

М. И. ГОЛОВКО, Ю. В. ГОНЧАРЕНКО, В. Н. ГОРОБЕЦ, С. М. ЗОТОВ,  
 д. ф.-м. н. Ф. В. КИВВА, к. ф.-м. н. В. Г. ГУТНИК, А. И. ГОВОРИЩЕВ

Украина, г. Харьков, Ин-т радиофизики и электроники,  
 Радиоастрономический ин-т, НПФ «Сетра ЛТД»  
 E-mail: gutnik@rian.kharkov.ua

Дата поступления в редакцию  
 25.05 2005 г.

Оппонент к. т. н. Б. А. ДЕМЬЯНЧУК  
 (ОНУ им. И. И. Мечникова, г. Одесса)

## УСТАНОВКА ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ СОРБЕНТОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

*Рассмотрен вопрос применения технологии объемного нагрева сорбента в электромагнитном поле высокой частоты и предложена установка для промышленной регенерации сорбентов.*

В энергетической промышленности в больших количествах используется трансформаторное масло. В процессе эксплуатации в масло попадают различного рода примеси и образуются продукты старения, снижающие его эксплуатационные характеристики и подлежащие удалению. Одной из наиболее опасных примесей в трансформаторном масле является вода, поглощаемая маслом из атмосферы.

Для осушки различных газов и жидкостей, включая трансформаторное масло, широко применяется процесс адсорбции. Удаление (адсорбция) воды (адсорбата) из масла в процессе его эксплуатации обычно осуществляется в адсорберах, заполненных поверхностно-активными веществами-сорбентами [1]. Выбор сорбентов зависит от конкретной задачи. Для удаления воды применяются микропористые сорбенты, например цеолиты. Масло, проходя через адсорбер, заполненный сорбентом, обезвоживается до тех пор, пока у сорбента не наступит фаза насыщения влагой. При этом необходимо либо заменить сорбент, либо регенерировать его.

Основной стадией регенерации является десорбция или удаление поглощаемого вещества (влаги) из сорбента [2]. Наиболее широкое применение в промышленности нашел метод термической десорбции с помощью специальных электронагревателей (ТЭНов), которые представляют собой линейно распределенные источники тепла. Передача тепла от них происходит за счет теплопроводности в системе "сорбент—масло", которая очень низка. Недостатками такого метода является либо большое время регенерации (более 30 ч), либо локальный перегрев вблизи поверхности ТЭНов, который приводит к коксованию сорбента.

Целью настоящей работы является создание устройства для ускоренной регенерации сорбента в промышленных условиях.

Важно отметить, что время регенерации сорбента определяется скоростью его нагрева. С одной стороны, для увеличения скорости нагрева требуется увеличение мощности нагрева, с другой — для приме-

няемых в промышленности сорбентов скорость нагрева не должна превышать 5—6°С/мин [3]. Кроме того, качество регенерации сорбента определяется неизменностью необходимой температуры во всем объеме адсорбера.

Из этого следует, что при термической регенерации сорбента необходимо, как минимум, выполнить два условия — обеспечить оптимальную скорость нарастания температуры в адсорбере и создать равномерное температурное поле внутри всего объема адсорбера. Решить эту задачу можно применяя технологию объемного нагрева сорбента с помощью электромагнитного поля (ЭМП) в адсорбере.

Степень и скорость нагрева сорбента в ЭМП определяется его частотой и подводимой мощностью. Выбор рабочей частоты ЭМП осуществляется из условия необходимой глубины проникновения ЭМП в сорбент, которая зависит от комплексной диэлектрической проницаемости, а также от объема используемого адсорбера. (Обычно адсорберы имеют емкость от 10 до 100 дм<sup>3</sup>.)

Получение расчетных оценок рабочей частоты затруднено тем, что в литературе практически отсутствуют данные о комплексной диэлектрической проницаемости сорбентов. Предварительные эксперименты позволили получить некоторые данные, но они также показали, что диэлектрическая проницаемость сорбентов существенно зависит от частоты и изменяется в процессе регенерации. Тем не менее расчетные оценки на основе предварительных экспериментов с используемыми в промышленности сорбентами для адсорберов с указанными выше объемами позволили определить оптимальный диапазон значений рабочей частоты ЭМП — 10—30 МГц [4]. Исходя из требований по условиям безопасности для персонала и окружающей среды значение рабочей частоты было выбрано равным  $f=13,56 \text{ МГц} \pm 0,05\%$ .

Структурная схема устройства промышленной регенерации сорбента с помощью электромагнитного поля приведена на рис. 1 и включает в себя систему тепловой обработки сорбента (I) и вакуумно-гидравлическую систему (II). Система тепловой обработки сорбента состоит из генератора высокой частоты (ВЧ) 1 с блоком питания 2, согласующего устройства 3, нагрузки (адсорбера) 5 и блока управления 4. Вакуумно-гидравлическая система состоит из адсорбера 5, индикатора визуального контроля 8,

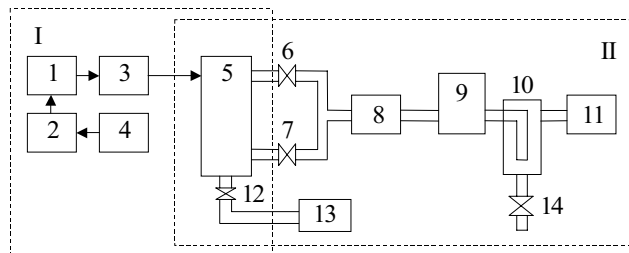


Рис. 1. Структурная схема устройства промышленной регенерации сорбента

теплообменника 9, сборника конденсата 10 и вакуумного насоса 11.

