

ОЦЕНКА ЧИСТОГО ЗАПАЗДЫВАНИЯ АППАРАТА ВАКУУМНОЙ СЕПАРАЦИИ ГУБЧАТОГО ТИТАНА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Беккер В. Ф.,

к.т.н., профессор кафедры автоматизации технологических процессов
Березниковского филиала Пермского национального исследовательского
политехнического университета,
bekker@bf.pstu.ru

Аннотация. Предложен новый метод оценки чистого запаздывания химико-технологического объекта с ненаблюдаемой внутренней структурой и процессами на примере аппарата вакуумной сепарации губчатого титана. Показана возможность использования модели динамики 1-го порядка с запаздыванием для описания объекта управления 2-го порядка, позволяющая свести задачу моделирования системы автоматического регулирования к линейной.

Ключевые слова: титановая губка, сепарация, моделирование

NET DELAY ESTIMATE IN PROCESS OF TITANIM SPONGE VACUUM SEPARATION APPARATUS AS A CONTROLLED OBJECT

Bekker V.F.

candidate of technical science, prof. on automation department
in Berezniki branch of Perm national polytechnic research university

Abstract. A new method of net delay estimate of chemical-technology object with an unobserved internal structure and processes with an example of titanium sponge vacuum separation apparatus is proposed. An opportunity of 1-st order dynamic model using for 2-nd order object is shown. That allows to reduce a task of automatic control system modeling of such apparatus to the linear task.

Keywords: titanium sponge, separation, modeling.

Основными стадиями в производстве губчатого титана являются мегнийтермическое восстановление титана из тетрахлорида и вакуумная сепарация полученного блока. После восстановления в реакторе остается спекшийся, монолитный блок реакционной массы, состоящий из титановой губки, пропитанной магнием и хлоридом магния. Очистка от них титановой губки является целью вакуумной сепарации [1]. Состав реакционной массы (средний по блоку) примерно следующий, %: 55...60 Ti, 25...35 Mg, 9...12 MgCl₂. Кроме того, там может присутствовать небольшое количество (0,01...0,1%) низших хлоридов титана. Блок прочно спаян со стенками реактора, и его невозможно извлечь без разрушения места спая [2].

Разделение компонентов реакционной массы основано на значительной разнице равновесного давления паров магния, хлорида магния и титана при температурах 960...1020 °С. При создании вакуума точки кипения снижаются, и скорость испарения легкокипящих веществ возрастает во много раз, что приводит к быстрому их отделению от труднокипящего вещества.

К основным элементам аппарата вакуумной сепарации относятся реторта с реакционной массой, печь, конденсатор и теплоизоляционный экран. При расчетах систем, в которых управление ведется только путем изменения мощности электрических нагревателей в электрических печах, математическое описание объекта управления может быть сведено к дифференциальному уравнению первого порядка в

виде уравнения теплового баланса может быть приближенно записано в виде [3]

$$mC \cdot \frac{dT_{cp}}{dt} + \lambda l (T_{cp} - T_{вн}) = Q(t), \quad (1)$$

где m – масса загруженной в печь реторты массой m_1 с блоком губчатого титана внутри массой m_2 , кг;

C – теплоемкость блока губчатого титана, Дж/(кг·К);

T_{cp} – средняя температура блока губчатого титана, К;

λ – теплопроводность системы «блок губчатого титана – внешняя поверхность реторты», температура которой равна $T_{вн}$, Вт/(м·К);

l – длина теплового канала, м;

$T_{вн}$ – температура внешней поверхности реторты, К;

$Q(t)$ – количество тепла, выделяемого нагревателями в печи за единицу времени (регулирующее воздействие), Вт.

Распределенный характер системы «блок губчатого титана – внешняя поверхность реторты» приближенно учитывается введением некоторого запаздывания между средней температурой печи T_{cp} или температурой губчатого титана в некоторой точке печи T , являющейся регулируемой величиной, измеряемой в процессе управления.

$$T(t) = T_{cp}(t - \tau),$$

где τ – некоторое эквивалентное время запаздывания, с.

