

УДК 681.5

АДАПТИВНЫЙ РЕГУЛЯТОР ДЛЯ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА СВЕРХТВЕРДЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Г. Александров

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: alex7@ipu.ru

М.В. Паленов

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: max_elek@mail.ru

И.Г. Резков

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН
Россия, 117997, Москва, Профсоюзная ул., 65
E-mail: fagoth@mail.ru

1. Введение

Синтез сверхтвердых материалов осуществляется из различных веществ (уголь, оксид алюминия, чечевица и т.д.) при высоком давлении и температуре. Обрабатываемый материал, подвергаемый сжатию и нагреву, называется образцом. При синтезе первоначально нагнетается давление и держится постоянным в ходе всего процесса. После того как давление установилось на одном уровне, начинается процесс нагрева, который происходит согласно заданной циклограмме. Как правило, циклограммой задается плавный нагрев до определенной температуры, затем удержание заданной температуры в течении некоторого времени, и после этого отключение нагрева.

Описанный процесс синтеза сверхтвердых материалов реализован на прессе ДО138Б [4], в котором с помощью гидравлического пресса создается давление 6300кПа. Схема нагрева образца приведена на рис. 1. Нагрев осуществляется с помощью тиристорного преобразователя (ТП), который питается от трехфазной сети 380 В, путем подачи управляющего напряжения $u_c(t)$. Датчик Холла с измерительным преобразователем ДХ1 выдает напряжение $U_I(t)$. Для измерения напряжения используется шунтирующее сопротивление $R_{ш}$, позволяющее получить ток $i_u(t)$ пропорциональный напряжению в цепи образца $u(t)$. Датчик Холла с измерительным преобразователем ДХ2 выдает напряжение $U(t)$, пропорциональное действующему значению напряжения в цепи нагрева образца и так же осуществляет гальваническую развязку. Пройдя оцифровку и калибровку в электронно-вычислительной машине (ЭВМ) формируются информационные сигналы $I(kh)$ и $U(kh)$, соответствующие действующему значению тока и напряжения в цепи нагрева образца и выбранные с интервалом дискретности h . Текущая активная мощность на образце $P(kh)$ вычисляется программно, перемножением текущего действующего значения тока $I(kh)$ и текущего действующего значения напряжения $U(kh)$. Сигнал $P^*(kh)$ – задает требуемое значение активной мощности, которое необходимо поддерживать на образце и изменяется согласно заданной цикло-

грамме. Регулятор обеспечивает изменение мощности согласно заданной циклограмме. В прессе используется ПИД-регулятор.

