

КОДИФИКАЦИЯ ЗНАНИЙ О ЦИКЛИЧЕСКИХ АДСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССАХ

В.Г. Матвейкин, С.Б. Путин, П.Ю. Путин,
С.А. Скворцов, С.С. Толстошеин

ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»; ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов

Рецензент д-р физ.-мат. наук, профессор С.М. Дзюба

Ключевые слова и фразы: информационная модель; информационный ресурс; циклические адсорбционные процессы.

Аннотация: Разработана информационная модель представления технологической схемы циклического адсорбционного процесса, применяемая для создания информационного ресурса по технологическим схемам адсорбционных процессов.

В настоящее время для разделения газовых смесей применяются различные технологии: фракционная конденсация, ректификация сжиженного газа, абсорбция, адсорбция и мембранные технологии. Каждый из этих способов обладает преимуществами и недостатками, которые определяют границы целесообразности их практического применения.

Высокая эффективность циклических адсорбционных процессов разделения газовых смесей определила рост интереса к ним ученых и инженеров. Данная технология применяется во многих областях жизнедеятельности человека: нефтехимической промышленности, медицине, военной технике и т.д. Постоянно увеличивается число предприятий по всему миру, занимающихся разработкой и внедрением систем циклического адсорбционного (ЦА) разделения газовых смесей, и при этом появляются новые схмотехнические решения в духе последних достижений современной науки и техники.

Обширный массив информации в области ЦА процессов порождает ряд трудностей у специалистов, связанных с анализом, упорядочиванием, обобщением получаемых результатов на вновь разрабатываемые системы.

Матвейкин В.Г. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные процессы и управление», заместитель генерального директора ОАО «Корпорация «Росхимзащита»; Путин С.Б. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», заместитель генерального директора ОАО «Корпорация «Росхимзащита»; Путин П.Ю. – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; Скворцов С.А. – кандидат технических наук, докторант кафедры «Информационные процессы в управлении»; Толстошеин С.С. – аспирант кафедры «Информационные процессы в управлении», e-mail: sergik_ctc@rambler.ru, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Целью данной работы является разработка системы признаков, дополняющих и обобщающих существующую классификацию ЦА процессов. Данная классификация позволит увидеть место новых научно-технических результатов в системе имеющихся знаний и, как следствие, повысить эффективность их применения.

Рассмотрим базовую технологическую схему ЦА процесса (рис. 1). В данной технологической схеме предполагалось объединить наибольшее количество признаков, характерных известным системам ЦА разделения газовых смесей.

Принцип действия базовой технологической схемы состоит в следующем. Технологический процесс ЦА разделения газовой смеси протекает в окружающей среде, которая характеризуется барометрическим давлением $B_{o,c}$, температурой $T_{o,c}$, и качественным составом (концентрациями) газовых компонент $c_{o,c}$. Перепад давления в различных точках технологической схемы создается побудителями расхода (ПР) (вентиляторы, компрессоры, вакуум-насосы и т.п.). В систему поступает исходная газовая смесь, характеризующаяся параметрами $G_{вх}, c_{вх}, T_{вх}, P_{вх}$. Через систему, открытых в соответствие с циклограммой (рис. 2), впускных клапанов

