УДК 66.012-52

**С.Н. Кондрашов, А.Г. Шумихин,
Я.Л. Фарберов, Н.И. Берсенева**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ОСУШКИ ВОЗДУХА УОВ-1

Многие химико-технологические процессы чувствительны к наличию в технологическом газе паров воды. Поэтому осушка газов имеет большое практическое значение. Необходимую степень осушки технологических газов может обеспечить адсорбция паров воды цеолитами. Процесс получения сжатого осушенного воздуха из атмосферного воздуха основан на физической способности цеолита адсорбировать в порах и на поверхности влагу. В процессе эксплуатации происходит насыщение цеолита влагой, что приводит со временем к повышению точки росы осушенного воздуха. Для поддержания точки росы на постоянном уровне предусмотрена регенерация цеолита, представляющая собой десорбцию влаги из слоя адсорбента при снижении рабочего давления до атмосферного и продувку его горячим осушенным воздухом.

Основной задачей данной работы является разработка распределенной системы управления установкой осушки воздуха и, в частности, разработка алгоритма переключения адсорберов на регенерацию. Разработана программная реализация алгоритмов пуска начала процесса регенерации, определения последнего адсорбера, находящегося в работе, выбор адсорбера на регенерацию и переключение ожидающего в режим работы, переключение регенерируемого адсорбера в режим регенерации, окончание регенерации, переключение адсорбера в режим ожидания. Реализация функций контроля и логического управления была произведена в графическом конфигураторе Control Builder. Мнемосхема установки выполнена в среде HMIWeb Display Builder.

Физическую модель установки осушки воздуха УОВ-1 в уменьшенном масштабе, в которой не обращаются химически опасные и вредные вещества, можно рекомендовать для применения в лабораторных практикумах учебных дисциплин студентов бакалавриата и магистратуры, изучающих принципы построения, программно-технические средства и комплексы автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Ключевые слова: воздух, осушка, адсорбер, распределенная система управления, программная реализация, физическая модель установки.

**S.N. Kondrashov, A.G. Shumikhin,
Ja.L. Farberov, N.I. Berseneva**

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

DEVELOPMENT OF ALGORITHMS DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM AIR DRYER UOV-1

Many chemical processes are sensitive to the presence of the process gas of water vapor. Therefore, drying gas is of great practical importance. The required degree of drying of process gases can provide a water vapor adsorption of zeolites. The process of dry compressed air from the air based on the physical ability of the zeolite to adsorb in the pores and on the surface moisture. During operation, the zeolite is saturated with moisture, which leads eventually to increase the dew point of the dried air. To maintain the dew point is provided at a constant regeneration of the zeolite, representing the moisture desorbed from the adsorbent bed at a lower operating pressure to atmospheric, and purging it with dry hot air.

The main objective of this work is the development of a distributed control system installation air drying and, in particular, research and development of procedural model switching algorithm adsorber regeneration. A software implementation of the beginning of the start of the regeneration process algorithms determine the latter adsorber being in work, the choice of adsorber regeneration and switching waiting in operation, switching regenerable adsorber in regeneration mode, the end of the regeneration, the adsorber switching to standby mode. Implementation of control and logic control function has been made in the graphical configuration tool Control Builder. Mimic installation made in HMIWeb Display Builder environment.

The physical model of the installation of air drying UOV-1 on a reduced scale, which do not address the chemically hazardous and noxious substances, can be recommended for use in laboratory practical disciplines undergraduate and graduate students studying the principles of construction, software and hardware and systems of automated control systems processes.

Keywords: air, dehydration, adsorber, distributed control system, software implementation, the physical model of the device.

Многие химико-технологические процессы чувствительны к наличию в технологическом газе паров воды. Поэтому осушка газов приобретает большое практическое значение. Основные требования, предъявляемые к адсорбентам следующие: большая адсорбционная емкость; химическая природа поверхности должна обеспечивать эффективную избирательную адсорбцию веществ в данных условиях; химическая и термическая стойкость; регенерируемость; доступность [1, 4]. Такими свойствами обладают цеолиты.

