

КОНТРОЛЬ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ И АДСОРБЦИОННОЙ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ НА ИК-ФУРЬЕ-СПЕКТРОМЕТРЕ ФТ-801 С МНОГОПРОХОДНОЙ ГАЗОВОЙ КЮВЕТОЙ

УДК 543.42

Ковалев Е.В., к.х.н., **Бальжинимаев Б.С.**, д.х.н., Институт катализа СО РАН, bic@catalysis.ru
Ежевская Т.Б., к.т.н., **Бубликов А.В.**, ООО НПФ "СИМЕКС", simex@simex-ftir.ru
Смирнов А.Е., **Стомпель С.И.**, ЗАО "Безопасные Технологии", office@zaobt.ru

Очистка выбросов промышленных предприятий от летучих органических соединений – важная экологическая задача, которая решается с помощью каталитических, адсорбционных и комбинированных систем. Для оценки эффективности очистки воздуха в таком оборудовании целесообразно применение спектрального ИК-метода. Фирма "Симекс" разработала оригинальную установку на базе ИК-фурье-спектрометра ФТ-801, укомплектованного термостатированной многопроходной газовой кюветой, которая была успешно использована для аналитического контроля при испытании систем каталитической и адсорбционной очистки вредных выбросов.

Выбросы в атмосферу летучих органических соединений (ЛОС) наносят большой вред окружающей среде и здоровью людей. Наиболее часто в выбросах присутствуют пары бутилацетата, толуола, ацетона и других органических растворителей, широко используемых в производстве различных лакокрасочных материалов, пластиков и резин. Эффективным способом снижения высоких (более 2000 мг/м³) концентраций ЛОС в газовых выбросах признаны каталитические методы очистки [1, 2], которые окисляют эти вредные соединения до безопасных диоксида углерода и воды. Тепло, выделяемое в катализаторе при глубоком окислении ЛОС, используется для поддержания автотермического режима каталитического процесса. Но при концентрациях ЛОС ниже 2000 мг/м³ выделяется недостаточно тепла, и требуется дополнительный постоянный подогрев, что снижает экономическую эффективность каталитического метода. В этом случае воздух сначала очищают от ЛОС, используя адсорбционные технологии [3–5] и концентрирование [6–7]. Насыщенный загрязнениями адсорбент восстанавливают постепенным нагреванием до температур 150–250°C, при этом ЛОС выделяются в газовую фазу, достигая высокой концентрации, после чего используют их каталитическое окисление до безопасных соединений.

В настоящей работе приведены результаты применения спектрального ИК-метода для контроля концентрации ЛОС на разных стадиях очистки воздуха каталитическими и адсорбционными методами.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ЗАО "Безопасные Технологии" и Институт катализа им. Г.К. Борескова в рамках комплексного проекта "Высокоэффективные каталитические установки для защиты окружающей среды" создали опытные установки и провели испытания промышленных макетов каталитических картриджей на основе высокоэффективного платинового стеклотканного катализатора и адсорбционного роторного концентратора с цеолит-содержащим сорбентом. Испытание промышленных макетов включало очистку газовых потоков от толуола, а для оценки ее эффективности требовалось решить задачу измерения концентрации толуола на выходе из каталитической установки.

ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ

В качестве приборов аналитического контроля при создании опытных установок были выбраны ИК-фурье-спектрометры ФТ-801 фирмы "СИМЕКС", которые обладают высокой чувствительностью, необходимым спектральным разрешением и комплектуются термостатированными многопроходными газовыми кюветами с длиной оптического пути 20 м.

Кюветы с большой длиной оптического пути дают возможность непрерывно и практически мгновенно определять толуол в газовом потоке с концентрацией до 0,4 мг/м³, то есть ниже предельно допустимой концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест (0,6 мг/м³ для толуола). Это