Принцип действия устройства состоит в следующем.

Энергия высокой частоты от генератора через коаксиальную линию поступает в адсорбер, который представляет для генератора ВЧ комплексную нагрузку. В результате испарения и удаления влаги из адсорбера диэлектрические свойства сорбента в процессе регенерации меняются, а следовательно, меняются и параметры нагрузки. Это требует периодической подстройки (согласования) выхода генератора и нагрузки с помощью устройства 3, позволяющего согласовывать меняющийся импеданс сорбента.

Пары влаги, выделяющиеся в результате регенерации сорбента, удаляются из верхней и нижней частей адсорбера через вентили 6 и 7. Жидкое масло, выделяемое в результате нагрева из сорбента, через вентиль 12 поступает в отстойник 13.

Для уменьшения температуры испарения воды и повышения эффективности регенерации в адсорбере создается вакуум (порядка 10000 Па) с помощью вакуумного насоса типа 2НВР-5ДМ. Пары влаги поступают в теплообменник 9, затем в сборник конденсата 10. Сконденсированная влага сливается из системы через вентиль 14.

Между адсорбером и теплообменником вмонтирован индикатор визуального контроля испарения 8. Управление мощностью генератора и контроль температуры внутри адсорбера осуществляются с помощью датчика температуры, вмонтированного в адсорбер. Кроме того, в конструкции адсорбера предусмотрены технологические измерители температуры, используемые для контроля температуры внутри адсорбера в процессе его наладки и эксплуатации.

Включение установки и контроль режимов ее работы осуществляются с помощью блока управления.

Генератор высокой частоты предназначен для генерации мощности ВЧ необходимой величины, передачи ее по кабелю через согласующее устройство в адсорбер. Генератор ВЧ имеет следующие технические характеристики:

максимальная выходная мощность	1000 Вт
выходное сопротивление	75 Ом
рабочая частота	13,56 МГц
стабильность частоты, не хуже	$10^{-4}$
диапазон ручной регулировки мощности	100...1000 Вт
напряжение питания	3 фазы, 380 В, 50 Гц
потребляемая мощность	$\leq 4$ кВт
габаритные размеры генератора	500×250×500 мм
габаритные размеры блока питания	500×200×500 мм
масса генератора	$\leq 25$ кг
масса блока питания	$\leq 60$ кг.

Функциональная схема генератора ВЧ приведена на рис. 2.

Задающий генератор 1 генерирует напряжение синусоидальной формы с частотой 13,56 МГц, которое подается на блок управления 2, где осуществляется его ручная регулировка перед подачей на вход усилителя мощности 3, что позволяет изменять ВЧ-мощность в адсорбере.

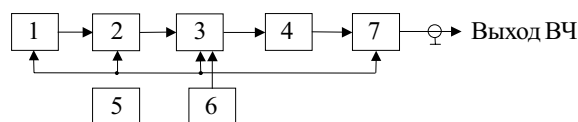


Рис. 2. Функциональная схема генератора ВЧ

Усилитель мощности выполнен на базе мощного генераторного тетрода ГУ-84Б с воздушным охлаждением. В анодную цепь тетрода включен П-контур 4, который обеспечивает согласование выхода генератора с коаксиальным кабелем (имеющим волновое сопротивление 75 Ом), а также точную настройку контура в резонанс на частоте 13,56 МГц.

Блок питания 5 обеспечивает необходимые напряжения постоянного тока для работы схем задающего генератора, блока управления, питания накала генераторной лампы и рефлектометра.

Для питания анода и экранной сетки лампы усилителя мощности используется высоковольтный выпрямитель 6, который обеспечивает получение напряжений +2000 В при токе нагрузки до 1 А и +300 В при токе нагрузки до 0,2 А. В случае превышения потребляемых токов по одной из цепей срабатывает устройство токовой защиты и отключает нагрузку. Кроме этого, в блоке питания имеется специальная блокировка, которая не позволяет включить генератор при отсутствии принудительного воздушного охлаждения выходной лампы усилителя мощности, а также автоматически отключает все источники питания при возникновении неисправностей в системе охлаждения и пропадании напряжения питания накала лампы.

Выходная мощность ВЧ-сигнала с выхода П-образного колебательного контура поступает на рефлектометр 7, который обеспечивает измерение и индикацию прямой и отраженной мощности, контролируя тем самым степень согласования выхода ВЧ-генератора с нагрузкой.

Конструктивно генератор ВЧ выполнен в виде двух блоков — высокочастотного устройства (собственно генератор) и блока питания.