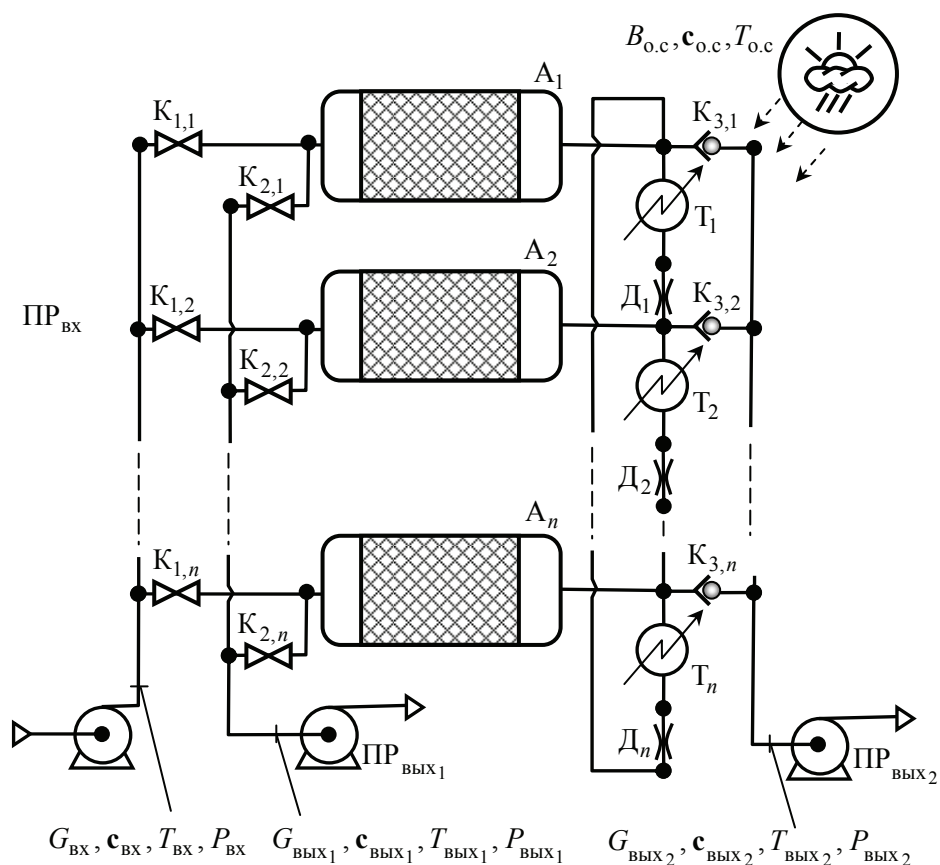


Рис. 1. Условная технологическая схема циклического адсорбционного процесса

$K_{1,i}$ ($i = \overline{1, n}$) ($K_{1,i}$ открыт – $K_{2,i}$ закрыт) смесь поступает в соответствующие адсорберы А, где происходит рост давления и селективное поглощение одного или нескольких компонент газовой смеси. На выходе из адсорберов образуется газовая смесь, концентрированная менее сорбируемым компонентом. Часть смеси через систему обратных клапанов $K_{3,i}$ поступает на выход $ПР_{\text{вых}2}$. Другая часть, проходя через соответствующий теплообменник T_i и дроссель D_i , поступает в адсорберы, у которых открыты клапаны $K_{2,i}$, где происходит десорбция более сорбируемых компонентов. Полученная газовая смесь удаляется $ПР_{\text{вых}1}$.

Переключение каждого клапана происходит циклично, согласно циклограмме. Тем самым происходит совмещение процессов адсорбции-десорбции в различных адсорберах и этим достигается непрерывность процесса в целом.

Проведем анализ технологической схемы ЦА процесса (см. рис. 1).

Основной целью функционирования любой системы адсорбционного разделения газовых смесей является перераспределение качественных составов (концентраций) $c_{\text{вых}1}$, $c_{\text{вых}2}$ в выходных потоках $G_{\text{вых}1}$, $G_{\text{вых}2}$ по отношению к качественному составу $c_{\text{вх}}$ во входном потоке $G_{\text{вх}}$.

По размерности вектора $c_{\text{вх}}$, которая определяется количеством компонент в исходной газовой смеси, все системы могут быть разделены на два класса:

