсии вектора ядерной намагниченности резонансным радиочастотным полем катушки отметки и анализатора вектора ядерной намагниченности жидкости [3].

Система стабилизации и развертки магнитного поля дезинтегратора представляет собой контур регулирования, включающий следующие блоки: магнитную систему с ярмом броневое типа на основе электромагнитов (объект регулирования); первичный преобразователь индукции в напряжение на датчике Холла [4], измеряющий регулируемую величину; аналоговый ПИД-регулятор; источник тока, управляемый напряжением (исполнительный механизм); генератор развертки, формирующий сигнал задания; блок питания [5].

При синтезе системы стабилизации магнитного поля особое внимание уделяют первичному преобразователю. Правильный выбор измерителя индукции позволяет с достаточной точностью поддерживать значение магнитного поля на уровне заданного значения.

Благодаря относительной простоте конструкции первичные измерительные преобразователи на основе датчика Холла (д.Х.) широко

применяются для измерения в системах управления характеристиками магнитного поля. При разработке таких систем требуется измерение с относительной погрешностью до 1% индукции низкочастотных (до 100 Гц) магнитных полей, амплитуда которых может изменяться в диапазоне $5 \cdot 10^{-5} - 1$ Тл.

Произведенный анализ существующих технических решений реализации подобных систем установил, что чувствительность датчика достигается уменьшением влияния синфазного сигнала, создаваемого управляющим током д.Х.[4].

В процессе дезинтеграции кластеров раствора аминов поддержание угла нутации Θ в пределах 180 градусов затруднено из-за не точности измерения расхода, сложности установления градиента поля и изменения свойств жидкости, в результате чего меняется время релаксации.

Для получения необходимого значения угла Θ в сигнал вводятся модулирующие колебания, которые, воздействуя на систему, изменяют значения угла нутации по синусоидальному закону. Исходное значение Θ после каждого переключения установки из режима расходомера в режим дезинтегратора принимается равным 130° . Увеличение напряжения модулирующего колебания подводит Θ к 180° . При достижении оптимального значения угла Θ ($\Theta = 180^{\circ}$) сигнал на выходе фазового детектора будет равен нулю.

Для значений угла нутации $\Theta > 180^{\circ}$ выходное напряжение фазового детектора уменьшает амплитуду модулирующего колебания и возвращает систему к значению $\Theta = 180^{\circ}$.

Синтез модели автоматического регулирования, поддерживающей угол нутации на уровне 180 градусов, можно провести с использованием численных методов современных вычислительных средств, в частности пакета MATLAB. Данное средство вычисления предназначено для решения инженерных задач. При помощи TOOLBOX SIMULINK составляется структура модели ЯМР дезинтегратора, которая описывает протекающие физические процессы в данной установке при помощи передаточных звеньев и функций преобразования сигналов.

Особую сложность при расчетах подобных систем представляют нелинейные элементы, расчет которых аналитическими методами труден. В данной системе существует несколько нелинейных элементов, поэтому для расчетов выбраны численные методы.

Установка может работать в двух режимах: 1) режим дезинтеграции, осуществляемый инверсией вектора намагниченности в блоке

инверсии; 2) режим измерения расхода, который производится периодическим изменением вектора намагниченности в блоке инверсии, (что обеспечивает постановку ядерно-магнитных меток в потоке жидкости) и последующей регистрацией времени прохождения меткой ЯМР измерительного участка. Переключение режимов осуществляется автоматически, причем сигнал ЯМР-расходомера используется как в контуре регулировки расхода, так и для подстройки системы дезинтеграции к параметрам потока.

При разработке системы автоматизации применен микропроцессорный контроллер. Это позволяет повысить качество регулирования, использовать более сложные алгоритмы и законы управления.

Применение дезинтеграторов, использующих принцип ядерного магнитного резонанса, позволит сократить расход дорогостоящих реагентов путем повышения их активности путем бесконтактного подведения энергии для раздробления кластерных образований водных растворов реагентов.

Возможность использования данного устройства в режиме меточного ЯМР-расходомера позволит измерять расход раствора аминов с большой степенью точности, что повысит качество системы управления расходом реагента.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Кубасов, А.П. Пыщев Моделирование взаимодействия воды с фрагментами цеолита методами квантовой химии. РФФИ 96-03 32343.
2. <http://www.fuelmax.tehno.ru>
3. Леше А. Ядерная индукция: Пер. с нем. –М.:ИИЛ,1963.
4. Оробей И.О., Кузьмицкий И.Ф., Гринюк Д.А., Жарский С.Е., Сарока В.В., Максимова М.В. // ПТЭ. 1997. № 2. С. 141.
5. В.В. Сарока, И.О. Оробей, Е.И., Дедкова, Т.В. Леонова, А.Л. Пархимович (БГТУ, г. Минск) Система стабилизации и развертки магнитного поля для радиоспектрометров. БГТУ 22-24 октября 2003 г. МНТК «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов» г. Минск .-Мн.: БГТУ, 2003 – 401 с., С. 78