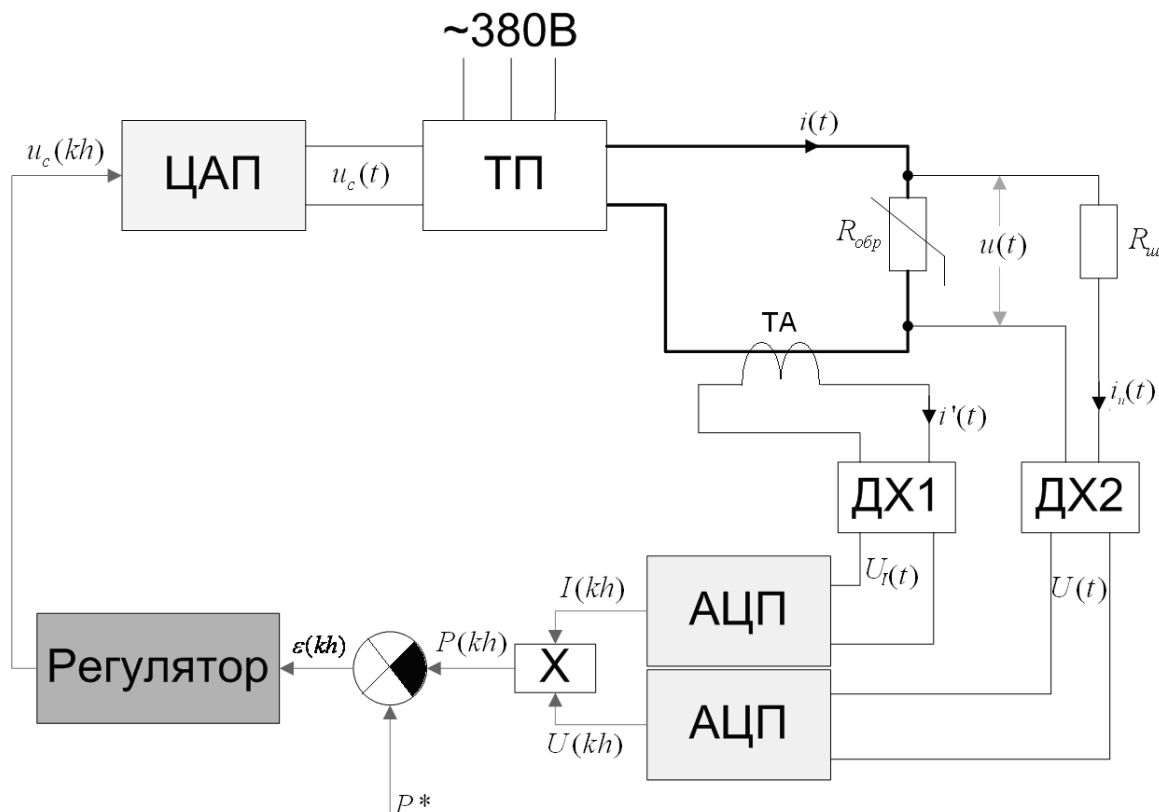


Рис. 1. Схема нагрева образца.

Процесс регулирования осложняется тем, что для образцов из различных материалов изменяются динамические характеристики процесса нагрева. В результате чего требуется настройка параметров регулятора под каждый тип образцов, для того, чтобы обеспечить требуемое качество отработки циклограммы.

2. Постановка задачи

Задача обеспечить настройку параметров ПИД-регулятора под каждый тип образца так, чтобы выполнялись требования на ошибку регулирования

$$(1) \quad \varepsilon(kh) \leq \varepsilon^*.$$

3. Решение задачи

3.1. Модель процесса нагрева образца

После анализа и обработки экспериментальных данных, полученных с прессы, было установлено то, что процесс нагрева образца можно описать моделью первого порядка с запаздыванием следующего вида:

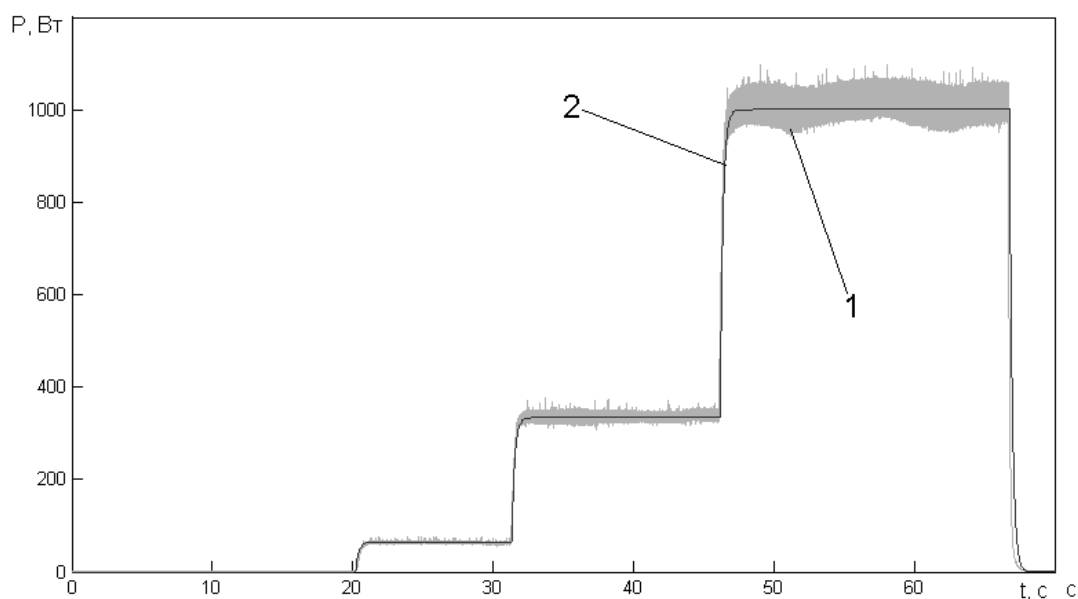
$$(2) \quad T\dot{P}(t) + P(t) = k_p(u_c) \cdot u_c(t - \tau),$$

где $k_p(u_c)$ – коэффициент усиления, зависящий от величины управляющего напряжения $u_c(t)$, T – постоянная времени процесса нагрева, τ – запаздывание по каналу управления.