Для численной оценки величины чистого запаздывания печи сепарации губчатого титана рассмотрим объект управления в виде последовательного соединения двух описываемых уравнением (1) тепловых объектов – реторты и непосредственно самого блока губчатого титана, находящегося внутри реторты. Тогда постоянные времени реторты и блока можно оценить, ориентируясь на постоянную времени загруженной реторты, которая распределяется между ее составляющими (ретортой и блоком губчатого титана) пропорционально их тепловой емкости.

Пример 1. Оценим величину постоянной времени запаздывания реторты восстановления, передаваемой на стадию сепарации. Пусть масса реторты m_1 составляет 350 кг масса блока восстановленного (загрязненного магнием и хлоридом магния) губчатого титана $m_{2н}$ =5000 кг, удельная теплоемкость материала реторты (сталь) равна C_1 равна 460 Дж/(кг·К), блока губчатого титана C_2 =530 Дж/(кг·К), а постоянная времени реторты с блоком губчатого титана составляет $T_{н}$ =583 с.

Определим тепловую емкость реторты:

$$m_1 C_1 = 460 \cdot 350 = 161000 \text{ Дж/К}$$

и тепловую емкость блока губчатого титана:

$$m_{2н} C_2 = 530 \cdot 5000 = 2650000 \text{ Дж/К}$$

Тепловая емкость реторты и блока губчатого титана вместе:

$$m_1 C_1 + m_{2н} C_2 = 2811000 \text{ Дж/К}$$

Постоянная времени инерционного звена, описывающего тепловые свойства реторты:

$$T_1 = \frac{m_1 C_1}{m_1 C_1 + m_{2н} C_2} \cdot T_{н} = \frac{161000}{2811000} \cdot 583 = 33.4 \text{ с}$$

Постоянная времени инерционного звена, описывающего тепловые свойства блока губчатого титана

$$T_2 = \frac{m_{2н} C_2}{m_1 C_1 + m_{2н} C_2} \cdot T_{н} = \frac{2650000}{2811000} \cdot 583 = 549.6 \text{ с}$$

Выполнено (см. рис. 1) в среде Matlab – Simulink наложение откликов на одинаковое возмущение объекта управления в виде инерционного звена первого порядка с запаздыванием и последовательного соединения двух инерционных звеньев, описывающих реторту и блок губчатого титана [4]. Подбирая величину чистого запаздывания, удалось добиться удовлетворительного совпадения (см. рис. 2) этих двух аппроксимаций при $\tau=25$ с.

1 – звено первого порядка с запаздыванием $\tau=25$ с;

2 – звено второго порядка

Пример 2. Оценим величину постоянной времени запаздывания реторты восстановления на заключительной стадии сепарации. Пусть масса реторты

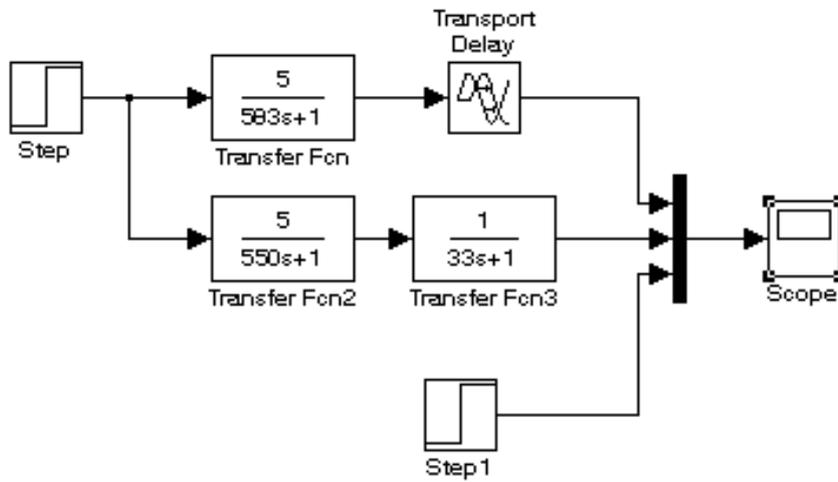


Рис. 1. Структурная схема аппроксимации объекта управления в начале процесса сепарации губчатого титана