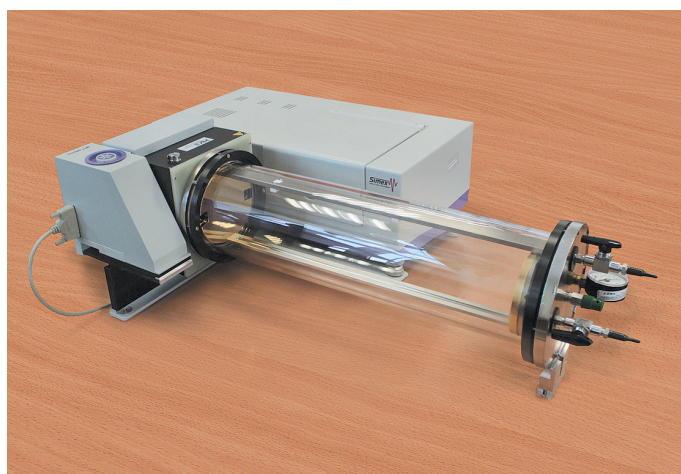


Рис.1. ИК-фурье-спектрометр ФТ-801 с термостатированной 20 м газовой кюветой фирмы PIKE и контроллером температуры. На фото справа кювета закрыта терморубашкой

позволяет использовать их не только в опытных установках, но и в системах очистки газовых выбросов на промышленных предприятиях, а также в заводских и аналитических лабораториях.

Традиционная компоновка, когда многопроходная газовая кювета устанавливается вертикально в кюветный отсек, весьма неудобна для промышленного применения, так как требует осторожного обращения, позволяет использовать только встроенный в прибор детектор ИК-излучения и делает невозможным решение других задач. Поэтому фирма "СИМЕКС" разработала оригинальную схему установки, при которой многопроходная газовая кювета располагается горизонтально рядом со спектрометром и снабжена собственным ИК-детектором, размещенным на платформе переходного оптического блока (рис.1). Можно использовать как пленочный или твердотельный пироэлектрический, так и более быстродействующий высокочувствительный охлаждаемый детектор HgCdTe-МСТ. Его выбор зависит от минимально возможной концентрации, характерного спектрального диапазона, требуемой скорости регистрации данных и других особенностей решаемой задачи, а также от типа используемой кюветы – количества проходов и, соответственно, коэффициента пропускания.

Спектральный комплекс имеет компактные размеры, удобен в эксплуатации и достаточно мобилен. Принципиально важно, что отсек спектрометра для образцов остается свободным и, при необходимости, может быть использован для любых задач: анализа жидких и твердых образцов традиционными методами, размещения малогабаритных однопроходных

газовых кювет, установки другого экспериментального оборудования.

ЭКСПЕРИМЕНТ

ИК-фурье-спектрометры ФТ-801 были предварительно откалиброваны по характерным полосам поглощения 728 см^{-1} или 3037 см^{-1} для автоматического определения концентрации толуола в газовой смеси. На рисунке 2 приведены три типичных спектра газовой смеси с различными концентрациями толуола, измеренными до очистки и после нее: 800 мг/м^3 – спектр исходной смеси, 141 мг/м^3 – при