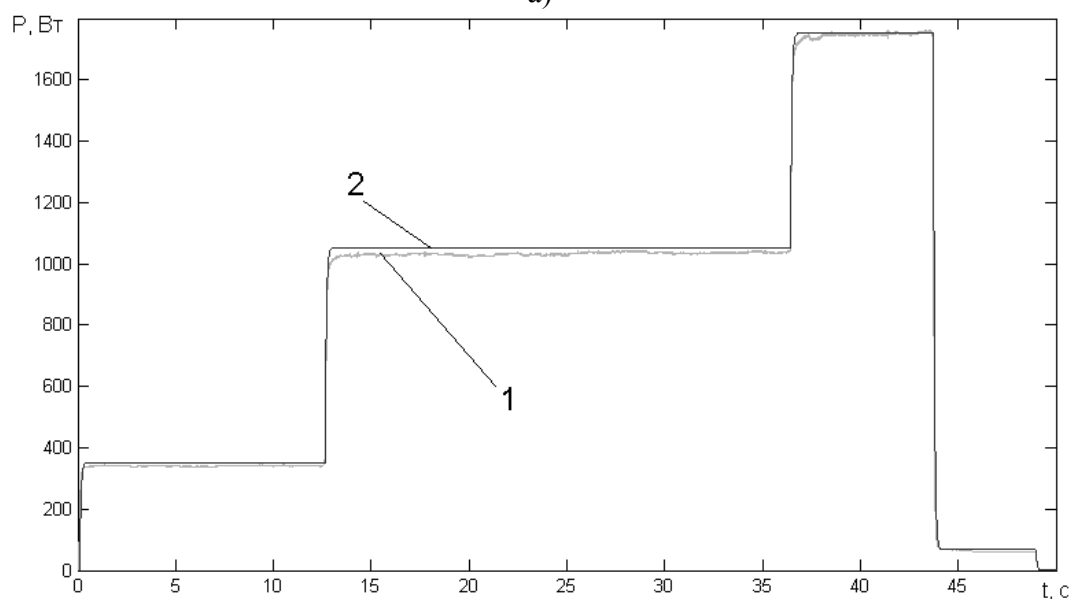
Зависимость $k_p(u_c)$ коэффициента усиления от управляющего напряжения практически не изменяется в зависимости от типа образца и имеет следующий вид:

$$(3) \quad k_p(u_c) = 254.8 \cdot u_c(t)^2 + 29.6 \cdot u_c(t) + 49.3 .$$

Величина постоянной времени T и запаздывания τ изменяется в зависимости от типа образца. На рис. 2 представлены экспериментальные данные (график 1) с наложенным поверх графиком выхода составленной модели (график 2). Видно, что выход модели практически полностью совпадает с реальными данными с пресса.



а)



б)

Рис. 2. Сравнение графика выхода модели и реальных данных с пресса: а) $T=0.2$ сек, $\tau=0.12$ сек, б) $T=0.06$ сек, $\tau=0.05$ сек.

3.2. Адаптивное управление

Для построения адаптивного регулятора был использован динамический алгоритм конечно-частотной идентификации [1], для того, чтобы оценивать параметры модели процесса нагрева. Так как зависимость $k_p(u_c)$ коэффициента усиления от управляющего напряжения постоянна для различных типов образцов и известна, то это значительно облегчает задачу идентификации. Так как умножив управляющее напряжение $u_c(t)$ на коэффициент $k_p(u_c)$ получим сигнал $\bar{u}_c(t)$, который линейно связан с выходом модели $P(t)$. Таким образом, для обработки динамическим алгоритмом конечно-частотной идентификации будут использоваться данные $\bar{u}_c(t)$ и $P(t)$. Результатом идентификации будет постоянная времени T и запаздывание τ .

Для построения ПИД-регулятора можно использовать метод внутренней модели [2, 3]. Однако метод синтеза ПИД-регулятора использует линейную модель объекта управления, поэтому модель перед синтезом необходимо линеаризовывать относительно рабочей точки (номинальной мощности по циклограмме). Для этого была получена обратная зависимость между активной мощностью на образце и коэффициентом усиления:

$$(4) \quad k_p(P) = -8.09 \cdot 10^{-5} P(t)^2 + 0.645 \cdot P(t) + 103.5.$$

Таким образом перед синтезом регулятора коэффициент усиления модели вычисляется по формуле (4), где $P(t)$ – плоский участок циклограммы. После чего параметры k_p , T и τ используются для синтеза ПИД-регулятора.

