

66
Е30

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ЕГОРОВ Александр Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО
УГЛЕАДСОРБЦИОННОГО ПРОЦЕССА РЕКУПЕРАЦИИ
БЕНЗИНА

Специальность 05.17.08 – Процессы и аппараты химической
технологии

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск – 1979

Работа выполнена в Государственном научно-исследовательском институте по промышленной и санитарной очистке газов и Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова.

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор АСТАХОВ В.А.

Научный консультант - кандидат технических наук, старший
научный сотрудник АНЦЫПОВИЧ И.С.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
профессор ЛЕПИЛИН В.Н.,
кандидат физико-математических наук,
доцент НОВОСЕЛЬСКИЙ А.Д.

Ведущее предприятие: Государственный институт по проектированию предприятий кожевенно-обувной и меховой промышленности (ГПИ-2)

Защита диссертации состоится "16" января 1980 г. в 10 часов на заседании специализированного Совета К-056.01.03 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова, по адресу: г.Минск, ул.Свердлова, 13-а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского технологического института им.С.М.Кирова.

Автореферат разослан " 8 " декабря 1979 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО СОВЕТА,
КАНДИДАТ ХИМИЧЕСКИХ НАУК,
СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК

Е.Д.ДЗЮБА

66
E30

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Рост промышленного производства с особой остротой ставит задачу защиты воздушного бассейна страны от загрязнения вредными примесями. Принятые XXV съездом КПСС "Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976-1980 годы" уделяют большое внимание вопросам охраны окружающей среды.

Одной из первостепенных задач при защите окружающей среды от вредных примесей является проблема повышения эффективности очистки промышленных выбросов от паров летучих растворителей. По ориентировочным данным, потери органических растворителей в СССР составляют более одного миллиона тонн в год. Санитарно-гигиеническая сторона проблемы сочетается в случае оптимизации действующих газоочистных сооружений с экономической, поскольку огромные количества ценных продуктов промышленных производств, безвозвратно теряемые с выбросами, могут значительно пополнять сырьевые ресурсы страны.

5527ap

Широкое распространение для рекуперации летучих растворителей нашел углеадсорбционный метод очистки, основанный на поглотительной способности активного угля. Однако, установки для рекуперации растворителей, применяемые в настоящее время в различных отраслях промышленности, например для очистки газов при производстве искусственных кож и пленочных материалов, недостаточно эффективны вследствие эксплуатации в условиях, не отвечающих оптимальному режиму (удельные энергозатраты отечественных рекуперационных установок в 3-4 раза выше зарубежных). Промышленный процесс рекуперации растворителей зачастую подвержен значительным возмущениям (концентрация поглощаемого компонента, расход, влажность и температура очищаемой паровоздушной смеси и т.п.), обусловленными, в основном, технологическими особенностями основного производства. Сложность исследования углеадсорбционного процесса рекуперации определяется его периодичностью и наличием отдельных фаз (адсорбции, десорбции, сушки и охлаждения). В литературе практически отсутствуют сведения по комплексному исследованию и решению задачи оптимизации процесса рекуперации летучих растворителей углеадсорбционным методом. Не

БИБЛИОТЕКА БТИ
им. С. М. Кирова

решен вопрос о выборе обобщенного технико-экономического критерия оптимизации, позволяющего судить об эффективности процесса в целом и его параметрической чувствительности.

Ц е л ь р а б о т ы. Исходя из вышесказанного были выбраны объекты исследования, методы эксперимента и моделирования и сформулирована цель настоящей работы, а именно:

- проведение комплекса исследований, необходимых для разработки и обоснования алгоритма расчета оптимальных технологических параметров промышленного углеадсорбционного процесса рекуперации летучих растворителей (на примере рекуперационной установки бензина Калининградского технохимзавода);

- экспериментальные и теоретические исследования статических и динамических закономерностей процесса адсорбции паров бензина БР-I на активном угле АР-З в зависимости от основных факторов проведения процесса и получение адекватных математических зависимостей для расчета времени фазы адсорбции;

- экспериментальные и теоретические исследования процесса десорбции бензина из активного угля водяным паром, определение его лимитирующей стадии и разработка математического описания, позволяющего получить расчетную зависимость времени фазы десорбции от реальных условий проведения процесса;

- выбор и обоснование обобщенного критерия оптимальности углеадсорбционного процесса рекуперации летучих растворителей, установление его связи с основными технологическими параметрами и исследование его поведения в области изменения основных возмущающих и управляющих воздействий промышленной рекуперационной установки;

- разработка алгоритма оптимального управления промышленным углеадсорбционным процессом рекуперации бензина и его внедрение.