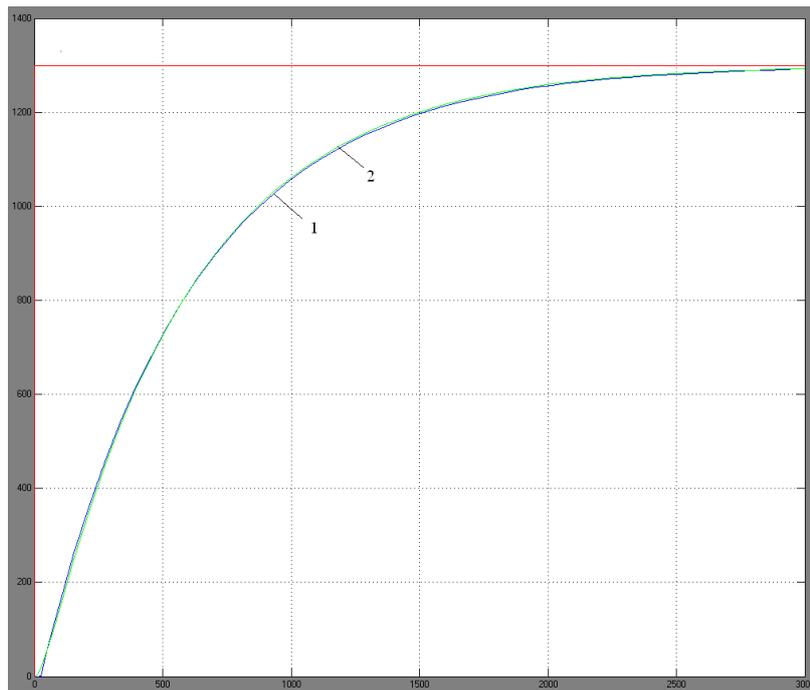


Рис. 2. Сравнение аппроксимаций объекта управления в начале процесса сепарации губчатого титана

m_1 не изменилась и составляет 350 кг. Масса блока губчатого титана $m_k=4000$ кг, удельная теплоемкость материала реторты (сталь) равна C_1 равна 460

Дж/(кг·К), блока губчатого титана $C_2=530$ Дж/(кг·К), а постоянная времени реторты с блоком губчатого титана составляет $T_H=583$ с.

Тепловая емкость реторты:

$$m_1 C_1 = 460 \cdot 350 = 161000 \text{ Дж/К};$$

Тепловая емкость блока губчатого титана:

$$m_{2к} C_2 = 530 \cdot 4000 = 2120000 \text{ Дж/К};$$

Тепловая емкость реторты и блока губчатого титана:

$$m_1 C_1 + m_{2к} C_2 = 2281000 \text{ Дж/К};$$

Постоянная времени реторты с блоком губчатого титана на заключительной стадии сепарации:

$$T_k = \frac{m_1 C_1 + m_{2к} C_2}{m_1 C_1 + m_{2н} C_2} \cdot T_{и} = \frac{2281000}{2811000} \cdot 583 = 473,1 \text{ с.}$$

Постоянная времени инерционного звена, описывающего тепловые свойства реторты:

$$T_1 = \frac{m_1 C_1}{m_1 C_1 + m_{2к} C_2} \cdot T_k = \frac{161000}{2811000} \cdot 473,1 = 27,1 \text{ с.}$$

Постоянная времени инерционного звена, описывающего тепловые свойства блока губчатого титана

$$T_2 = \frac{m_{2к} C_2}{m_1 C_1 + m_{2к} C_2} \cdot T_k = \frac{2650000}{2811000} \cdot 473,1 = 446,0 \text{ с.}$$

Подбирая величину чистого запаздывания по методике примера 1, удалось добиться удовлетворительного совпадения (см. рис. 4) этих двух аппроксимаций при $\tau=10$ с.