4. Экспериментальные исследования

На основе предложенного алгоритма был разработан адаптивный ПИД-регулятор, который прошел испытания на прессе. Процесс адаптации выполнялся в два этапа. На первом этапе были получены данные с пресса: подавались различные значения управляющего напряжения, в результате чего мощность устанавливалась на различных уровнях. По этим данным была вычислена постоянная времени $T = 0.2$ сек и запаздывание $\tau = 0.12$ сек. Сравнение графика реальных данных (график 1) и графика полученной модели (график 2) приведено на рис. 3.

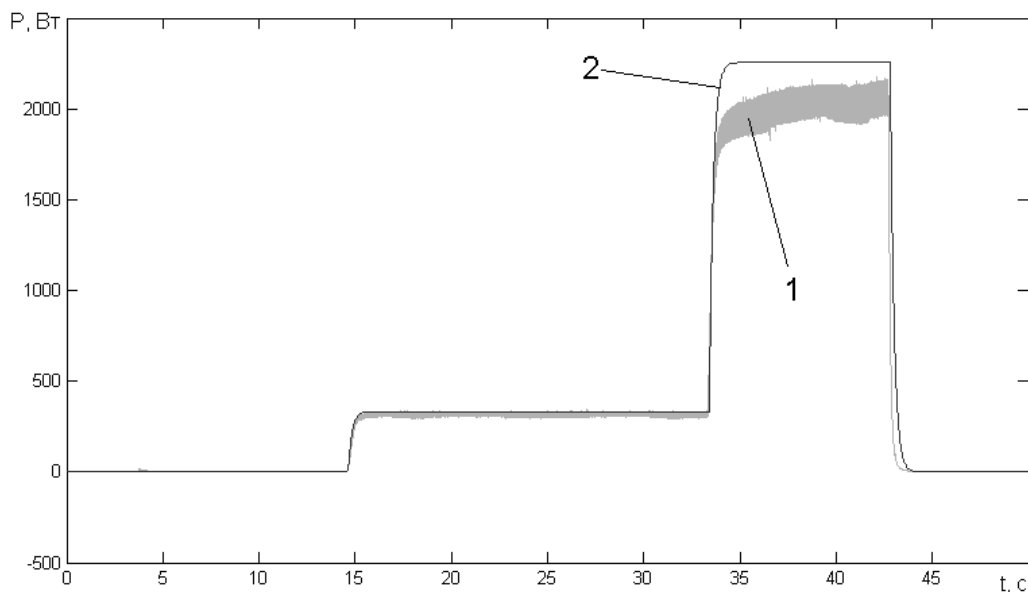


Рис. 3. Данные с прессы и выход модели.

Для проведения процесса синтеза сверхтвердого материала была задана циклограмма, приведенная на рис. 4. Из этой циклограммы было получено номинальное значение мощности $P = 1500$ Вт. Следовательно, была выполнена линеаризация модели нагревателя по формуле (4) для $P = 1500$ Вт, откуда было получено $k_p = 888.98$.