- для разделения *бинарных* газовых смесей

$$c_{\text{вх}} = \{c_1, c_2\};$$

- для разделения *многокомпонентных* газовых смесей

$$c_{\text{вх}} = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}.$$

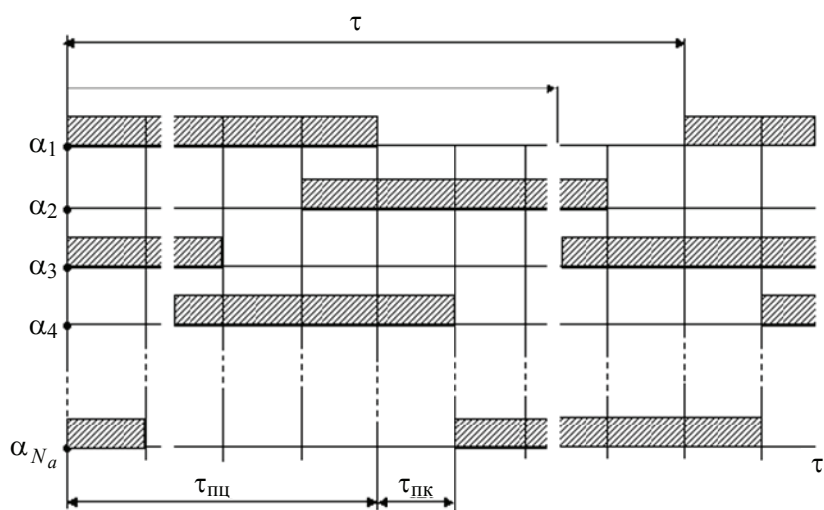


Рис. 2. Циклограмма работы впускных клапанов $K_{1,i}$ ($i = \overline{1, n}$)

По степени перераспределения концентраций компонентов в потоках системы целесообразно разделить на:

- системы концентрирования газов ($c_{\text{ВЫХ}_i} \neq c_{\text{ВХ}_i}$);
- системы очистки газов ($c_{\text{ВЫХ}_i} \rightarrow 0$).

Перепад давления в различных точках технологической схемы может быть достигнут различным соотношением давлений $P_{\text{ВХ}}$, $P_{\text{ВЫХ}_1}$, $P_{\text{ВЫХ}_2}$ по отношению к давлению окружающей среды $P_{\text{о.с}}$, которые в свою очередь будут определять рабочее давление адсорбции $P_{\text{адс}}$ и десорбции $P_{\text{дес}}$. Принцип классификации систем адсорбционного разделения по соотношению давлений адсорбции–десорбции показан на рис. 3.

Таким образом, можно выделить три класса систем;

- напорного типа (PSA);
- напорно-вакуумного типа (VPSA);
- вакуумного типа (VSA).

Одним из путей интенсификации циклических адсорбционных процессов является введение в технологическую схему теплообменной аппаратуры (см. рис. 1, теплообменники Т). Однако отсутствие теплообменной аппаратуры не нарушает логики работы системы адсорбционного разделения – колебание равновесных концентраций. Поэтому все системы циклического адсорбционного разделения по признаку присутствия специальной теплообменной аппаратуры можно разделить на два класса:

- с принудительной температурной регенерацией (TPSA, TVPSA, TVSA);
- без принудительной температурной регенерации (PSA, VPSA, VSA).

Циклическость адсорбционного процесса характеризуется частотой проведения стадий адсорбции–десорбции в адсорберах. Поэтому целесообразно было разделить все системы на два класса по длительности цикла адсорбции–десорбции:

- с сверхкороткой длительностью цикла (RPSA, RTPSA, ... добавление литеры R – «rapid») – длительность менее 1 с;
- с нормальной длительностью цикла адсорбции–десорбции – длительность более 1 с.

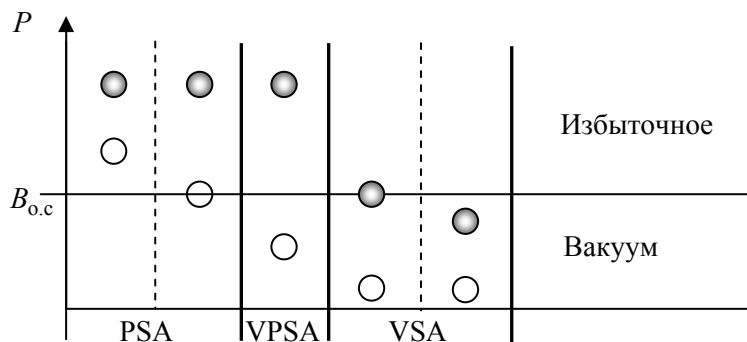


Рис. 3. Классификация по давлениям адсорбции–десорбции:

● – давление адсорбции; ○ – давление десорбции

Другим важным признаком циклограммы является возможность изменения ее параметров во времени. Системы подразделяются:

- на системы с *постоянной циклограммой* переключения клапанов;
- системы с *переменной циклограммой* переключения клапанов.

