

УДК 62-523.6

DOI: 10.30987/article_5bd17feaa04a27.26706131

А.А. Хижняков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ АВТОКЛАВА В ПАССИВНОМ РЕЖИМЕ

Рассматривается процесс определения параметров многомерной передаточной функции, описывающей поведение автоклава, по результатам обработки данных о выводе автоклава на режим. Для обработки используется функция многомерной оптимизации `lsqnonlin`, которая по критерию наи-

меньших квадратов определяет параметры, наиболее близко описывающие исходные данные.

Ключевые слова: автоклав, передаточная функция, матрица, связанное управление, многомерный объект, корректирующие звенья.

А.А. Khizhnyakov

MODEL PARAMETER DEFINITION OF AUTOCLAVE IN PASSIVE MODE

At present closed systems of automatic control are widely used. The complexity of development and operation of similar systems in relation to the management of the autoclave of hydro-thermal synthesis consists in the necessity of connected management realization. Similar problem is solved at the expense of taking into account mutual connections impact between separate areas of a multidimensional object control. The solution effectiveness of the connected management problem depends considerably upon a model choice describing an object behavior and the accuracy in the definition of its parameters. The paper reports the consideration of the parameter definition process of the autoclave multidimensional transfer function according to the results of data processing about its output in a growth mode.

The results are obtained with the aid of an empirical investigation with the use of the mathematical apparatus: by a matrix method of basic data recording

Введение

В настоящее время существует потребность предприятий в определении оптимальных настроек систем управления установок (автоклавов) разных типов и объемов для их разогрева и поддержания постоянной требуемой температуры на всём протяжении работы, так как от этого напрямую зависит качество производимого продукта [1]. Контролируемая и точная температура внутри автоклава - это один из основных показателей работы установки. Сейчас в основном применяются регуляторы, которые не обеспечивают оперативную подстройку системы под изменяющуюся внешнюю температуру или снижение температуры вследствие открывания шиберов. Для обеспечения качества

and processing, transfer functions, optimization methods (by the least square criterion) and also by physical modeling.

The data of power and temperatures in autoclave heating areas are transferred in the Matlab working area for processing. Transfer function parameters are defined with the aid of the `lsqnonlin` multidimensional optimization function which defines parameters describing basic data most exactly according to the criterion of the least squares. The advantage of the approach considered is a possibility to determine parameters in a passive mode without active impacts upon an autoclave. It allows carrying out the optimization of management processes directly in the mode of the autoclave operation.

Key words: autoclave, transfer function, matrix, connected management, multidimensional object, corrective links

регулирования, снижения процента брака и затрат на подводимую электроэнергию необходимо определение оптимальных настроек регуляторов. Это может быть сделано на основании модели автоклава, в которой реализуется алгоритм подстройки.

Сегодня широко используют замкнутые системы автоматического регулирования. Сложность разработки и эксплуатации подобных систем применительно к управлению автоклавом гидротермального синтеза заключается в необходимости реализации связанного управления. Подобная задача решается за счет учета влияния взаимных связей между отдельными зонами многомерного объекта управления [2-5]. Эффективность решения задачи связанного

управления во многом зависит от выбора модели, описывающей поведение объекта управления. Как правило, в основе описания лежит динамическая модель процесса [6; 7]. Применительно к управлению автоклавом может быть предложена матричная модель, рассмотренная в [8], примененная в [9] для синтеза корректирующих звеньев.

Рассмотренная в [9] система с корректирующими звеньями показала хороший результат. Но для расчета параметров **Постановка модельного эксперимента**

Для формирования набора данных корректирующие звенья отключаются, управление ведется с сепаратных (раздельных) ПИД-регуляторов. ПИД-регуляторы предварительно уже настроены (подобраны коэффициенты) с помощью встроенной функции Tune. При этом фиксируются значения мощностей и температур. Заданные значения параметров моде-

корректирующих звеньев необходимо знание параметров объекта управления.