Н а у ч н а я н о в и з н а. Впервые проведено комплексное исследование и решена задача статической оптимизации промышленного углеадсорбционного процесса рекуперации летучего растворителя (бензина БР-I) с использованием экономико-математической модели, адекватно отражающей основные зако-

номерности отдельных фаз процесса. Установлена связь критерия оптимальности с основными технологическими параметрами процесса и определена его параметрическая чувствительность. Разработана блок-схема алгоритма расчета критерия оптимальности углеадсорбционного процесса рекуперации с применением ЭВМ, позволяющая проводить аналогичные исследования для целого класса адсорбционных процессов. Разработан и внедрен алгоритм оптимального управления (с переменной длительностью фазы адсорбции) промышленным углеадсорбционным процессом рекуперации бензина. Получено авторское свидетельство на способ управления циклическим адсорбционным газоочистным процессом.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь. На основании изучения статики и динамики адсорбции паров бензина БР-1 на активном угле АР-3 получены изотермы адсорбции в явном виде и динамические характеристики слоя адсорбента, которые могут быть использованы для расчета и проектирования адсорбционных установок.

На базе проведенных исследований составлена блок-схема алгоритма расчета критериев оптимальности углеадсорбционного процесса, позволяющая проводить исследование поведения указанных критериев при изменении основных параметров процесса и рассчитывать их оптимальное значение для любой адсорбционной системы сорбент-сорбат с соответствующими исходными данными.

Данная методика комплексного исследования была успешно использована для определения оптимальных режимных параметров 2-х промышленных установок рекуперации бензина и обоснования целесообразности управления данными объектами с переменной длительностью фаз.

Положительные результаты проделанной работы позволяют рекомендовать данную методику исследования для повышения эффективности работы целого класса промышленных углеадсорбционных аппаратов. Система контроля проскоковых концентраций, позволяющая организовать управление углеадсорбционным процессом рекуперации бензина с переменной длительностью фазы адсорбции, демонстрировалась на ВДНХ СССР и отмечена серебряной медалью.

Реализация результатов работы.

В результате проведенного исследования внесены изменения в технологический регламент промышленной рекуперационной установки бензина Калининградского технохимзавода и внедрена система автоматического контроля и оптимального управления процессом с переменной длительностью фазы адсорбции. Годовой экономический эффект составил 37,4 тыс. рублей. Алгоритм оптимальной программы управления процессом внедрен также на промышленной рекуперационной установке бензина Уральского завода асбесто-технических изделий (г.Асбест). Полученные результаты диссертационной работы были использованы для разработки технического проекта "Автоматизированная система управления технологическим процессом рекуперации летучих растворителей", а также явились основой для выдачи рекомендаций институту "Гипрогазоочистка" по управлению проектируемой рекуперационной установки для Московского завода "Каучук".

А п р о б а ц и я р а б о т ы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались:

- на Всесоюзной научно-технической конференции "Молодые исследователи и конструкторы химическому машиностроению" (г.Дзержинск, 1977 г.);
- на Всесоюзной конференции "Опыт создания безотходной технологии в химической и нефтяной промышленности" (г.Барнаул, 1977 г.);
- на Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов "Защита окружающей среды от вредных выбросов промышленных предприятий" (г.Москва, ВДНХ СССР, 1978 г.).

П у б л и к а ц и и. По теме диссертации опубликовано семь работ и получено авторское свидетельство на изобретение.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, библиографии, приложений, содержит 136 страниц основного машинописного текста, 48 страниц приложений, 42 рисунка и 21 таблицу. В библиографии приведено 112 наименований отечественных и зарубежных работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко охарактеризовано современное состояние научно-технической проблемы повышения эффективности газоочистного оборудования рекуперации летучих растворителей, поставлена цель работы, обоснованы актуальность и новизна исследуемых задач, а также необходимость их решения.