Адсорбция паров воды цеолитами может обеспечить необходимую степень осушки технологических газов. Процесс получения сжатого осушенного воздуха из атмосферного воздуха основан на физической способности цеолита адсорбировать в порах и на поверхности влагу и состоит из следующих стадий [2, 3]:

- компримирование атмосферного воздуха;
- осушка сжатого воздуха;
- выдача сжатого воздуха потребителям.

Технологическая схема установки УОВ-1 приведена на рис. 1.

Рис. 1. Технологическая схема установки УОВ-1:

Ф-1 – воздушный фильтр предварительной очистки; П-1 – подогреватель воздуха электрический; К-1 – компрессор безмасляный с орбитальной спиралью; Х-1 – водяной холодильник; Н-1 – насос; Ф-2 – водяной фильтр; Е-1 – напорный бак; Ф-3 – влагомаслоотделитель; Е-2, Е-3 – ресивер; А-1,2 – адсорбер; Ф-4 – фильтр; П-2 – нагреватель электрический

В процессе эксплуатации происходит насыщение цеолита влагой, что приводит со временем к повышению точки росы осушенного воздуха. Для поддержания точки росы на постоянном уровне предусмотрена регенерация цеолита, представляющая собой десорбцию влаги из слоя адсорбента при снижении рабочего давления до атмосферного и продувке его горячим осушенным воздухом.

Вывод адсорбера на регенерацию и переключение подачи воздуха между адсорберами производится автоматически по достижении в системе управления верхней уставки точки росы осушенного воздуха или по установленному времени работы адсорбера.

Основной задачей рассматриваемой работы является разработка распределенной системы управления установкой осушки воздуха и, в частности, изучение и разработка продукционной модели алгоритма переключения адсорберов на регенерацию [5, 6].

Для разработки продукционной модели алгоритма первоначально был составлен граф возможных состояний адсорбера, представленный на рис. 2.

Рис. 2. Граф состояний адсорбера

Совокупность установившихся состояний всех аппаратов данной технологической схемы характеризует установившееся состояние процесса, которое будем представлять в виде кортежа

$$S_i = (s_j \mid j = 1 \dots c), \quad (1)$$

где c – число аппаратов данного процесса; s_j – состояние j -го аппарата.

Эти аппараты работают в системе из K параллельных цепей по m включенных аппаратов в каждой общее число аппаратов $c = Km$. При этом каждый из аппаратов может находиться в одном из трех состояний s_i ($i = 1 \dots 3$).

Число всех состояний конечно и равно q . Таким образом, при алгоритмизации конкретного процесса можно получить множество всех его установившихся состояний. Возвращаясь к описанному выше примеру, укажем, что если $K = 1$, $m = 2$, т.е. имеются два совместно функционирующих аппарата, каждый из которых может находиться в одном из трех состояний, то, очевидно, число всех состояний процесса выражается показательной функцией $q = 3^2 = 9$. Указанные состояния приведены в табл. 1, где каждому i -му аппарату АП i ($i = 1 \dots c$) сопоставлен соответствующий столбец, а каждая ее строка представляет собой S -кортеж, отмеченный своим JiS .

Таблица 1

Возможные состояния аппаратов

Идентификатор состояния процесса S_i	Идентификатор состояния первого аппарата JiS (АП1)	Идентификатор состояния второго аппарата JiS (АП2)
S_1	Адсорбция	Адсорбция
S_2	Адсорбция	Регенерация
S_3	Адсорбция	Ожидание
S_4	Регенерация	Адсорбция
S_5	Регенерация	Регенерация
S_6	Регенерация	Ожидание
S_7	Ожидание	Адсорбция
S_8	Ожидание	Регенерация
S_9	Ожидание	Ожидание

В соответствии с техническими условиями данного процесса шесть состояний (2–5, 7, 9) из девяти приведенных в табл. 1 являются технологически возможными, а остальные три – технологически невозможными. В табл. 2 представлены технологически допустимые состояния аппаратов.