Важным обстоятельством является возможность определения параметров в пассивном режиме без активных воздействий на автоклав. Это позволит производить оптимизацию процессов управления непосредственно в режиме эксплуатации автоклава, по результатам обработки данных о выводе автоклава на режим.

ли автоклава указаны в табл. 1 (подробное описание модели приведено в статье [9]).

Для имитации процесса вывода автоклава на режим воспользуемся Simulink-моделью четырехканальной замкнутой САР, структура которой изображена на рис. 1. Параметры объекта управления W соответствуют данным табл. 1. Симуляция процесса ведется на интервале времени 10000 с.

Таблица 1

Заданные значения параметров модели автоклава

Передат. функ. для темп. в зоне нагр.	Коэф. передачи K	Постоян. врем. τ	Передат. функ. для связи между зон. нагр.	Коэф. передачи K	Постоян. врем. τ
L1	10	1000	D12	0.7	20000
L2	10	1000	D23	0.5	20000
L3	10	1000	D34	0.8	20000
L4	10	1000	-	-	-

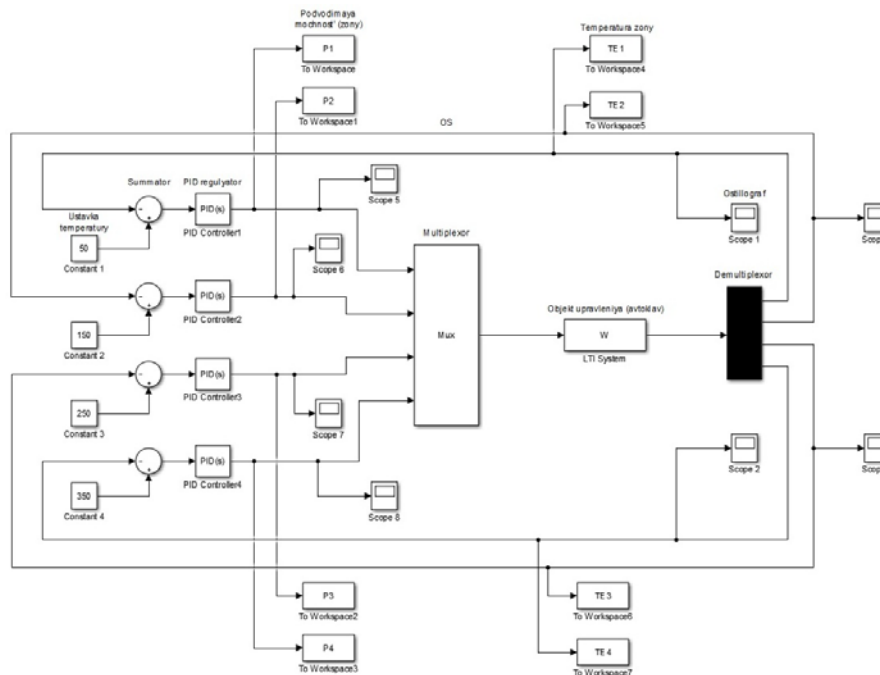


Рис. 1. Модель четырехканальной замкнутой САР с блоками экспорта To Workspace

Данные о мощностях и температурах в зонах нагрева автоклава экспортируются в рабочее пространство MatLab с помощью

блоков To Workspace. Блок To Workspace записывает данные, поступающие на его вход, в рабочую область MatLab [10].

Обработка полученных данных

Экспортированные данные представляют собой структуру с вектором времени. Данный формат выбран, поскольку только он позволяет экспортировать значения как сигналов, так и модельного времени (в ре-

альном времени данные времени могут быть взяты из SCADA-системы). Для извлечения информации используются внутренние поля этой структуры `time` и `signals` (рис. 2).

```
global t P TE
t=P1.time
P=[P1.signals.values P2.signals.values P3.signals.values
  P4.signals.values]
TE=[TE1.signals.values TE2.signals.values TE3.signals.values
  TE4.signals.values]
```

Рис. 2. Подготовка и преобразование исходных данных

В вектор t помещается временная составляющая структуры P_1 . Вектор времени может быть извлечен из любой структуры, так как они сформированы в рамках одно-

го модельного эксперимента. Матрица мощностей \mathbf{P} формируется из значений сигналов P_1 , P_2 , P_3 и P_4 . График изменения мощностей изображен на рис. 3.