В первой главе проведен анализ литературных данных по исследованию, математическому моделированию и оптимизации адсорбционно-десорбционных процессов рекуперации летучих растворителей. Дана критическая оценка имеющихся экспериментальных и теоретических данных. Указано, что отсутствие достаточного количества экспериментального материала по учету влияния влажности паровоздушной смеси на адсорбцию летучих растворителей активным углем не дает возможности произвести точный расчет параметров процесса адсорбции. Предложенные отдельными авторами полумпирические зависимости по учету влияния влажности паровоздушной смеси на величину адсорбции летучих растворителей нуждаются в дополнительной проверке, в частности для такой широко распространенной адсорбционной системы, какой является "активный уголь АР-З - бензин БР-1". Анализируя состояние работ, относящихся к исследованию и расчету процесса десорбции, было отмечено отсутствие достаточно точных математических зависимостей, позволяющих установить связь времени десорбции с другими параметрами, характеризующими этот процесс. Отсутствуют и экспериментальные данные по десорбции широко распространенного растворителя - бензина БР-1 водяным паром.

Встречающееся в литературе ограниченное количество работ, посвященных оптимизации углеадсорбционного процесса очистки газа, ставят своей целью нахождение наилучших условий проведения какой-либо одной из фаз процесса, в большинстве случаев адсорбции или десорбции. Отсутствуют работы по комплексному исследованию и решению задачи статической оптимизации процесса рекуперации летучих растворителей углеадсорбционным методом с учетом всех стадий. Литературная проработка показала, что не решен вопрос и о выборе обобщенного технико-экономического критерия оптимальности процесса рекуперации летучих

растворителей, позволяющего судить об эффективности процесса в целом.

Кроме того было отмечено, что распространенное в настоящее время управление процессом рекуперации летучих растворителей с постоянной длительностью фазы адсорбции при эксплуатации установок в промышленных условиях во многих случаях не соответствует оптимальному.

На основании проведенного анализа литературных данных были сформулированы основные задачи, решение которых явилось предметом исследований.

Во второй главе представлены основные результаты по экспериментальному и теоретическому исследованию процессов адсорбции и десорбции бензина БР-1 на активном угле АР-3. Дана краткая характеристика и обоснование выбора в качестве объекта исследования адсорбционной системы "активный уголь АР-3 - бензин БР-1".

Закономерности динамики сорбции основываются на равновесных и кинетических характеристиках исследуемой пары сорбент-сорбат. Поэтому было проведено исследование равновесной адсорбции паров бензина БР-1 на активном угле АР-3 на лабораторной динамической установке Дзержинского филиала НИИОГАЗа. Исследование проводилось в следующем диапазоне изменения параметров: концентрации паров бензина от 1,3 до 22 г/м³, влажности паровоздушной смеси - 0 и 90%, температуре - 20 и 35°C. Указанные диапазоны изменения параметров включают в себя характерные значения данных параметров большинства промышленных углеадсорбционных процессов рекуперации бензина.

Для проверки воспроизводимости экспериментального динамического метода определения равновесной активности угля по парам бензина была использована серия дублированных опытов. Оценка проводилась по критерию Кохрена и для уровня значимости $p=0,05$ экспериментальные данные воспроизводимы.

Анализируя полученные равновесные характеристики, можно отметить, что все кривые имеют резковыпуклые начальные участки, характерные для микропористых адсорбентов I-го структурного типа. Увеличение влажности паровоздушной смеси до 90% снижает равновесную активность угля по парам бензина в сред-

нем на 30%. Особенно сильное влияние паров воды на равновесную адсорбционную способность угля по парам растворителя наблюдается в области концентраций бензина от 1 до 4 г/м³.

