ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

**Преподаватель:**
**доцент кафедры ХТТ и ХК, к.т.н.**
**Чернякова Екатерина Сергеевна**

2020

# Лабораторная работа № 5. Обработка экспериментальных кривых разгона

**Цель работы**

- Ознакомиться с методикой проведения эксперимента по снятию кривых разгона, а также с методами их последующей обработки.

- Получить аппроксимирующее уравнение переходной функции, характеризующееся наилучшим совпадением с экспериментальной кривой разгона.

# Исследование объекта регулирования (ОР)

- **Кривая разгона** – это процесс изменения во времени выходной переменной ОР, вызванный ступенчатым входным воздействием (переходная функция $h(\tau)$).
- **Снятие кривой разгона** предусматривает нанесение на объект ступенчатого возмущения (при этом отмечают величину и момент нанесения возмущения). Изменения выходной величины регистрируют до тех пор, пока объект не примет установившееся значение.
- Подбираются уравнения (дифференциальные), решения которых наилучшим образом совпадают с экспериментальными функциями.

# Свойства объекта регулирования

- **Время чистого запаздывания ($\tau_0$)** – запаздывание объекта, которое выражается в том, что его выходная величина начинает изменяться не сразу после нанесения возмущения, а только через некоторый промежуток времени.

- **Постоянная времени объекта ($T_{об}$)** определяет время, в течение которого выходная величина достигла бы своего нового установившегося значения, если бы она изменялась с постоянной скоростью, равной скорости ее изменения в начальный момент времени.

- **Коэффициент передачи объекта ($K_{об}$)** представляет собой изменение выходной величины объекта при переходе из начального в новое установившееся состояние, отнесенное к изменению возмущения на входе.

# Методы решения:

- аппроксимация переходной функции решением дифференциального уравнения первого порядка с запаздыванием (интерполяционный метод Ормана);
- аппроксимация переходной функции решением дифференциального уравнения с кратными действительными корнями;
- определение коэффициентов дифференциального уравнения объекта по «методу площадей» (метод М.П. Симою).

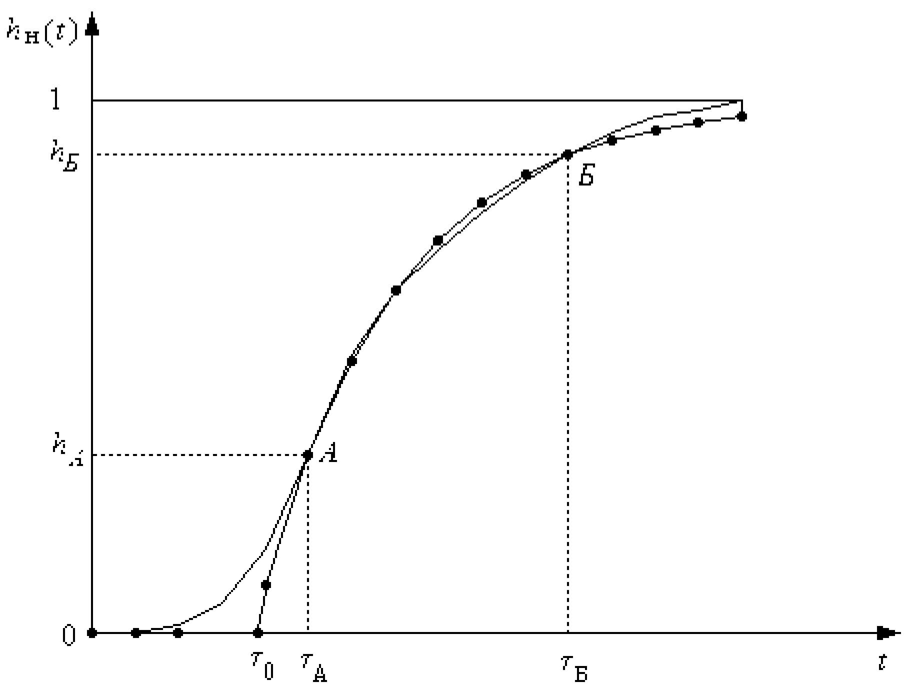
# Порядок выполнения работы

- Дополнить таблицу исходных данных со значениями экспериментальной кривой разгона **столбцом нормированной переходной функции**, полученным при делении каждого значения экспериментальной переходной функции (кривой разгона) на последнее ее значение.
- Ознакомиться со способами аппроксимации переходной функции (экспериментальной кривой разгона).
- С помощью аппроксимирующих программ для метода Ормана, метода кратных корней 2-го, 3-го и 4-го порядков, метода Симою выполнить расчеты параметров аппроксимирующих уравнений и составить аппроксимирующие уравнения. Сканы результатов расчета для каждого метода сохранить для размещения в отчете.
- Выполнить сравнительный анализ качества аппроксимации экспериментальной кривой разгона различными методами.
- Составить отчет.