Таблица 2

Технологически допустимые состояния аппаратов

Идентификатор состояния процесса S_i	Идентификатор состояния первого аппарата JiS (АП1)	Идентификатор состояния второго аппарата JiS (АП2)
S_1	Адсорбция	Регенерация
S_2	Адсорбция	Ожидание
S_3	Регенерация	Адсорбция
S_4	Ожидание	Адсорбция

Реализация ПЛУ переключением адсорберов была выполнена с учетом разработанной производственной модели переключения [7–10]. Кроме непосредственных условий готовности адсорбера к регенерации и разрешения на автоматическую регенерацию, были учтены условия необходимости работы компрессора при переводе адсорбера в режим регенерации и возможность ручного переключения адсорбера на регенерацию. На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма регенерации адсорбера.

Рис. 3. Блок-схема алгоритма регенерации адсорбера

Общую программную среду выполнения алгоритмов контроля и управления поддерживают следующие программно-технические средства:

- контроллер С200, реализующий типовые функции контроля и управления нижнего уровня;
- сервер Experion PKS¹, реализующий более сложные и объемные (супервизорные) прикладные задачи управления, решением которых являются значения воздействий на уставки контуров управления нижнего уровня или непосредственные команды исполнительным механизмам;
- персональный компьютер, реализующий функции моделирования работы контроллера и сервера (без подключения к компьютеру последних), необходимые для проверки и отладки разработанного прикладного программного обеспечения системы контроля и управления и для обучения и тренинга оперативного персонала.

Инструментальным средством программирования задач контроля и управления во всех программных средах является построитель Control Builder.

Реализация функций контроля и логического управления была произведена в графическом конфигураторе Control Builder. На рис. 4 представлен общий вид окна Control Builder.

Рис. 4. Общий вид окна Control Builder

¹ Experion PKS Control Hardware Installation Guide. 2004.

При выполнении данной работы для программирования алгоритмов контуров регулирования, контроля, блокировок и управления отдельными аппаратами применялся язык FBD, а для реализации функций логического управления переключением адсорберов – язык SFC.

В соответствии с технологической схемой процесса были разработаны модули:

- модули для индикации, регистрации, блокировки и сигнализации;
- модули для индикации, регистрации, блокировки и сигнализации и регулирования;
- модули для управления оборудованием;
- модуль для управления регулирующим клапаном;
- модуль для управления отсечным клапаном;
- модуль реализации блокировок SAFETY.

На рис. 5–7 в качестве иллюстраций представлен вид схем некоторых из них.

Разработана программная реализация алгоритмов пуска начала процесса, регенерации, определения последнего адсорбера в работе, выбор адсорбера на регенерацию и переключение ожидающего в работу, переключение регенерируемого адсорбера в режим регенерации, окончания регенерации, переключения адсорбера в режим ожидания. На рис. 8–10 в качестве примера приведены фрагменты визуализации программ.

Рис. 5. Пример модуля для индикации, регистрации, блокировки и сигнализации регулирования

Рис. 6. Пример модуля для управления оборудованием

Рис. 7. Модуль управления регулирующим клапаном

Рис. 8. Программная реализация начала процесса регенерации

Рис. 9. Механизм определения последнего адсорбера в работе

Рис. 10. Выбор адсорбера на регенерацию и переключение ожидающего в работу

Мнемосхема установки (рис. 11) выполнена в среде HMIWeb Display Builder.