Для описания адсорбционного равновесия были использованы уравнения: Ленгмюра, Дубинина-Радушевича, Дубинина-Астахова и Кисарова. На основании обработки экспериментальных данных определены основные константы, входящие в указанные уравнения. Установлено, что адсорбционное равновесие паров бензина БР-1 на активном угле АР-3 в исследованной области рекуперационных концентраций (1-22 г/м³) достаточно точно описывается уравнениями Кисарова и Ленгмюра, а также может быть рассчитано с помощью теории объемного заполнения микропор на основании экспериментальной изотермы адсорбции стандартного пара (бензола).

Для расчета адсорбционной способности угля по парам бензина при наличии в паровоздушной смеси паров воды была проведена принципиальная возможность использования полумпирического уравнения, предложенного в работе^X. Анализ показал удовлетворительное соответствие экспериментальных и рассчитанных данных, особенно в области больших концентраций (5 - 20 г/м³).

Динамика адсорбции паров бензина изучалась на лабораторной и модельной установках при варьировании параметров процесса в пределах: концентрации паров бензина в очищаемой паровоздушной смеси от 1,3 г/м³ до 40 г/м³, температуры 20°C и 35°C, высоты слоя адсорбента от 0,09 м до 0,4 м. Используя метод статистических моментов при обработке выходных кривых процесса адсорбции, полученных при различных высотах адсорбента, была доказана его стационарность начиная со слоев угля 0,1 м и выше.

Анализ выходных кривых позволил получить количественные значения параметров, характеризующих динамику процесса адсорбции паров бензина БР-1 активным углем АР-3: скорости движения фронта сорбции, высоты неиспользованного слоя, коэффициента защитного действия, времени появления за слоем угля проскоковой концентрации и т.д. Установлена зависимость высоты

X Фадеев А.И., Кисаров В.М. Научно-технический реф. сб. "Промышленная и санитарная очистка газов". М., ЦИТИХимнефтемаш, № 5, 1973, с 14-15.

работающего слоя от концентрации паров бензина в очищаемой паровоздушной смеси при температуре 35°C.

Полученные экспериментальные данные по динамике процесса адсорбции и установленная его стационарность, позволили использовать для расчета уравнение Шилова и уравнение Тихонова-Жуховицкого-Забезинского, полученное при приближенном решении математического описания изотермического процесса. Для более точного расчета времени фазы адсорбции был предложен метод, сочетающий приближенное аналитическое уравнение с регрессионной зависимостью кинетического коэффициента, входящего в уравнение Тихонова-Жуховицкого-Забезинского, от условий проведения опыта.

Количественная оценка адекватности указанных трех методов расчета проведена по критерию Фишера путем сравнения выборочных дисперсий адекватности и воспроизводимости.

Специфические особенности протекания процесса десорбции для различных систем адсорбент-адсорбат, зависящие от формы изотермы, удерживающей способности, структуры адсорбента, физико-химических свойств десорбирующего агента и т.п., приводят к необходимости экспериментального исследования и подтверждения выбранных для расчета зависимостей, являющихся основой для математического моделирования процесса.

Исследование процесса десорбции бензина БР-I из активного угля АР-3 водяным паром проводилось на модельной установке с высотой слоя 0,42 м. Температура десорбирующего пара была равна 105-110°C. Эти параметры полностью соответствовали условиям процесса десорбции на оптимизируемом объекте - рекуперационной установке Калининградского технохимзавода. Идентичность условий проведения опытов на модельной и затем промышленной установках позволила выявить ряд общих закономерностей и определить возможности физического моделирования данной фазы процесса рекуперации. В качестве варьируемого параметра была выбрана скорость подачи десорбирующего агента (водяного пара) в аппарат, которая изменялась от 0,03 м/с до 0,194 м/с. Количество десорбированного бензина определялось путем замера его мерным цилиндром, установленным на линии выхода сконденсировавшейся паробензиновой смеси из конденсатора - теплообменника. Опыты по десорбции бен-