# Интерполяционный метод Ормана

$$T_{\text{об}} \cdot \frac{dx_{\text{вых}}(t)}{dt} + x_{\text{вых}}(t) = K_{\text{об}} \cdot x_{\text{вх}}(t - \tau_0)$$

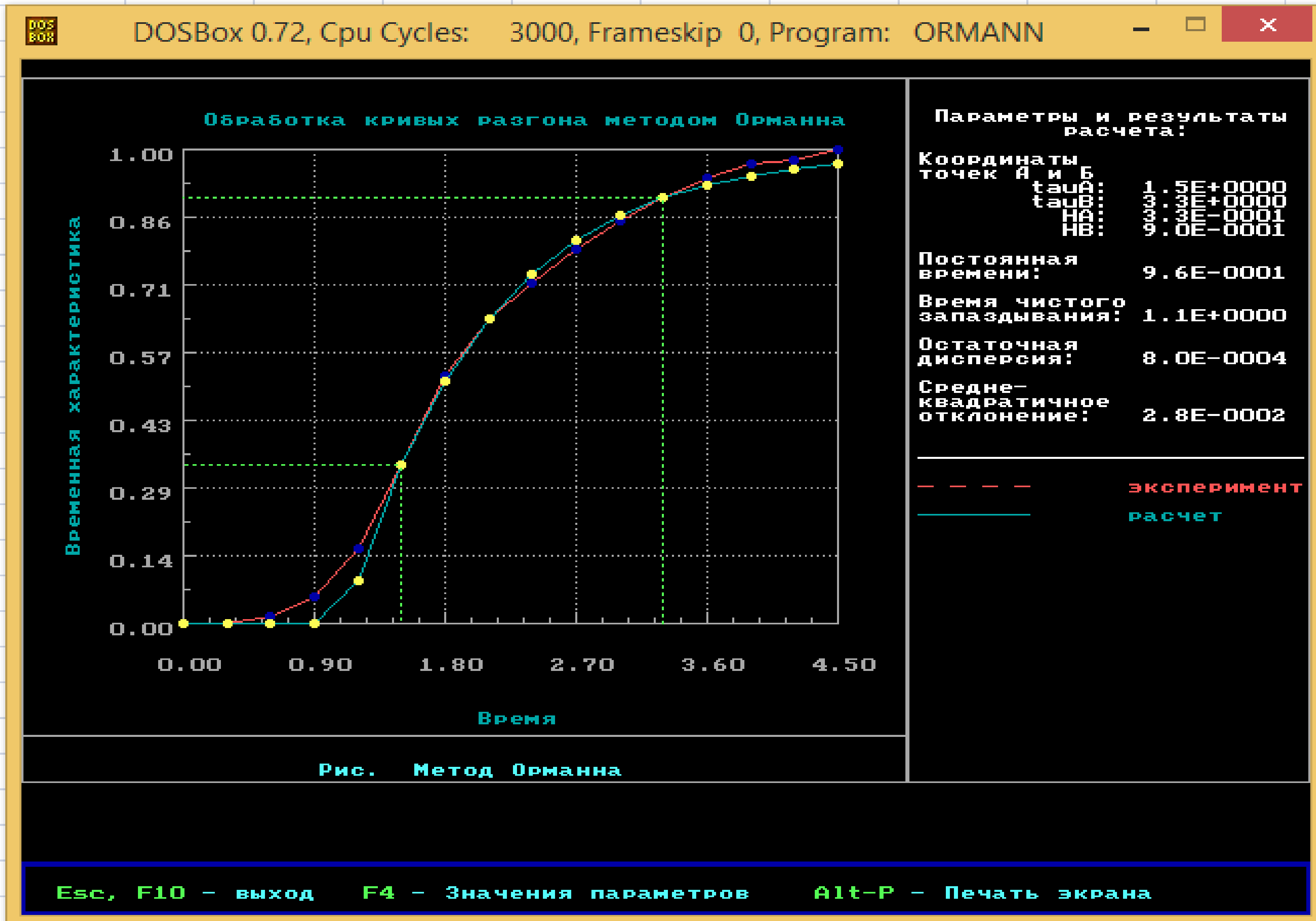
$$\begin{cases} h(t) = 0; & 0 \le t \le \tau_0; \\ h(t) = h(T_y) \cdot \left[ 1 - e^{-\frac{t-\tau_0}{T_{\text{об}}}} \right] \cdot K_{\text{об}}; & t > \tau_0, \end{cases}$$




$$\boxed{\tau_0 = \frac{\tau_Б \cdot \ln(1 - h_A) - \tau_A \cdot \ln(1 - h_Б)}{\ln(1 - h_A) - \ln(1 - h_Б)}}$$