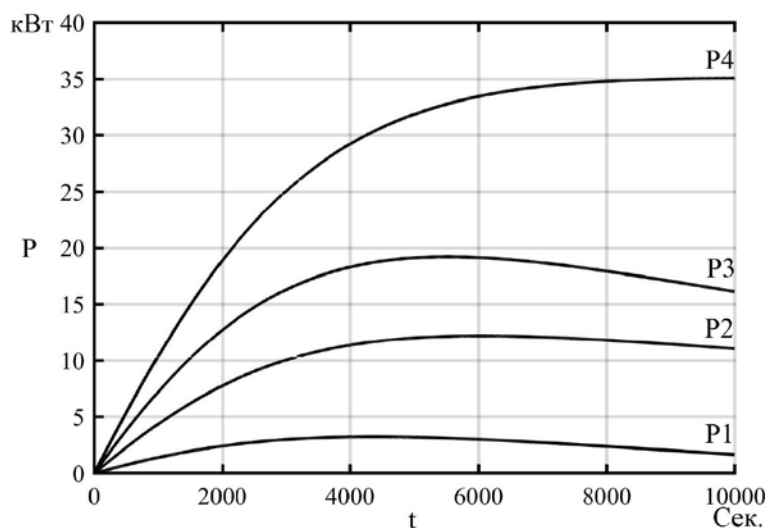


Рис. 3. График изменения мощностей

Матрица TE формируется аналогично. График изменения температур изображен на рис. 4. В реальных условиях данные могут быть получены из SCADA-

системы. Сформированные данные являются глобальными в рабочем пространстве MatLab и используются в функции, вычисляющей невязку (рис. 5).

Определение параметров многомерной передаточной функции

Функция вычисления невязки `Avtklfun` реализует модель автоклава с че-

тырьмя связанными зонами в форме передаточных функций $L1...L4$, $D12...D34$

(подробное описание модели приведено в статье [9]). На основе полученной модели производится симуляция с использованием ранее полученного массива мощностей и вектора времени. В результате вычисляет-

ся массив модельных температур. В конце работы функции вычисляется разность (невязка) между экспериментальными и модельными данными по температуре.