зина дублировались не менее трех раз, что позволяло оценить воспроизводимость экспериментальных данных по критерию Кохрена. Анализ кинетических зависимостей показал, что с увеличением скорости подачи пара увеличение скорости процесса десорбции происходит лишь до определенного уровня, после которого влияние скорости пара на процесс десорбции можно считать незначительным. Это свидетельствует о том, что процесс десорбции при изменении скорости пара переходит из внешнедиффузионной области, соответствующей меньшим скоростям пара, во внутридиффузионную область, при которой практически отсутствует влияние скорости пара на процесс десорбции. Граница перехода соответствует скорости пара близкой 0,1 м/с. Для описания скорости процесса десорбции было использовано уравнение

$$\frac{da}{dt} = -\beta(a_0 - a_t) = -\beta a \quad (I)$$

где β - кинетический коэффициент; a_0 - равновесная статическая активность; a_t - количество вещества, десорбированного за время t ; a - остаточное количества вещества в угле.

Проверка адекватности зависимости (I) экспериментальным данным была осуществлена по критерию Фишера и для уровня значимости $p=0,05$ данную зависимость можно признать адекватной и использовать для расчета.

Третья глава посвящена комплексному исследованию углеадсорбционного процесса рекуперации бензина на промышленной установке. Количество выбросов, диапазон изменения концентрации извлекаемого из них компонента, влажности и температуры и т.п. во многом определяют выбор оптимальных режимов работы. Проведенное исследование динамики изменения концентрации паров бензина в паровоздушной смеси, поступающей на рекуперационную установку, показало, что в зависимости от вида вырабатываемой продукции концентрация изменяется от 3 г/м³ до 18 г/м³. Распределение статистической совокупности концентраций паров бензина является двухмодальным, с модами несоответствующими усредненной проектной концентрации (9 г/м³) как по абсолютной величине, так и по частоте появления. Диапазон изменения влажности паровоздушной смеси составляет от 20% до 36%, а температуры - 30^o - 35^oС.

Была исследована равновесная активность угля АР-3 по парам бензина на промышленной паровоздушной смеси.

Исследование динамики адсорбции паров бензина на промышленной установке в реальном диапазоне изменения возмущающих воздействий позволило получить зависимость времени отработки слоя сорбента до проскоковой концентрации и параметры, характеризующие динамику промышленного процесса. Получена адекватная экспериментальным данным расчетная зависимость времени фазы адсорбции.

Для получения расчетной зависимости времени фазы десорбции бензина водяным паром было разработано математическое описание на основании рассмотрения процессов тепло- и массообмена на элементарном участке слоя адсорбента.

Принимая изотермичность процесса десорбции, на основании анализа экспериментальных температурных зависимостей, полученных на промышленной установке, математическое описание будет иметь следующий вид

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial C}{\partial t} = -W_n \frac{1}{\varepsilon \rho_n} \frac{\partial C}{\partial h} + \frac{1}{\varepsilon \rho_n} u \\ \frac{\partial a}{\partial t} = -\frac{1}{(1-\varepsilon)\rho_t} u \\ u = K_n a \\ K_n = f(W_n) \end{array} \right. \quad (2)$$

где C и a - количество десорбируемого бензина соответственно в паровой и твердой фазах; ρ_n и ρ_t - плотность соответственно паровой и твердой фаз; ε - порозность слоя сорбента; W_n - линейная скорость подачи пара в аппарате; u - скорость процесса десорбции; K_n - наблюдаемая константа скорости процесса десорбции; t - время; h - высота слоя сорбента.

Методом регрессионного анализа экспериментальных данных исследования процесса десорбции при различных скоростях подачи пара, полученных на промышленной установке, установлена зависимость

$$K_n = -9,58 + 12,47 W_n - 0,564 W_n^2, \\ 0,03 \text{ м/с} \leq W_n \leq 0,16 \text{ м/с}, \quad (3)$$

где W_n - линейная скорость пара, м/мин.

Количественная оценка адекватности решения системы уравне-

ний (2) с учетом зависимости (3) экспериментальным данным проведена по критерию Фишера для уровня значимости $p=0,05$.

Получив зависимости для расчета времени фаз адсорбции и десорбции, связанные с основными возмущающими и управляющими параметрами, было проведено дальнейшее исследование и оптимизация стационарных режимов промышленного углеадсорбционного процесса рекуперации бензина.