По реализации принципа управления системы делятся на следующие:

- с *программным управлением*;
- с *замкнутым управлением*;
- с *комбинированным управлением*.

Как следует из рис. 1, система адсорбционного разделения газовой смеси может в общем случае включать любое количество адсорберов n , увеличение количества которых призвано увеличить степень извлечения компонентов. Таким образом, выделяют системы:

- *одноадсорберные*;
- *двухадсорберные*;
- *многоадсорберные*.

Исключение из технологической схемы элементов, связанных с обратной продувкой адсорберов частью продукционного газа (см. рис. 1, дроссели Д,) не нарушает логики работы всей системы. Поэтому можно выделить системы по характеру перераспределения продукционного потока:

- с *флегмовым орошением*;
- *без флегмового орошения*.

Применяемые адсорберы в системах адсорбционного разделения также имеют многообразное конструктивное оформление, определяющее структуру потоков внутри шихты. Основные типы адсорберов показаны на рис. 4.

При осевом направлении (см. рис. 4, а) газовый поток движется в вдоль оси адсорбера. При радиальном направлении (см. рис. 4, б) газовый поток поступает в центральную полость и через адсорбционный слой устремляется к его периферии. Применение адсорберов с внутренней цилиндрической или конической вставкой определяет третий тип адсорберов (см. рис. 4, в), где по своей сути организуется переменное направление потоков.

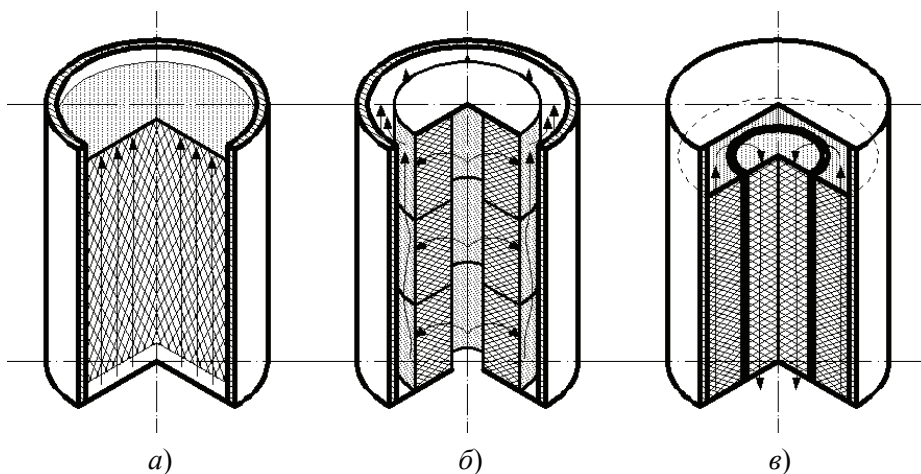


Рис. 4. Направление газового потока в адсорбере

Таким образом, *по характеру распределения потоков в адсорбере* целесообразно выделить 4 класса систем:

- с осевым направлением потоков;
- радиальным направлением потоков;
- переменным направлением потоков;
- смешанного типа.

Для достижения высокоразвитой кинетики процессов адсорбции–десорбции применяются системы с подвижным слоем адсорбента, что позволяет выделить два класса систем *по наличию движения адсорбционного слоя*:

- с подвижным адсорбционным слоем;
- неподвижным адсорбционным слоем.

Для достижения высокоселективных свойств адсорбционного слоя по отношению к многокомпонентной смеси применяют многослойную загрузку шихты различными типами адсорбентов, то есть *по характеру загрузки шихты* можно выделить следующие системы:

- с однослойной загрузкой шихты;
- многослойной загрузкой шихты.

Одним из основных преимуществ технологических схем циклических адсорбционных процессов является их масштабируемость, что привело к созданию систем *различной производительности* и различного назначения:

- малой производительности (до $2 \text{ нм}^3/\text{ч}$);
- средней производительности ($2 \dots 20 \text{ нм}^3/\text{ч}$);
- высокой производительности (более $20 \text{ нм}^3/\text{ч}$).

По характеру подвижности системы разделяют:

- на мобильные;
- стационарные.

Характер цели, достижению которой подчинено функционирование системы циклического адсорбционного процесса, определяет классификацию *по назначению*:

- промышленное;
- гражданское;
- специальное.