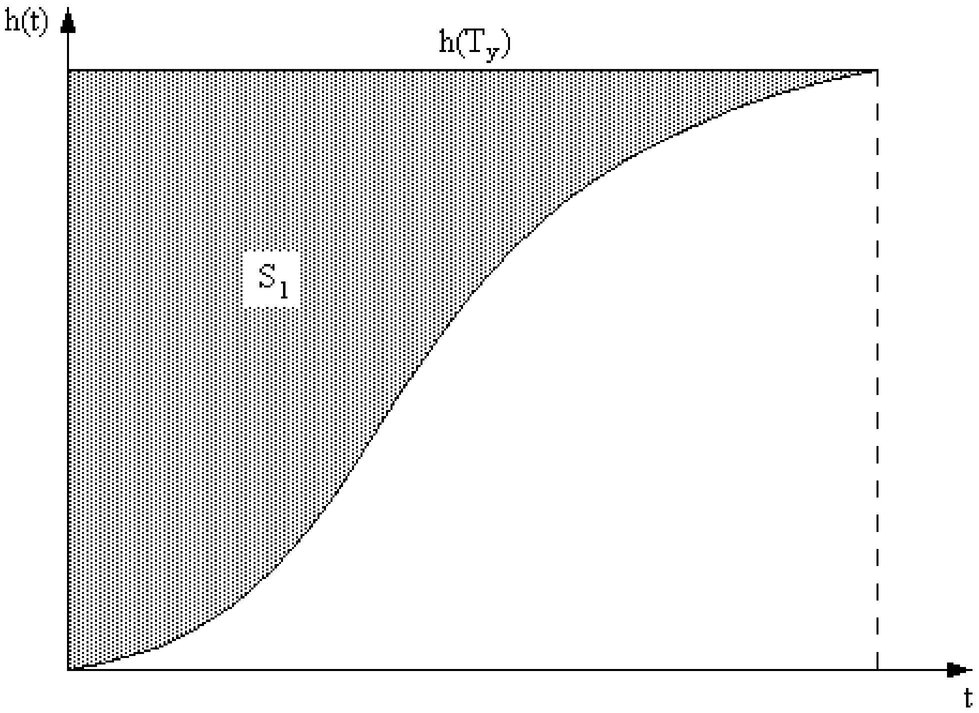
$$\boxed{T_{\text{об}} = -\frac{\tau_A - \tau_0}{\ln(1 - h_A)}}$$