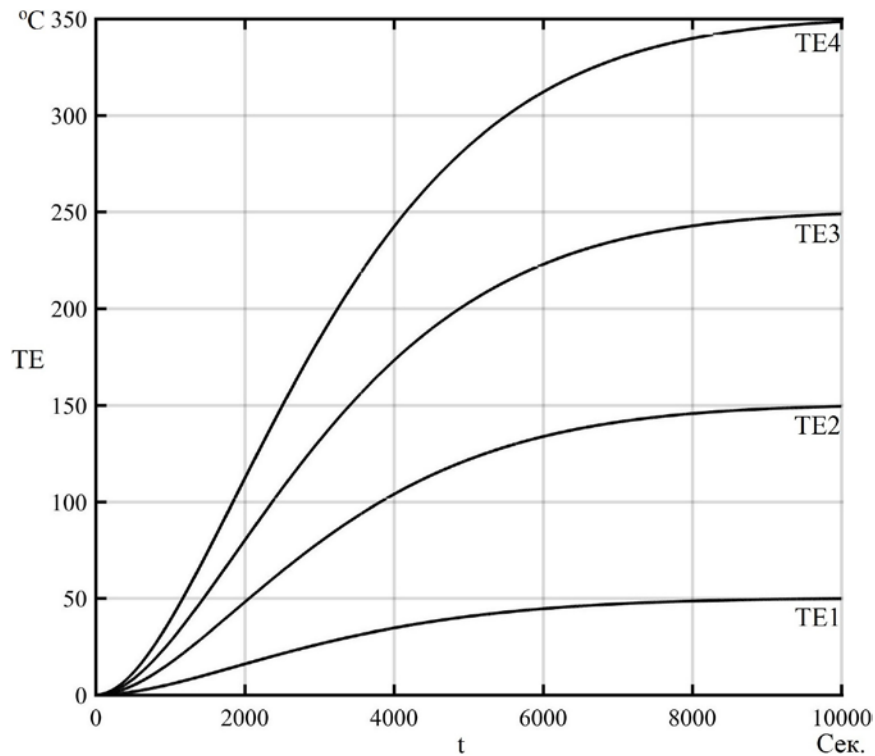


Рис. 4. График изменения температур

```
function E=Avtklfun(x)
global t P TE;
s=tf('s');
L1=x(1)/(x(2)*s+1);
L2=x(3)/(x(4)*s+1);
L3=x(5)/(x(6)*s+1);
L4=x(7)/(x(8)*s+1);
L=[L1 0 0 0; 0 L2 0 0; 0 0 L3 0; 0 0 0 L4];
D12=x(9)/(x(10)*s+1);
D23=x(11)/(x(12)*s+1);
D34=x(13)/(x(14)*s+1);
D=[0 D12 0 0
    0 0 D23 0
    0 0 0 D34
    0 0 0 0];
R=D^2+D^3;
F=D+R+diag([1 1 1 1]);
W=F*L;
T=lsim(W, P, t);
E=T-TE;
```

Рис. 5. Функция вычисления невязки Avtklfun

Функция `Avtklfun` многократно вызывается функцией оптимизации `lsqnonlin`, в качестве параметров которой также задаются массив начальных значений коэффициентов моделей и допустимые границы изменения этих коэффициентов.

`lsqnonlin` - функция многомерной оптимизации методом наименьших квадратов. В основу функции `lsqnonlin` положены принципы градиентного метода. Помимо организации градиентного спуска

функция реализует вычисление критерия наименьших квадратов и, как правило, дает наименьшее число итераций при минимизации [11].

Для нашей модели передаются начальные значения коэффициента передачи и постоянных времени передаточных функций модели. Начальные значения параметров модели автоклава (табл. 2) заданы произвольно и значительно отличаются от указанных в табл. 1.

Таблица 2

Начальные значения параметров модели автоклава

Передат. функ. для темп. в зоне нагр.	Коэф. передачи K	Постоян. врем. τ	Передат. функ. для связи между зон. нагр.	Коэф. передачи K	Постоян. врем. τ
L1	1	500	D12	0.1	10000
L2	1	500	D23	0.1	10000
L3	1	500	D34	0.1	10000
L4	1	500	-	-	-

Функция `lsqnonlin` допускает определение дополнительных параметров для управления вычислительным процессом и контроля над ним. Параметры задаются в управляющей структуре `options`. Перед вызовом вычислительных функций нужно

предварительно сформировать переменную `options`, воспользовавшись функцией `optimset` (подробное описание настройки и вызова функции приведено в [11]). Настройка и вызов функции оптимизации показаны на рис. 6.

```
options=optimset('Display', 'iter');
K=lsqnonlin(@Avtklfun,[1 1000 1 1000 1 1000 1 1000 0.1 1e4 0.1
    1e4 0.1 1e4 ],[0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0],[1e3 1e6
    1e3 1e6 1e3 1e6 1e3 1e6 1e3 1e6 1e3 1e6 1e3 1e6],
options)
```

Рис. 6. Настройка и вызов функции оптимизации

Ход процесса оптимизации показан в табл. 3, где отражено количество итераций, сколько раз вызывалась исследуемая функция, приближение и значение функции минимизации $f(x)$.

Как видно из табл. 3, потребовалось достаточно большое количество итераций с количеством вызовов функции от 15 до 615. В результате величина невязки снизилась с 10^8 до 10^{-12} . В результате работы функции `lsqnonlin` формируется вектор K с коэффициентами модели, составляющие которого показаны в табл. 4.

