

Реализация АСУ технических систем газового азотирования повышенной надежности

Implementing ASC technical system for higher reliability gas nitriding

Исследована модель автоматизированных технических систем газового азотирования повышенной надежности на базе сетей Петри. Предложенная реализация АСУ основана на операторных формулах, являющихся эффективной формой задания на программирование логического контроллера.

There was investigated a model of the technical system for higher reliability gas nitriding based on Petry nets. The proposed implementation of automated data systems operator uses formulas that are an effective form of job programming logic controller.

Ключевые слова: автоматизация процесса управления, газовое азотирование аммиаком, производные аммония, сети Петри, системные операторы, надежность.

Keywords: automation of controlling, gas nitriding process, ammonium derivatives, Petry nets, systems operator, reliability.

Решение проблемы автоматизации технических систем газового азотирования повышенной надежности позволяет увеличить их устойчивость, экономическую эффективность производства и снизить опасность токсичных выбросов газообразного аммиака.

Газовое азотирование проводят при температуре около 500 °С. Поток аммиака пропускают над упрочняемыми изделиями в течение 12 ч и более, шахтной печи азотирования. Поскольку аммиак высокотоксичен, его смесь с огнеопасным водородом обычно сжигают [1].

Учитывая существенное снижение экономичности производства из-за периодичности процесса, предложен вариант на основе двух линий (А и Б, рис. 1), обеспечивающий непрерывность. Такая усложненная техническая система обеспечивает непрерывный и более надежный выпуск продукции. При оценке рисков проявления отказов следует отнести к ним не только возможности возникновения технических неисправностей (нарушение герметичности системы с выбросом, отключение электроэнергии), но и остановку основной стадии по технологическому регламенту после завершения создания заданного упрочняющего нитридного слоя на поверхности обрабатываемых изделий. По оценочным

данным на одной технологической линии газового азотирования (ТХ1) вероятность риска остановки основной стадии азотирования по технологическому регламенту при времени ее реализации 12 ч составляет 0,5. Вероятности риска аварийного выброса аммиака при нарушении герметичности на данной стадии составляют не менее $6 \cdot 10^{-4}$, отключения электричества — $3 \cdot 10^{-3}$ [2–4]. В технической системе, включающей две попеременно работающие новки основной стадии.

Дополнительно, вместо сжигания отходящей из шахтной печи смеси аммиака и водорода, предложена система улавливания токсичного аммиака в скрубберах водой или водными растворами кислот. Это позволяет наряду с обеспечением безопасности производства получать экономически выгодную продукцию — водные растворы аммиака или водные растворы производных аммония [1]. Кроме того, разработан способ минимизации опасности аварийных выбросов токсичного аммиака за счет использования противопожарных спринклерных систем [5].

В системе автоматического управления повышенной надежности резервированы основные элементы и обеспечено автономное энергоснабжение [6–8], что повышает надежность всей технической системы.