Четвертая глава посвящена выбору и обоснованию критерия оптимальности и решению задачи статической оптимизации промышленного углеадсорбционного процесса рекуперации бензина.

Поскольку изменение режимных параметров отдельных фаз процесса влияет на технико-экономические показатели процесса, то в качестве критерия оптимальности наиболее удобно использовать выражение приведенного дохода

$$R_1 = (U - C - KE_n) \longrightarrow \max, \quad (4)$$

где U - цена продукции, отнесенная к объему продукции; C - себестоимость единицы продукции; K - капитальные вложения, отнесенные к объему продукции; E_n - нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат.

В случае исследования и оптимизации процесса рекуперации при неизменных капитальных вложениях критерий оптимальности выражения (4) преобразуется в критерий фактической прибыли:

$$R_2 = (U - C) \longrightarrow \max. \quad (5)$$

Применение критерия себестоимости целевого продукта рекуперации R_3 целесообразно в случае, если суммарные затраты, связанные с его получением, превосходят стоимость самого продукта:

$$R_3 = C \longrightarrow \min. \quad (6)$$

Особенностью углеадсорбционного процесса рекуперации летучих растворителей является его периодичность, что не позволяет применить к нему методы оптимизации, характерные для непрерывных процессов. Анализ экономических показателей и поиск оптимальных условий проведения процесса рекуперации необходимо производить за достаточно большой период времени, в течение которого выполняется несколько полных его циклов. Это приводит к необходимости использования интегральных оце-

нок критериев оптимальности.

Выбор критерия оптимальности в виде выражений (4), (5) или (6) еще не определяет оптимальные режимы проведения процесса. Необходимым этапом является представление экономического критерия оптимальности как функции основных технологических параметров процесса.

Анализируя составляющие критерия оптимальности (6) для промышленной рекуперационной установки бензина, получаем уравнение связи себестоимости с основными технологическими параметрами в виде

$$C = \frac{1}{B} \left\{ \sum_1 + U_1 G_T + U_2 N [P_1 \tau_{ag} + P_2 (\tau_c + \tau_{охл})] + U_3 N (Q_n \tau_g + Q'_n \tau_c) + U_4 N (\gamma Q_{пвс} \tau_g + Q_B \tau_c) \right\} \quad (7)$$

где B - объем вырабатываемой продукции за год; \sum_1 - постоянные затраты, включающие заработную плату, начисления, амортизационные отчисления и отчисления на ремонт; U_1 - стоимость единицы расходуемого сырья или энергии (U_1, U_2, U_3, U_4 - соответственно угля, электроэнергии, пара, воды); P_1, P_2 - мощность электродвигателя вентилятора, обеспечивающего подачу i - реагента [P_1, P_2 - соответственно для подачи паровоздушной смеси (ПВС) и воздуха на сушку и охлаждение]; $\tau_{ag}, \tau_g, \tau_c, \tau_{охл}, \tau_c$ - время осуществления отдельных фаз процесса - адсорбции, десорбции, сушки, охлаждения и подготовки (охлаждения) паровоздушной смеси перед поступлением на рекуперационную установку; $Q_n, Q'_n, Q_{пвс}, Q_B$ - количество реагента в единицу времени соответственно пара на десорбцию, пара на нагрев воздуха на осушку, конденсирующей паробензиновой смеси, воды; G_T - количество угля; γ - коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции конденсатора - теплообменника и теплофизических характеристик взаимодействующих веществ; $N = A/\tau_{ag}$ - количество рабочих циклов в году; A - количество рабочих часов установки в году.

Задача оптимизации процесса рекуперации бензина (приняв время фаз сушки и охлаждения постоянным) была сформулирована следующим образом: необходимо определить режимные параметры двух основных фаз (адсорбции и десорбции) процесса,

обеспечивающие минимальное значение критерия оптимальности в виде интегральной оценки себестоимости согласно выражениям (6), (7) при поддержании качества очистки паровоздушной смеси и рекуперированного бензина в заданных пределах.