Рис. 11. Мнемосхема установки осушки воздуха

Для включения разработанной системы в реальный технологический процесс необходимо назначить модулям программы соответствующие адреса модуля «ввода – вывода» контроллера. Физическую модель установки осушки воздуха УОВ-1 в уменьшенном масштабе, в которой не обращаются химически опасные и вредные вещества, можно рекомендовать для применения в лабораторных практикумах учебных дисциплин студентов бакалавриата и магистратуры, изучающих принципы построения, программно-технические средства и комплексы автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Список литературы

1. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1976. – 512 с.
2. Сендеров Э.Э., Хитаров Н.И. Цеолиты. Их синтез и условия образования в природе. – М.: Наука, 1970. – 283 с.
3. Адсорбция и десорбция паров воды различными цеолитами / В.Г. Колобродов [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. – 2002. – № 1. – С. 50–55.
4. Серпионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров. – М.: Высшая школа, 1969. – 416 с.
5. Горбатов В.А., Кафаров В.В., Павлов П.Г. Логическое управление технологическими процессами. – М.: Энергия, 1978. – 272 с.
6. Торопцов В.С. Управление химико-технологическими процессами с использованием логических операций / НИИ Технико-экономических исследований. – М., 1985. – 49 с.

7. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход: пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 432 с.
8. Зыков А.А. Теория конечных графов. – Новосибирск, 1969. – 554 с.
9. Сю Д., Мейер А. Современная теория автоматического управления и ее применение: пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1972. – 544 с.
10. Распределенная система управления нового поколения Experion PKS фирмы Honeywell / С.В Подъяпольский, А.В. Родионов, Л.Р. Соркин // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2005. – № 9. – С. 5–12.

References

1. Keltsev N.V. Osnovy adsorbtsionnoj tekhniki [Fundamentals of Adsorption Technology]. Moscow: Khimiya, 1976. 512 p.
2. Senderov E.E., Khitarov N.I. Tseolity. Ikh sintez i usloviya obrazovaniya v prirode [Zeolites. Their synthesis and education conditions in nature]. Moscow: Nauka, 1970. 283 p.
3. Kolobrodov V.G. [et al.]. Adsorbtsiya i desorbtsiya parov vody razlichnymi tseolitami [Adsorption and desorption of water vapor various zeolites]. Voprosy atomnoj nauki i tekhniki, 2002, no. 1, pp. 50–55.
4. Serpionova E.N. Promyshlennaya adsorbtsiya gazov i parov [Industrial adsorption of gases and vapors]. Moscow: Vysshaya shkola, 1969. 416 p.
5. Gorbатов V.A., Gafarov V.V., Pavlov P.G. Logicheskoe upravlenie tekhnologicheskimi protsessami [Logic Process Control]. Moscow: Energiya, 1978. 272 p.
6. Toroptsev V.S. Upravlenie khimiko-tekhnologicheskimi protsessami s ispolzovaniem logicheskikh operatsiy [Management of Chemical Process using logical operations]. Moscow, 1985. 49 p.
7. Christofides N. Teoriya grafov. Algoritmicheskij podkhod [Graph theory. Algorithmic Approach]. Moscow, 1978. 432 p.
8. Zykov A.A. Teoriya konechnykh grafov [The theory of finite graphs]. Novosibirsk, 1969. 554 p.
9. Syu D., Mejer A. Sovremennaya teoriya avtomaticheskogo upravleniya i ee primenenie [The modern theory of automatic control and its application]. Moscow: Mashinostroenie, 1972. 544 p.
10. Podyapolskii S.V., Rodionov A.V., Sorkin L.R. Raspredelennaya sistema upravleniya novogo pokoleniya Experion PKS firmy Honeywell [Distribution of the new generation of control system Experion PKS company Honeywell]. 2005, no. 9, pp. 5–12.

Получено 11.05.2016

Об авторах

Кондрашов Сергей Николаевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: Sergej.Kondrashov@pnos.lukoil.com).

Шумихин Александр Георгиевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

Фарберов Яков Леонидович (Пермь, Россия) – магистрант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: atp@pstu.ru).

Берсенева Наталья Ивановна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры автоматизации технологических процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: n.bers@mail.ru).

About the authors

Sergej N. Kondrashov (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: Sergej.Kondrashov@pnos.lukoil.com).

Alexander G. Shumikhin (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru).

Yakov L. Farberov (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: atp@pstu.ru).

Nataliya I. Berseneva (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student of the Department of Automation of Technological Processes, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: n.bers@mail.ru).