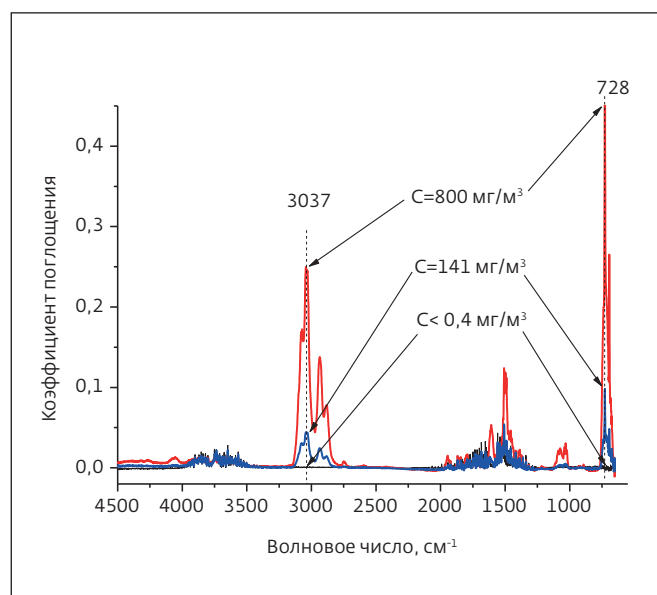


Рис.2. Спектры газовой смеси с различной концентрацией толуола

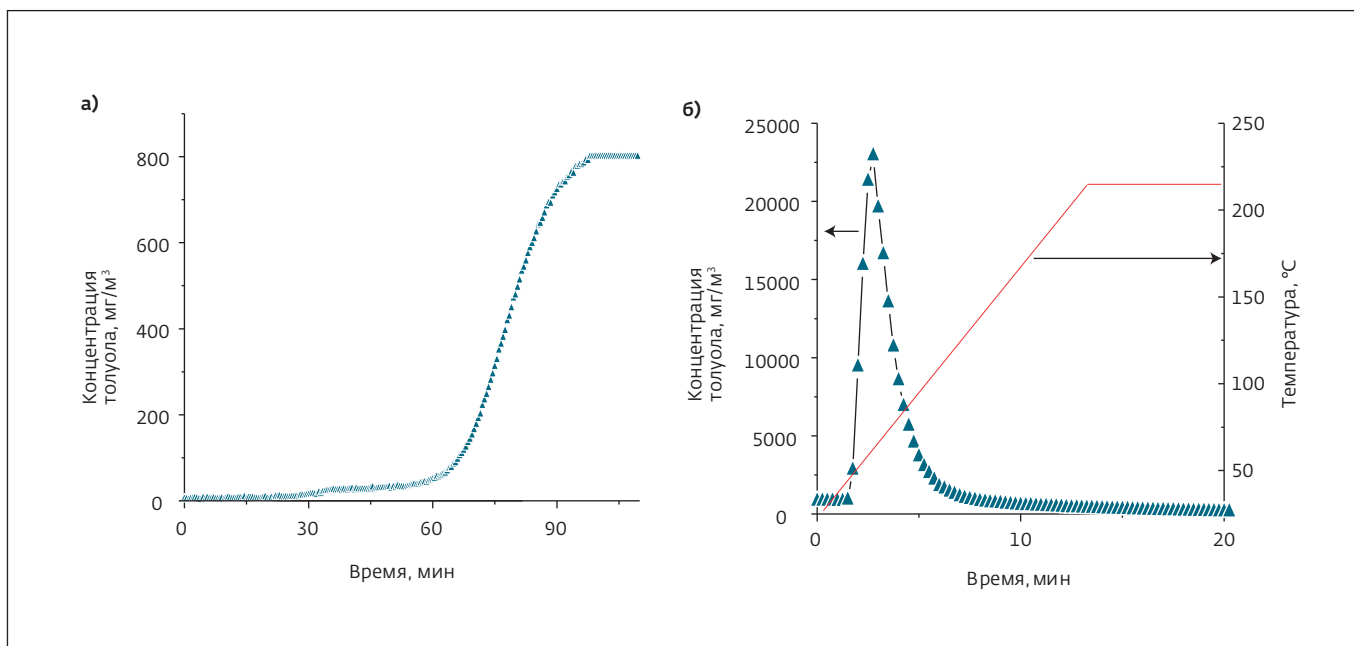


Рис.3. Автоматическое определение концентрации толуола при исследовании следующих процессов: а) адсорбция толуола из воздуха при комнатной температуре; б) термодесорбция толуола при скорости нагрева сорбента 15°C/мин

неполной очистке и менее 0,4 мг/м³ – при полной очистке газового потока от толуола. Изменяя рабочие параметры каталитической установки (скорость прохождения газового потока через каталитические картриджи различной структуры и температуру реактора), удалось добиться требуемой эффективности, то есть полноты очистки, и определить обеспечивающую ее оптимальную структуру каталитического картриджа.

Программа управления спектрометром ФТ-801 и обработки спектров ZaiR 3.5 обладает широкими возможностями, включающими измерение концентраций вещества по заданным полосам в автоматическом режиме через определенные промежутки времени. Это позволило изучить адсорбционные свойства цеолитных сорбентов, используемых в роторных концентраторах (устройствах для накопления вредных ЛОС), например, определить время, в течение которого сорбент концентратора способен очищать загрязненный газовый поток при комнатной температуре, и время его восстановления при нагреве.

На рисунке 3а показано, что время насыщения сорбента концентратора и появления толуола на выходе из него составляет около 60 мин. Через 90 мин концентрация толуола на выходе увеличивается до исходных значений 800 мг/м³ в загрязненном воздухе, то есть емкость сорбента полностью запол-

няется, и он нуждается в регенерации. Регенерацию проводят методом термодесорбции – нагреванием сорбента с высвобождением толуола и его последующим разложением в каталитической установке на углекислый газ и воду.