Решение поставленной задачи было осуществлено расчетом оптимальных режимов на ЦВМ "Мир-2" с помощью ранее разработанных математических моделей стадий процесса адсорбции и десорбции. Исследование поведения критерия оптимальности было осуществлено в диапазоне реальных промышленных возмущающих и управляющих воздействий. В качестве заданных значений были приняты следующие: расход паровоздушной смеси, поступающей на очистку, равен 20000 м³/час, влажность паровоздушной смеси 36%, температура десорбирующего пара 110°С. Возмущающие факторы и их пределы изменения: температура паровоздушной смеси 35-50°С, концентрация паров бензина в очищаемой паровоздушной смеси 3-17 г/м³. Управляющий параметр - расход пара на десорбцию 0,03-0,16 м/с.

В расчетах был использован один из наиболее простых и надежных методов оптимизации - метод сканирования, который гарантировал нахождение глобального оптимума.

Таким образом, в результате проведенного исследования промышленного процесса рекуперации бензина при помощи экономико-математической модели были определены оптимальные (в смысле выбранного критерия) технологические параметры: окорость подачи пара на десорбцию $W_n = 0,07$ м/с, остаточное содержание бензина в угле после десорбции $a_{ост} = 4\%$ вес., определена зависимость критерия от концентрации бензина в очищаемой паровоздушной смеси и ее температуры. Результатом исследования явилось определение параметрической чувствительности критерия оптимальности и разработка и внедрение оптимального управления процессом с переменной длительностью фазы адсорбции.

В ы в о д ы

1. Выполнен комплекс исследований применительно к разработке промышленного процесса рекуперации бензина в неподвижном слое активного угля.

2. На основании теоретического и экспериментального исследования процесса адсорбции паров бензина (БР-1) на активном угле (АР-3) получены равновесные и динамические характе-

ристики, а также расчетные зависимости времени фазы адсорбции, адекватные моделируемому процессу в диапазоне реальных промышленных возмущений. Показано, что сочетание теоретических приближенных решений с установленными эмпирическими зависимостями дает возможность практически решать технологические задачи, связанные с проведением фазы адсорбции.

3. При изучении физико-химических особенностей фазы десорбции получено уравнение кинетики десорбции и определена граница перехода процесса из внешнедиффузионной области во внутридиффузионную при изменении скорости подачи пара.

4. С целью исследования процесса десорбции летучих растворителей из активного угля водяным паром разработано его математическое описание на основании анализа процессов в элементарном объеме реакционного пространства и получены расчетные зависимости времени фазы десорбции, адекватные моделируемому объекту.

5. Произведен анализ технико-экономических критериев оптимальности и сформулирована задача оптимизации процессов рекуперации летучих растворителей. Показано, что для промышленного процесса рекуперации летучих растворителей целесообразно применять критерий "себестоимость рекуперированного продукта" или критерий "доход", если суммарная стоимость рекуперированного продукта превосходит суммарные затраты на его рекуперацию. В отдельных случаях, например, при санитарной очистке, в качестве критерия оптимизации может быть использован критерий "себестоимость очистки паровоздушной смеси". Установлена связь критериев оптимальности с технологическими параметрами процесса рекуперации.

6. Разработана программа расчета критериев оптимальности, позволяющая провести исследование поведения критериев в области возмущающих и управляющих воздействий с использованием методов математического моделирования на электронных вычислительных машинах и найти оптимальные режимы проведения процесса рекуперации.

7. Осуществлено комплексное исследование промышленного процесса рекуперации бензина и решена задача статической оптимизации при помощи критериев оптимальности. Анализ поведе-

ния критерия оптимальности при сканировании по сетке переменных позволил определить оптимальные, в смысле минимума себестоимости рекуперированного бензина, режимные параметры процесса и параметрическую чувствительность критерия.

Для промышленной установки рекуперации бензина разработан алгоритм управления процессом, обеспечивающий оптимальную стратегию переключения аппаратов и поддержание режимных параметров, отвечающих минимальной себестоимости рекуперированного бензина.

8. В результате исследований и расчетов, выполненных в диссертации, внесены изменения в технологический регламент промышленной рекуперационной установки Калининградского технохимзавода, позволившие значительно повысить эффективность процесса.