- 1 – звено первого порядка с запаздыванием $\tau=10$ с;
- 2 – звено второго порядка

Задачу моделирования зависимости свойств объекта от его температуры можно считать решенной. Для использования созданной модели с целью определения оптимальных настроек регулятора необходимо реализовать общую схему моделирования объектов с переменными свойствами [5] и исследовать закономерности подходов к определению настроек регуляторов [6].

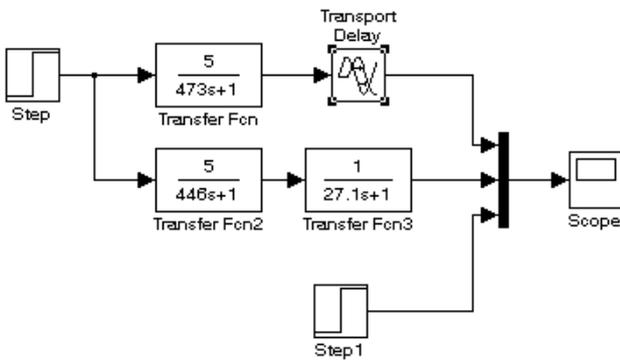


Рис. 3. Структурная схема аппроксимации объекта управления в конце процесса сепарации губчатого титана

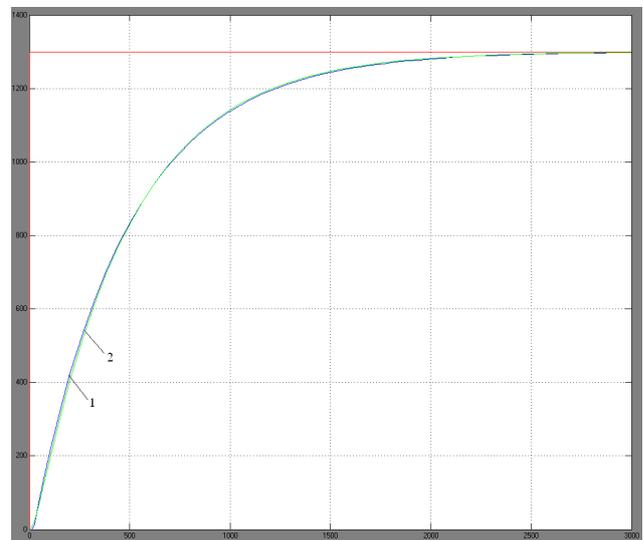


Рис. 4. Сравнение аппроксимаций объекта управления в начале процесса сепарации губчатого титана

Список литературы

1. Беккер, В.Ф. Системный подход к управлению непрерывно-дискретным производством губчатого титана // Известия ЮФУ, Технические науки. Тематический выпуск «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии управления». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009, 32(91). С. 154-158.
2. Кирин, Ю.П., Беккер В.Ф., Затонский А.В. Совместное проектирование технологии и системы управления вакуумной сепарацией губчатого титана. Пермь: Перм. гос. техн. ун-т., 2008. 124 с.
3. Абсаров Р.А., Кравец О.Я., Поваляев А.Д. Оптимизация организационного управления распределенными системами // Системы управления и информационные технологии. 2004. №2 (14). С. 24-28.
4. Бильфельд Н.В. Программа исследования динамики систем управления // Программные продукты и системы. 2010. №3. С. 118.
5. Моделирование промышленных объектов управления с детерминированной нестационарностью / В.Ф. Беккер, Н.В. Бильфельд, Д.С. Камаев. Известия Томского политехнического университета, – 2013. – Т. 323. – №5 – С. 63-68.
6. Затонский А.В. Синтез экспертных систем управления социально-техническими системами // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. №2. С.82-86.