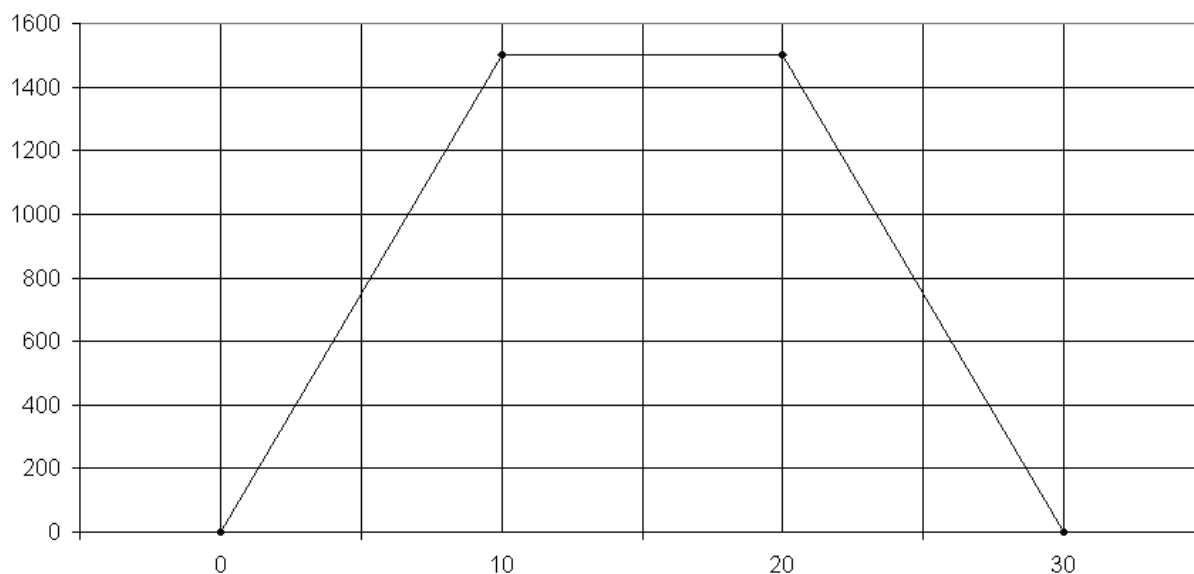


Рис. 4. Циклограмма процесса синтеза.

Синтез ПИД-регулятора был выполнен по методу внутренней модели при $k_p = 888.98$, $T = 0.2$ сек и $\tau = 0.12$ сек. Результаты работы системы с рассчитанным регулятором приведены на рис. 5.

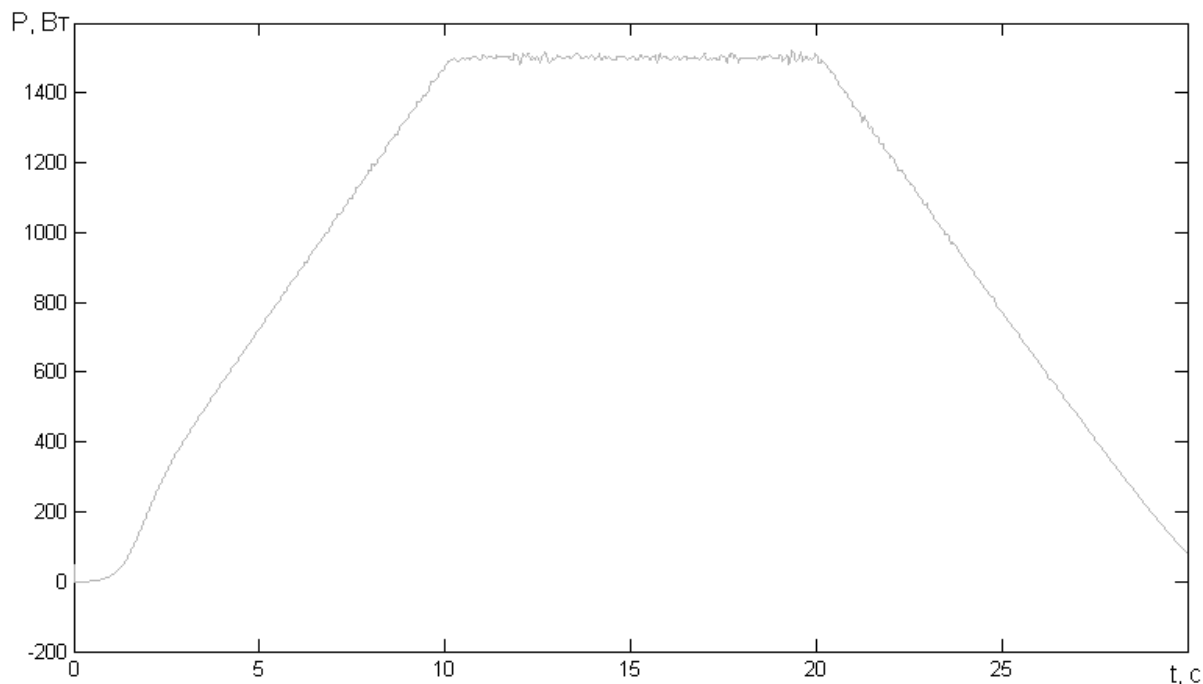


Рис. 5. Мощность на образце при регулировании по циклограмме.

Из рис. 5 видно, что реальная мощность повторяет заданную циклограмму, а разброс регулируемой величины не превышает 1.3%.

Список литературы

1. Александров А.Г., Орлов Ю.Ф. Конечно-частотная идентификация: динамический алгоритм // Проблемы управления. 2009. № 4. С. 2-8.
2. Rivera D.E., M. Morari, Skogestad S. Internal model control. 4. PID controller design // Ind. Eng. Chem. Proc. Des. Dev. 1986. Vol. 25, No. 1. P. 252-265.
3. Astrom K. J., Hagglund T. Advanced PID Control. ISA – The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006. 461 p.
4. Описание прессы ДО138Б // URL: http://wmmt.net/rus/catalog/factory/tkpo/2008/03/15/do138b_press_gidrav1_1978.html.