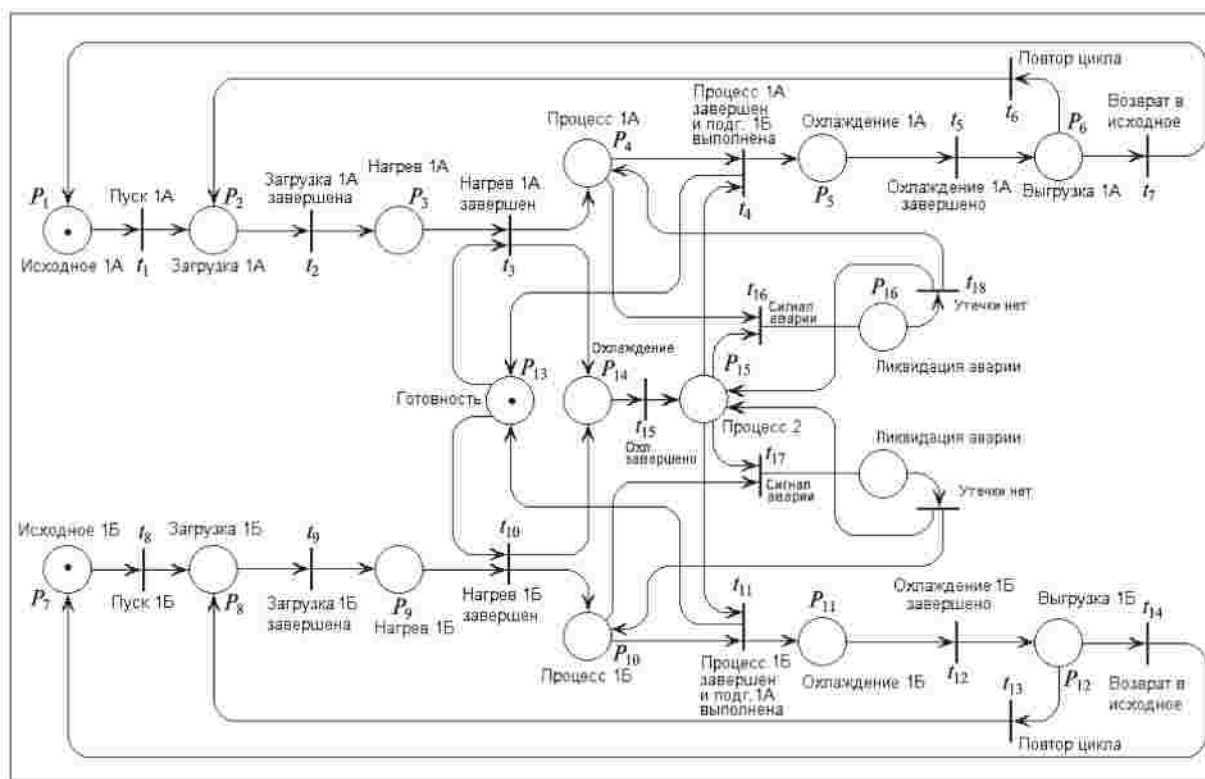


Рис. 1. Граф операций, моделирующий процессы технической системы из двух технологических линий газового азотирования

Автоматизированная технологическая система из двух технологических линий газового азотирования представлена графом операций, в основе которого лежит сеть Петри (см. рис. 1).

Позиции моделируют операции технологического процесса, а переходы — условия смены операций. Маркировка (точка в позиции) означает, что соот- операций в технологическом процессе.

Переходы графа операций сопоставляются с операторными формулами, определяющими условия смены операций. Операторные формулы для переходов представляют собой сигналы датчиков и команд с пульта управления. Обозначения сигналов и команд соответствуют обозначению переходов, т.е. переходу t_1 соответствует сигнал с пульта управления оператора x_1 — начало загрузки печи А, переходу t_2 — сигнал о завершении загрузки печи А x_2 и т.д. Исключение составляют переходы t_4 и t_{11} , у которых операторные формулы представляются конъюнкциями x_4x_{10} и $x_{11}x_3$ соответственно.

В двух линиях (шахтных печах) А и Б процесс газового азотирования (процесс 1) осуществляется поочередно (по 12 ч) следующим образом:

- выполняется подготовка одной из печей, например 1А (загрузка деталей и нагрев печи до 500 °С);
- идет процесс 1 (процесс 1А);
- пока идет процесс 1А подготавливается другая печь 1Б (загрузка деталей и нагрев печи до 500 °С);
- идет процесс 1Б;

постоянном режиме протекает процесс 2 — получение производных аммония за счет пропускания газового потока через скруббер-1 и переключения газового потока в скруббер-2 после достижения заданной концентрации в скруббере-1.

Процесс запускается по команде «Пуск» с пульта управления оператора, что приводит к срабатыванию перехода t_1 или t_8 в зависимости от того, какая печь газового азотирования начинает работать первой.

Моменты завершения вспомогательных операций загрузки изделий в печь, нагрева, охлаждения и разгрузки определяются по сигналам соответствующих датчиков. Они приписываются переходам сети (см. рис. 1) и являются дополнительными условиями их срабатывания. Когда процесс газового азоти-

рования в одной печи (процесс 1А) завершен, то сразу же начинается процесс в подготовленной к этому моменту другой печи (процесс 1Б). По окончании выгрузки изделий и охлаждения могут сработать переходы, приводящие к повтору цикла (t_6 или t_{13}) или возврату в исходное состояние (t_7 или t_{14}). Какие именно переходы срабатывают, зависит от команды с пульта управления оператора.

Таким образом, достигается непрерывность газового потока, поочередно отходящего то из одной, то из другой печи газового азотирования и необходимого (после охлаждения до 40 °С) для параллельно протекающего процесса поглощения водой токсичного аммиака из отходящей смеси газов (процесс 2, позиция P_{15}).

В системе предусмотрена аварийная ликвидация выброса аммиака из-за нарушения герметичности печи газового азотирования (позиции P_{16} , P_{17}) при появлении сигнала аварии (переходы t_{16} , t_{17}). При этом процессы 1А, 1Б и процесс 2 останавливаются и возобновляются после устранения аварии.

Для программной реализации системы логического управления граф операций полностью представляется в аналитическом виде, а именно в виде операторных формул. Позиции графа рассматриваются как временные логические переменные, которые могут принимать единичные и нулевые значения. Операторные формулы составляются для всех позиций графа операций P_i и всех команд Z_j , с помощью которых включаются операции.

Операторные формулы для позиций графа представляют собой операторы памяти $P_i = T(S_i; R_i)$, где S_i — сигнал включения i -й операции; R_i — сигнал выключения i -й операции:

$$\begin{aligned} P_3 &= T(P_2 \cdot x_2; P_4 \cdot P_{14}); \\ P_4 &= T(P_3 \cdot P_{13} \cdot x_3; P_5); \\ P_5 &= T(P_4 \cdot P_{15} \cdot x_4 \cdot x_{10}; P_6); \\ P_6 &= T(P_5 \cdot x_5; P_2 \vee P_1); \\ P_7 &= T(P_{12} \cdot x_{14}; P_8); \\ P_8 &= T(P_7 \cdot x_8 \vee P_{12} \cdot x_{13}; P_9); \\ P_9 &= T(P_8 \cdot x_9; P_{14} \cdot P_{10}); \\ P_{10} &= T(P_9 \cdot P_{13} \cdot x_{10}; P_{17} \vee P_{11}); \\ P_{11} &= T(P_{10} \cdot P_{15} \cdot x_{11}; P_{12}); \\ P_{12} &= T(P_{11} \cdot x_{12}; P_8 \vee P_7); \\ P_{13} &= T(P_4 \cdot P_{13} \cdot x_4; P_4 \cdot P_{14} \vee P_{10} \cdot P_{14}); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{14} &= T(P_3 \cdot P_{13} \cdot x_3 \vee P_9 \cdot P_{13} \cdot x_{10}; P_{15}); \\ P_{15} &= T(P_{14} \cdot x_{15} \vee P_{16} \cdot x_{18} \vee P_{17} \cdot x_{19}; P_{16} \vee P_{17}); \\ P_{16} &= T(P_4 \cdot P_{15} \cdot x_{16}; P_{15} \cdot P_4); \\ P_{17} &= T(P_{10} \cdot P_{15} \cdot x_{17}; P_{15} \cdot P_{10}). \end{aligned}$$

Для команд включения Z_j операторные формулы также представляют собой операторы памяти $Z_j = T(H_j; G_j)$, где H_j и G_j — дизъюнкции временных логических переменных тех позиций, в которых Z_j меняет соответственно нулевое значение на единичное и единичное на нулевое.

Позиции P_1 , P_7 , P_{13} — так называемые «пустые» операции; они используются для удобства описания и не подразумевают никаких операций технологического процесса. Поэтому выражения для Z_j составляются без их учета:

$$\begin{aligned} Z_2 &= T(P_2; P_3); \\ Z_3 &= T(P_3; P_4 \vee P_{14}); \\ Z_4 &= T(P_4; P_5); \\ Z_5 &= T(P_5; P_6); \\ Z_6 &= T(P_6; P_1 \vee P_2); \\ Z_8 &= T(P_8; P_9); \\ Z_9 &= T(P_9; P_{10} \vee P_{14}); \\ Z_{10} &= T(P_{10}; P_{11}); \\ Z_{11} &= T(P_{11}; P_{12}); \\ Z_{12} &= T(P_{12}; P_7 \vee P_8); \\ Z_{14} &= T(P_{14}; P_{15}); \\ Z_{15} &= T(P_{15}; P_{16} \vee P_{17}); \end{aligned}$$

Операторные формулы реализуются с помощью RS-триггеров.

Полученные операторные формулы являются эффективной формой задания на программирование контроллера. Использование операторных формул позволяет формализовать процесс написания программы, что приводит к существенному сокращению количества ошибок. В случае возникновения аварийных ситуаций возникает необходимость остановки процесса. Для отражения прерываний процесса операторные формулы корректируются с учетом сигналов с пульта управления оператора.

Соответствующая операторным формулам программа может быть реализована на любом современном программируемом контроллере, в частности S7-200 фирмы Siemens [9].

Библиографический список

1. Сергеев В.Н., Буксейханов Н.Р., Никишечкин А.П., Чмырь И.М., Воробьев П.Б. Ресурсосберегающие интегрированные технические системы на основе процесса газового азотирования // Экология и промышленность России (ЭКиП). 2011. № 12. С. 8–9.
2. Алымов В.Т., Тарасов Н.П. Техногенный риск: анализ и оценка: учебное пособие для вузов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 118 с.
3. Беляев Б.М. Безопасность систем с техникой повышенного риска // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. 1997. Вып. 4. С. 23–36.
4. Острейковский В.А. Теория надежности: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
5. Пат. 131629 Российская Федерация, МПК А62С2/06 (2006.01) Устройство для обезвреживания аварийных выбросов высокотоксичного аммиака / Буксейханов Н.Р., Джумагалиева Е.М., Чмырь И.М., Никишечкин А.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ

ВПО МГТУ «СТАНКИН». – № 2013103396; заявл. 25.01.13, опубл. 27.08.13, Бюл. № 24. – 2 с.

6. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Принципы построения распределенной системы ЧПУ технологическими машинами с использованием открытой модульной архитектуры // Справочник. Инженерный журнал с приложением. 2011. № 12. С. 44–49.

7. Григорьев С.Н. Научно-технические проблемы построения современных технологических систем с числовым программным управлением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 19–26.

8. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А., Козак Н.В., Пушков Р.Л. Прикладные решения в области управления электроавтоматикой станков с ЧПУ класса PCNC // Промышленные АСУ и контроллеры. 2011. № 4. С. 48–53.

9. Никишечкин А.П. Реализация схем электроавтоматики на базе программируемых логических контроллеров S7-200 Siemens: учебное пособие. – М.: МИИТ, 2012. – 164 с.

Данкевич Евгений Александрович — инженер ОАО «Мосэлектронпроект».
Тел.: 8(985) 268-94-05. E-mail: dankevich_ea@mosep.ru

Dankevich Evgeny Alexandrovich — Engineer of «Moselektronproekt».
Tel.: +7(985) 268-94-05. E-mail: dankevich_ea@mosep.ru