На рисунке 3б показано изменение концентрации высвобождаемого из сорбента толуола при нагревании со скоростью 15°C/мин. На графике видно, что высвобождение толуола начинается через 2 мин, в течение последующих 2 мин достигает предельного значения 24 000 мг/м³, а через 10 мин термодесорбция заканчивается, и сорбент готов к повторному использованию.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В настоящей статье приведена только часть полученных результатов. Проведенные эксперименты и последующая обработка спектров, полученных на оборудовании НПФ "СИМЕКС", позволили, в частности, решить следующие задачи:

- успешно подобрать цеолитсодержащий сорбент для создания макета роторного концентратора;
- определить адсорбционные характеристики и условия регенерации сорбента;
- оценить эффективность очистки газового потока от ЛОС каталитическими картриджами с различной структурой;

- определить оптимальную структуру каталитического картриджа.

Таким образом, опыт применения ИК-фурье-спектрометра ФТ-801 с многопроходной газовой кюветой с большой длиной оптического пути для анализа газовых выбросов показал, что импортозамещающее оборудование фирмы "СИМЕКС" надежно и удобно в использовании для аналитического контроля в установках каталитической очистки вредных выбросов.

НИОКТР по теме "Высокоэффективные каталитические установки для защиты окружающей среды" выполнена ЗАО "Безопасные Технологии" (Санкт-Петербург) и Институтом катализа им. Г.К. Борескова (Новосибирск) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках постановления Правительства РФ №218 от 09.04.2010 (договор № 03.G25.31.0221 от 03.03.2017).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ojala S., Pitkaaho S., Laitinen T., Koivikko N.N., Brahma R., Gaalova J., Matejova L., Kucherov A., Paivarinta S., Hirschmann C., Nevanpera T., Riihimaki M., Pirila M., Keiski R.L. Catalysis in VOC abatement // Top. Catal. 2011. V. 54. P. 1224–1256.
2. Liotta L.F. Catalytic oxidation of volatile organic compounds on supported noble metals // Appl. Catal. B-Environ. 2010. V. 100. P. 403–412.
3. Kullavanijaya E., Trimm D.L., Cant N.W. Adsorption/adsorption/catalytic combustion for VOC and odour control // Stud. Surf. Sci. Catal. 2000. V. 130. P. 569–574.
4. Nikolajsen K., Kiwi-Minsker L., Renken A. Structured fixed-bed adsorber based on zeolite/sintered metal fibre for low concentration VOC removal // Chemical Engineering Research and Design. 2006. V. 84. P. 562–568.
5. Rittert J.A., Yang R.T. Pressure swing adsorption: experimental and theoretical study on air purification and vapor recovery // Ind. Eng. Chem. Res. 1991. V. 30. P. 1023–1032.
6. Kuma T., Mitsuma Y., Ota Y., Hirose T. Removal efficiency of volatile organic compounds, VOCs, by ceramic honeycomb rotor adsorbents // LeVan M.D., editor. Fundamentals of Adsorption. The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science. V. 356. Boston: Springer, 1996.
7. Mitsuma Y., Ota Y., Hirose T. Performance of thermal swing honeycomb VOC concentrators // J. Chem. Eng. Jpn. 1998. V. 31. № 3. P. 482–484.

РЕКЛАМА

Шестой Всероссийский симпозиум и школа-конференция молодых ученых «Кинетика и динамика обменных процессов»

РОЛЬ SEPARATION SCIENCE В ЭКОЛОГИИ
к 115-летию со дня открытия хроматографии русским ученым М.С. Цветом

С 29 октября по 6 ноября 2016 года, Краснодарский край, г. Сочи, Адлерский район, ул. Бестужева 8, отель «Альмира». Организаторы: ФАНО РФ, Российская академия наук, Научный совет по физической химии РАН, Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина

Научная программа симпозиума предусматривает проведение пленарных и секционных заседаний по темам:
Separation Science в прорывных направлениях современной науки, нанохимии и биомедицине;
актуальные разработки российских ученых, используемые в науке и технологиях;
методические и программные разработки в области Separation Science;
новейшие достижения в области хромато-масс-спектрометрии.

Научная программа школы-конференции включает лекции ведущих учёных, устные и стендовые доклады молодых исследователей.

В рамках симпозиума состоятся круглые столы по темам:
«Перспективы развития хроматографии в России»;
«Применение хроматографии в экологии».

Симпозиум будут сопровождать выставка оборудования и семинары ведущих приборостроительных компаний.