Генератор высокой частоты подключается к адсорберу через согласующее устройство, которое предназначено для согласования выходного сопротивления генератора 75 Ом с входным сопротивлением адсорбера и представляет собой перестраиваемый Т-образный контур.

Основным элементом в устройстве регенерации сорбента является адсорбер вертикального типа (рис. 3), представляющий собой отрезок жесткой коаксиальной линии, разомкнутой на конце, которая заполняется сорбентом. Металлический цилиндр, выполненный из стальной трубы диаметром 250 мм и высотой 1000 мм, одновременно является внешним проводником 5 коаксиальной линии. Внут-

ри этой трубы по оси расположена труба меньшего диаметра, которая является центральным проводником 6. Для создания равномерного температурного поля к центральному проводнику прикреплены четыре металлических ребра 7. Центральный проводник устанавливается через керамический изолятор 9 на металлическую сетку 10. Верхний конец центрального стержня крепится ко дну согласующего устройства 2, которое одновременно является крышкой адсорбера. Согласующее устройство крепится к адсорберу через фланец 3.

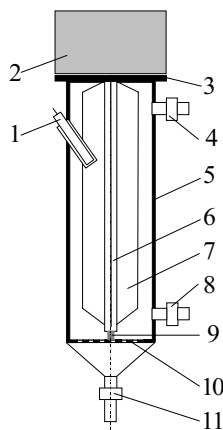


Рис. 3. Адсорбер

Удаление паров влаги в экспериментальном макете осуществляется через два вентиля — верхний 4 и нижний 8. Жидкое масло и влага, которые выделяются в процессе регенерации, удаляются через вентиль 11. Во внешней стенке адсорбера устанавливается термометр 1 типа РТ-3 для контроля температуры внутри адсорбера в процессе регенерации.

#### Заключение

Разработано, изготовлено и испытано устройство регенерации сорбента в электромагнитном поле, имеющее следующие эксплуатационные параметры:

- |  |              |
|--|--------------|
| 1. Масса одновременно регенерируемого сорбента         | ≤ 50 кг.     |
| 2. Максимально достижимая температура внутри адсорбера | ≤ 300°С.     |
| 3. Градиент температуры в адсорбере:                   |              |
| в радиальном направлении                               | ≤ 2°С/см;    |
| по высоте  | ≤ 0,2°С/см.  |
| 4. Время регенерации                                   | ≤ 8...10 ч.  |
| 5. Количество циклов регенерации без замены сорбента   | ≤ 10.        |
| 6. Масса   | 200 кг.      |
| 7. Габариты  | 1,5×1,5×1 м. |

По сравнению с существующими образцами предлагаемое устройство имеет следующие достоинства:

- обеспечение необходимой температуры с малыми градиентами во всем объеме регенерируемого сорбента;
- повышение скорости регенерации (по сравнению с нагреванием ТЭНами) в 1,5 — 3 раза;
- исключение необходимости механического перемешивания и пересыпания сорбента, приводящего к его разрушению;
- увеличение количества циклов регенерации сорбента без его замены, снижение удельных и общих затрат на регенерацию сорбента.

Основным достоинством описанного устройства является то обстоятельство, что в электромагнитном поле высокой частоты происходит объемный нагрев вещества, при котором минимизируется его деформация, а качественная сушка происходит быстрее и при меньших температурах и давлениях, что не приводит к разрушению нагреваемого вещества. Благодаря этому достоинству разработанное устройство может найти широкое применение в различных отраслях науки и промышленности, в частности в радиоэлектронике при изготовлении деталей и узлов из пластмасс и керамики, технология производства которых требует быстрого объемного неразрушающего нагрева.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники.— М.: Химия, 1984.
2. Лукин В. Д., Анципович И. С. Регенерация адсорбентов.— Л.: Химия, 1983.
3. Головкин Г. А. Установка для производства инертных газов.— Л.: Машиностроение, 1974.
4. Кивва Ф. В., Горобец В. Н., Зотов С. М. и др. Новые технологии обработки сорбентов // Новини енергетики.— 2003.— № 1–2.— С. 26—31.

#### НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

#### Медведев А. Технология производства печатных плат.— М.: Техносфера, 2005.— 360 с.

Монография содержит детальное изложение механических и электрохимических процессов производства печатных плат, включая бесстружечную обработку, лазерное сверление, очистку отверстий поверхностей, химическую и прямую металлизацию, финишные и контактные покрытия, а также изложение вопросов тестирования и технологического обеспечения надежности межсоединений.

Книга предназначена для профессиональных технологов, инженеров-разработчиков и практиков.

#### Баев Б. П. Микропроцессорные системы бытовой техники. Учебник для вузов.— М.: Горячая линия-Телеком, 2005.— 480 с., ил.

Излагаются основы микропроцессорной техники и различные подходы к проектированию микропроцессорных устройств на базе микропроцессоров и микроконтроллеров серий К580, К1816, К1807 и PIC170752, предназначенных для контроля и управления технологическими процессами. Рассматриваются способы программирования и отладки программного обеспечения для микропроцессорных систем на языках различного уровня.

Для студентов вузов сервисных специальностей; может быть полезна для специалистов, занимающихся разработкой микропроцессорных средств управления.