К первому классу относятся все установки, функционирование которых подчинено критерию – получение экономической прибыли из процесса производства, в котором задействована система адсорбционного разделения.

К системам гражданского назначения – системы, предназначенные для удовлетворения потребностей людей, не связанных с получением экономической прибыли (медицинские концентраторы, кондиционеры, системы контроля климата и т.п.)

Класс систем специального назначения призван решать задачи, связанные с обеспечением государственных интересов в различных областях (военная и космическая техника, системы коллективной защиты людей в условиях угроз техногенного и природного характера и т.п.).

Одним из направлений применения разработанной системы признаков ЦА процессов является создание информационного ресурса, доступ-

ного для различных подсистем предприятия и обеспечивающего накопление, обработку и выдачу информации по различным техническим реализациям ЦА процессов.

Приведем информационную модель представления о ЦА процессе в виде формуляра (рис. 5), который содержит 12 признаков, основное и дополнительное поле по каждому признаку.

Согласно рассмотренной выше классификации введем в рассмотрение для каждого признака в *основном* поле конечное количество градаций.

1. **Характеристика** = {«PSA», «VSA», «VPSA», «TPSA», «TVSA», «TVPSA», «RPSA», «RVSA», «RVPSA», «RTPSA», «RTVSA», «RTVPSA»};
2. **Исходная смесь** = {«бинарная», «многокомпонентная»};
3. **Продукционная смесь** = {«концентратор», «разделение»};
4. **Циклограмма** = {«переменная», «постоянная»};
5. **Управление** = {«программное», «замкнутое», «комбинированное»};
6. **Количество адсорберов** = {«один», «два», «много»};
7. **Направление в адсорбере** = {«осевое», «радиальное», «переменное», «смешанное»};
8. **Характер загрузки** = {«однослойный», «многослойный»};
9. **Флегма** = {«да», «нет»};
10. **Производительность** = {«малая», «средняя», «высокая»};
11. **Подвижность** = {«мобильный», «стационарный»};
12. **Назначение** = {«промышленное», «гражданское», «специальное»}.

Данное количество признаков и число их возможных градаций определяет 248 832 различных сочетаний.

Структура дополнительного поля имеет вид:

1. <Давление десорбции> – <давление адсорбции> (ат.) / <минимальное время полуцикла> – <максимальное время полуцикла> (с) / <минимальная температура> – <максимальная температура> (°С);
2. <Название компоненты 1>, <% об.>; <Название компоненты 2>, <% об.>, ..., <Название компоненты 3>, <% об.>;
3. <Целевой компонент>, <% об. мин – % об. макс.>;
4. <Характеристика циклограммы>;
5. <Измеряемые параметры>, <Изменяемые параметры>;
6. <Однотипность конструкции>;
7. <Конструкционное оформление>;
8. <Тип адсорбента 1>, <Тип адсорбента 2>, ..., <Тип адсорбента m>;
9. <% от продукц. – % от продукц.>;
10. <Минимальная производительность – максимальная производительность>, нм³/ч;
11. <Подвижная база>;
12. <Область применения>.

№	Признак	Основной	Дополнительный
	{Наименование признака}	{Значение признака}	{Характеристика признака}

Рис. 5. Вид заголовка информационного формуляра по ЦА процессу

Рассмотрим технологическую схему медицинского концентратора кислорода фирмы «Marathon Medical Equipment Corporation» (Международный патент № 83/03983) с позиции информационного представления в виде формуляра. Принципиальная технологическая схема установки представлена на рис. 6.