9. Внедрение оптимальной программы управления с использованием разработанного сигнализатора проококовых концентраций на промышленной рекуперационной установке Калининградского технохимзавода позволило получить экономический эффект 37,4 тыс.руб. в год. Алгоритм оптимального управления процессом с переменной длительностью фазы адсорбции внедрен также на промышленной рекуперационной установке Уральского завода асбесто-технических изделий (г.Асбест).

10. В результате исследования и расчета, проведенного по разработанной экономико-математической модели, был определен оптимальный режим работы проектируемой установки рекуперации бензина для завода "Каучук" и выданы организации "Гипрогазоочистка" данные для проектирования системы автоматического управления, обеспечивающей оптимальный режим работы.

Результаты исследования легли в основу технического проекта на типовую систему автоматического управления процессом рекуперации.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. ЕГОРОВ А.В., ЛУКИН В.Д., АНЦЫПОВИЧ И.С., АСТАХОВ В.А., ОСЬКИНА Л.К., ШКАТОВ Е.Ф. Исследование динамики выбросов летучих растворителей в производстве искусственных кож и пленочных материалов. ЖПХ, 1978, № 1, с.229; ВИНТИ АН СССР № 2375-77 деп.от 11.У1.1977.

2. ЕГОРОВ А.В., ЧЕЛНОВ А.А., ЛУКИН В.Д., АНЦЫПОВИЧ И.С., ЯНКИТОВА Л.Н., АСТАХОВ В.А., СУБЕОТИН А.И. Применение регрессионного анализа для расчета процесса адсорбции. ЖПХ, 1978, № I, с.232; ВИНТИ АН СССР № 3415-77 деп. от 24 УИ 1977.

3. ЕГОРОВ А.В., ЯНКИТОВА Л.Н., СУБЕОТИН А.И., АНЦЫПОВИЧ И.С., ЛУКИН В.Д., АСТАХОВ В.А. Определение скорости процесса десорбции и расчет кинетических констант. ЖПХ, 1978, № 2, с. 475; ВИНТИ АН СССР № 2433-77 деп. от 18 УИ 1977.

4. АНЦЫПОВИЧ И.С., ЕГОРОВ А.В., ЛУКИН В.Д., АСТАХОВ В.А. Исследование и решение задачи статической оптимизации промышленного процесса рекуперации бензина. ЖПХ, 1978, № II, с.2577-2583.

5. ЕГОРОВ А.В., АНЦЫПОВИЧ И.С., РЯБОВ Е.И., ШКАТОВ Е.Ф. Системы контроля и автоматизации процесса рекуперации в производстве искусственных кож и пленочных материалов. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции, г.Дзержинск, ЦИНТИхимнефтемаш, 1977, с.142-144.

6. ЕГОРОВ А.В., АНЦЫПОВИЧ И.С. Оптимизация процессов адсорбционной очистки вентиляционных выбросов промышленных предприятий от органических растворителей. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции, г.Барнаул, 1977, с.27-28.

7. ЕГОРОВ А.В. Исследование параметрической чувствительности критериев оптимальности промышленного процесса рекуперации бензина. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов. М., ЦИНТИхимнефтемаш, 1978, с.63.

8. ЕГОРОВ А.В., АНЦЫПОВИЧ И.С., ШКАТОВ Е.Ф., КИСАРОВ В.М., ЯНКИТОВА Л.Н., СУБЕОТИН А.И., ПУЗЫНЯ Ю.В., АНИКЕЕВ В.Н. Авторское свидетельство № 590003, Кл. ВОИД 53/02. Способ управления циклическим адсорбционным газоочистным процессом. Булл. изобретений № 4, 1978.

Анцып

Александр Владимирович Егоров
ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО
УГЛЕАДСОРБЦИОННОГО ПРОЦЕССА РЕКУПЕРАЦИИ
БЕНЗИНА

Подписано в печать 6.12.79. АТ 02634. Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд.л.1,0.

Тираж 100 экз. Заказ 381. Бесплатно.

Отпечатано на ротапринтере МПШ им.А.М.Горького.

220809. Минск, Советская,18