Данные, приведенные в табл. 4, показывают, что оптимизация прошла успешно, так как значения совпадают с заданными в табл. 1 с небольшой погрешностью, что говорит о точности и эффективности применяемого метода. Таким образом, можно сказать, что возможно определить параметры объекта управления (автоклава), зная только значения входных (мощностей) и выходных (температур) сигналов.

Таблица 3

Процесс оптимизации

Iteration	Func-count	$f(x)$	Norm of step	First-order optimality
0	15	9.60519e+08	-	6.63e+10
1	30	9.60519e+08	10	6.63e+10
2	45	3.33846e+08	2.5	9.96e+10
3	60	1.03051e+08	5	3.74e+10
4	75	2.44196e+07	10	3.49e+09
5	90	7.28786e+06	16.5777	3.32e+09
6	105	1.69555e+06	12.5165	1.06e+09
7	120	521749	17.3753	5.62e+08
8	135	109751	21.1793	1.97e+08
9	150	15301.9	12.0657	6.13e+07
10	165	929.695	6.9595	1.13e+07
...				
30	465	15.9439	3.06909	2.75e+06
31	480	8.11157	0.650997	2.02e+04
32	495	6.05337	0.767273	1.84e+05
33	510	3.32766	1.53455	5.61e+05
34	525	2.0213	0.606166	1.08e+05
35	540	0.805277	1.55315	6.2e+05
36	555	0.261613	0.198426	1.49e+04
37	570	0.0505239	0.854562	2.12e+05
38	585	0.000644864	0.0287472	378
39	600	4.07987e-07	0.0438984	633
40	615	9.20412e-12	8.75443e-05	0.377

Таблица 4

Результат определения параметров

Передат. функ. для темп. в зоне нагр.	Кэф. передачи K	Постоян. врем. τ	Передат. функ. для связи между зон. нагр.	Кэф. передачи K	Постоян. врем. τ
L1	9.999999...	9999.99...	D12	0.6999999...	19999.9...
L2	9.999999...	9999.99...	D23	0.4999999...	19999.9...
L3	9.999999...	9999.99...	D34	0.7999999...	19999.9...
L4	9.999999...	9999.99...		-	

Заклучение

Результаты данного модельного эксперимента показывают, что возможно определить параметры автоклава с высокой точностью с использованием системы MatLab. В перспективе, с учетом существ-

венной инерционности тепловых процессов в автоклаве, это позволит производить оптимизацию процессов управления непосредственно в режиме эксплуатации автоклава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидротермальный синтез нанокристаллов кварца // РЖ 19Б-2. Физическая химия (Кристаллохимия. Химия твердого тела. Газы. Жидкости. Аморфные тела. Поверхностные явления. Химия коллоидов). - 2005. - № 18.
2. Тихонов, А.Ф. Особенности связанного многокомпонентного дозирования / А.Ф. Тихонов, А.В. Либенко, Е.И. Бокарев // Механизация строительства. - 2012. - № 10. - С. 20-23.
3. Илюхин, А.В. Алгоритмы управления связным многокомпонентным дозированием керамических смесей / А.В. Илюхин, А.М. Колбасин, М.Ю. Абдулханова, А.Н. Динь // Автоматизация и управление в технических системах. - 2014. - № 1.2 (9). - С. 149-157.
4. Гайдук, А.Р. Синтез автономных и связанных многомерных систем управления / А.Р. Гайдук, Е.А. Плаксиенко // Мехатроника, автоматизация, управление. - 2012. - № 1. - С. 13-20.
5. Гайдук, А.Р. Синтез систем автоматического управления неустойчивыми многомерными объектами / А.Р. Гайдук, К.В. Колоколова // Научный вестник Новосибирского государствен-