Согласно [1] принцип действия установки следующий: атмосферный воздух через механический фильтр 3, глушитель шума 4 и газораспределительное устройство 5, находящееся в положении I (сплошная линия), поступает на всасывающий патрубок газового насоса 2. С выходного патрубка через угольный фильтр 1, для удаления из потока примеси масла, воздух вновь проходит через газораспределительное устройство 5 и под давлением подается в заполненный цеолитом адсорбер 6. Из адсорбера кислородообогащенный поток через обратный клапан 8 поступает далее в ресивер 11, из которого через регулятор давления 13, расходомер 14 и фильтр 15 кислород отводится потребителю. Цикличность адсорбционного процесса осуществляется путем эффективного регулирования давления в ресивере 11. На стадии продуцирования, когда кислородообогащенный воздух по описанному выше контуру поступает в ресивер 11, давление в нем медленно растет. При увеличении давления в ресивере до заданного значения ($P = 0,2$ МПа) газораспределительное устройство 5 посредством блока управления 7, связанного с датчиком давления 12, переходит в положение II (пунктирная линия). При этом в процессе работы насоса 2 производится откачка адсорбера 6 с выводом газов регенерации в атмосферу последовательно через глушитель шума 4 и фильтр 3. Одновременно содержащийся в ресивере 11 кислородообогащенный воздух отводится потребителю, и давление в нем понижается. При уменьшении давления до 0,14 МПа посредством устройства 7 открывается клапан 10 и кислородообогащенный газ из ресивера 11 в количестве, определяемом диафрагмой 9, поступает в адсорбер 6 для продувки, которая является заключительной стадией регенерационного процесса. По завершению указанной стадии клапан 10 закрывается, газораспределительное устройство 5 переходит в положение I, и адсорбер 6 начинает работать в режиме продуцирования кислородобогащенного воздуха.

Формуляр для медицинского концентратора кислорода примет вид, представленный в табл. 1.

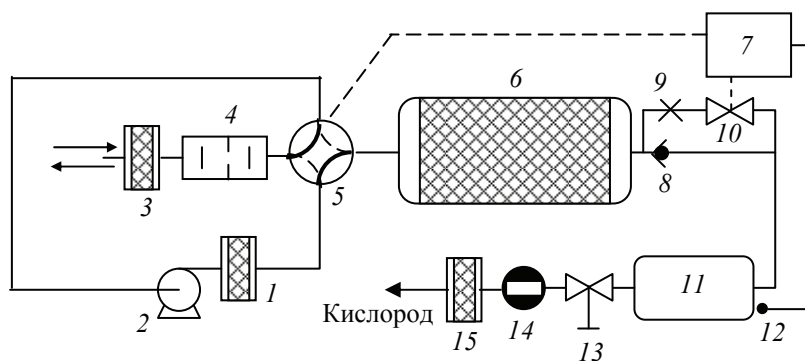


Рис. 6. Технологическая схема медицинского концентратора кислорода

**Информационный формуляр
для медицинского концентратора кислорода**

№	Признак	Основной	Дополнительный
1	Характеристика	VPSA	0,8–2
2	Исходная смесь	Бинарная	Воздух
3	Производственная смесь	Концентратор	Кислород, 22–60
4	Циклограмма	Переменная	Параметр управления
5	Управление	Замкнутое	Давление адсорбции, циклограмма
6	Количество адсорберов	Один	Тип один
7	Направление в адсорбере	Осевое	Цилиндрический адсорбер
8	Характер загрузки	Однослойный	Нах
9	Флегма	Да	40–60
10	Производительность	Малая	0–1,8
11	Подвижность	Мобильный	Переносной
12	Назначение	Гражданское	Медицина

Таким образом, разработали информационную модель представления технологической схемы ЦА процесса, пригодную для создания информационного ресурса по технологическим схемам ЦА процессов.

Список литературы

1. Получение кислорода и азота адсорбционным разделением воздуха / Глупанов В.Н. [и др.]. – М. : [б. и.], 1991. – 47 с. – (Пром. и санитар. очистка газов. Сер. ХМ-14 : Обзор. информ. / ЦИНТИХИМнефтемаш).

Codification of Knowledge about Cyclic Adsorptive Process

**V.G. Matveikin, S.B. Putin, P.Yu. Putin,
S.A. Skvortsov, S.S. Tolstoshein**

*Tambov State Technical University; Joint Stock Company
«Corporation Roskhimzashchita», Tambov*

Key words and phrases: cyclic adsorptive process; information model; information resources.

Abstract: The information model of representation of the technological scheme cyclic adsorptive process, applied to creation of an information resource under technological schemes adsorptive is developed.

© В.Г. Матвейкин, С.Б. Путин, П.Ю. Путин,
С.А. Скворцов, С.С. Толстошеин, 2010