- ного технического университета. - 2017. - № 1 (66). - С. 26-40.
6. Кулеш, Д.Ю. Динамическая модель процесса нагрева воздуха в теплообменных аппаратах центральной системы кондиционирования воздуха / Д.Ю. Кулеш, И.И. Звенигородский, А.Н. Ларионов, А.П. Чабала // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2012. - Т. 8. - № 7-1. - С. 29-32.
 7. Пономаренко, В.П. Динамические режимы в моделях автогенераторных систем с частотным и частотно-фазовым управлением / В.П. Пономаренко // Изв. высш. учеб. заведений. Прикладная нелинейная динамика. - 2007. - Т. 15. - № 3. - С. 33-51.
 1. Hydro-thermal synthesis of quartz nano-crystals // *AJ 19B-2. Physical Chemistry (Crystal-Chemistry, Solid Chemistry, Gases, Liquids, Amorphous Solids. Surface Phenomena. Colloid Chemistry)*. - 2005. - No.18.
 2. Tikhonov, A.F. Peculiarities of connected multi-component batching / A.F. Tikhonov, A.V. Libenko, E.I. Bokarev // *Building Construction Mechanization*. - 2012. - No.10. - pp. 20-23.
 3. Ilyukhin, A.V. Algorithms for connected multi-component batching control of ceramic mixtures / A.V. Ilyukhin, A.M. Kolbasin, M.Yu. Abdulkhanova, A.N. Din // *Automation and Control in Engineering Systems*. 2014. - No.1.2(9). - pp. 149-157.
 4. Gaiduk, A.R. Synthesis of autonomous and connected multidimensional control systems A.R. Gaiduk, E.A. Plaksienko // *Mechatronics, Automation, Management*. - 2012. - No.1. - pp. 13-20.
 5. Gaiduk, A.R. Synthesis of unstable multidimensional object automatic control systems / A.R. Gaiduk, K.V. Kolokolova // *Scientific Bulletin of Novosibirsk State Technical University*. - 2017. - No.1(66). - pp. 26-40.
 6. Kulesh, D.Yu. Dynamic model of air heating process in heat-exchange devices of central system for air conditioning / D.Yu. Kulesh, I.I. Zvenigorodsky, A.N. Larionov, A.P. Chabala // *Bulletin of Voronezh State Technical University*. - 2012. - Vol.8. - No.7-1. - pp. 29-32.
 7. Ponomarenko, V.P. Dynamic modes in models of self-oscillator systems with frequency and frequency-phase control / V.P. Ponomarenko // *College Proceedings. Applied Non-Linear Dynamics*. - 2007. - Vol.15. - No.3. - pp. 33-51.
 8. Lobatsevich, K.L. Unified model of electro-thermal process / K.L. Lobatsevich, A.V. Yudin // *Bulletin of Soloviyov State Aircraft Technological Academy of Rybinsk*. - 2010. - No.1. - pp. 157-162.
 9. Khizhnyakov, A.A. Synthesis of corrective links for connected ACS / A.A. Khizhnyakov, A.V. Yudin // *Bulletin of Soloviyov State Aircraft Technological Academy of Rybinsk*. - 2017. - No.3(42). - pp. 78-83.
 10. Chernykh, I.V. Simulink: Tool of Dynamic System Modeling / I.V. Chernykh. - Piter; DMK Press, 2008. - pp. 400.
 11. Yudin, A.V. *Scientific-Technical Computer Calculations: manual* / A.V. Yudin, S.E. Sedletskaia. - Rybinsk, 2012.

Статья поступила в редакцию 20.06.18.

Рецензент: д.т.н., профессор Рыбинского авиационного технического университета им. П.А. Соловьева
Юдин А.В.

Статья принята к публикации 14.08.18.

Сведения об авторах:

Хижняков Андрей Андреевич, аспирант Рыбинского авиационного технического университета им. П.А. Соловьева, e-mail: Oandrej0@inbox.ru.

Khizhnyakov Andrey Andrevich, Post graduate student, Soloviyov Technical University of Rybinsk, e-mail: Oandrej0@inbox.ru.