# Результаты по методу Ормана



# Метод кратных корней

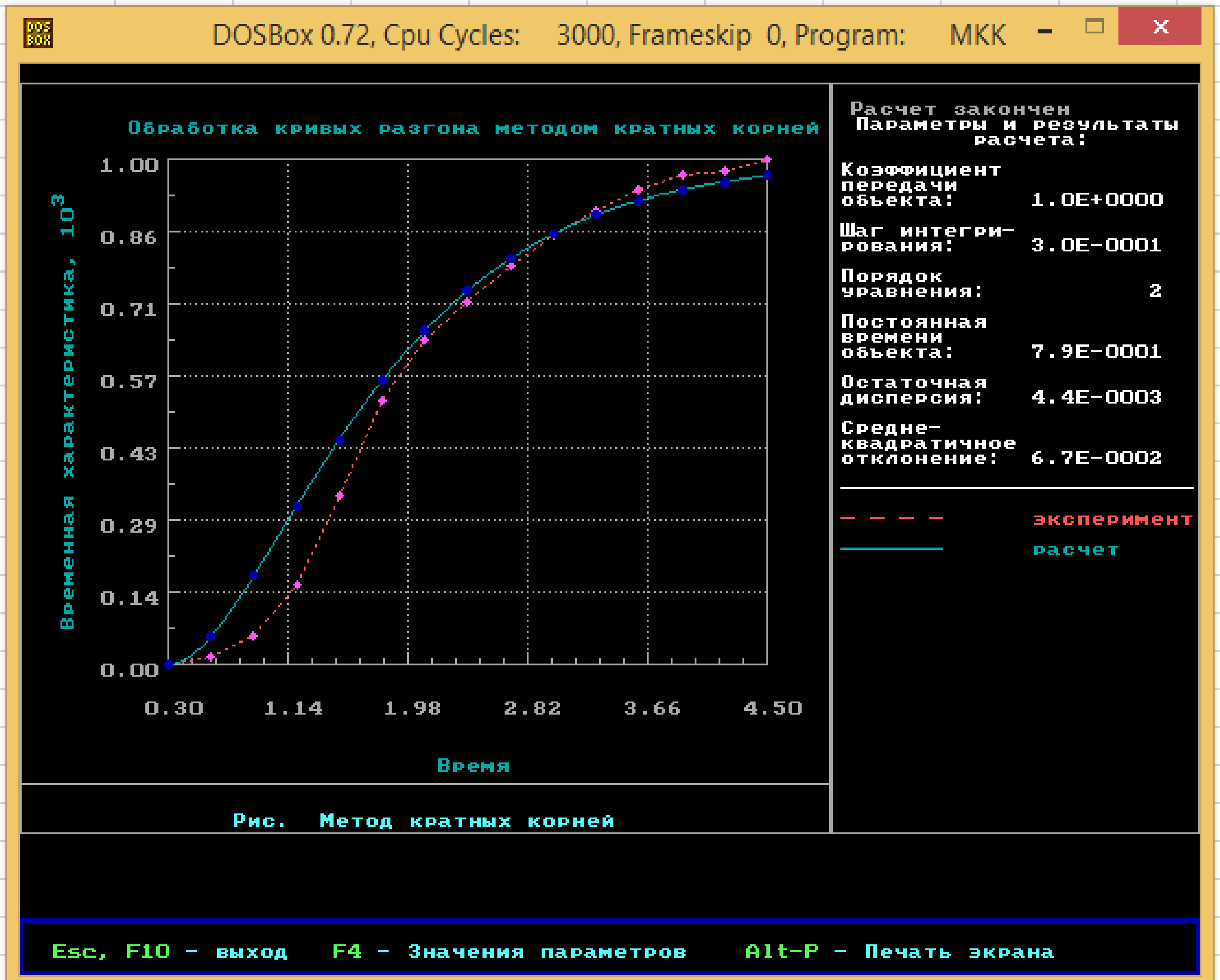
$$h(t) = h(T_y) \cdot \left[ 1 - \sum_{i=0}^{n-1} \frac{t^i}{T_{об}^i} \cdot \frac{1}{i!} \cdot e^{-\frac{t}{T_{об}}} \right]$$




$$S = \frac{1}{h(T_y)} \cdot \int_0^{\infty} \left[ h(T_y) - h(t) \right] dt = \sum_{\gamma=1}^{n} T_\gamma$$

$$T_{об} = \frac{S}{n}$$

# Результаты по методу кратных корней



# Метод М.П. Симою

$$a_n \cdot \frac{d^n\sigma}{dt^n} + a_{n-1} \cdot \frac{d^{n-1}\sigma}{dt^{n-1}} + \ldots + a_1 \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \sigma =$$
$$b_m \cdot \frac{d^m\lambda}{dt^m} + b_{m-1} \cdot \frac{d^{m-1}\lambda}{dt^{m-1}} + \ldots + b_1 \cdot \frac{d\lambda}{dt} + \lambda,$$

$$a_2 \cdot P^2 + a_1 \cdot P + 1 = 0$$

$$D = \sqrt{\frac{a_1^2}{4 \cdot a_2^2} - \frac{1}{a_2}}$$

Если D < 0, то корни комплексные

$$P_{1,2} = -\alpha \pm i \cdot \omega,$$

$$\alpha = \frac{a_1}{2 \cdot a_2}, \qquad \omega = \sqrt{-D}$$

и переходная функция рассчитывается по формуле

$$y(t) = K \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot t} \cdot \left(\frac{\alpha}{\omega} \cdot \sin(\omega \cdot \tau) + \cos(\omega \cdot \tau)\right)\right).$$

Если D = 0, то корни вещественные кратные

$$P_{1,2} = -\alpha = -\frac{a_1}{2 \cdot a_2}$$

и переходная функция рассчитывается по формуле

$$y(t) = K \cdot \left(1 - e^{-\alpha \cdot t} \cdot (1 + \alpha \cdot t)\right).$$

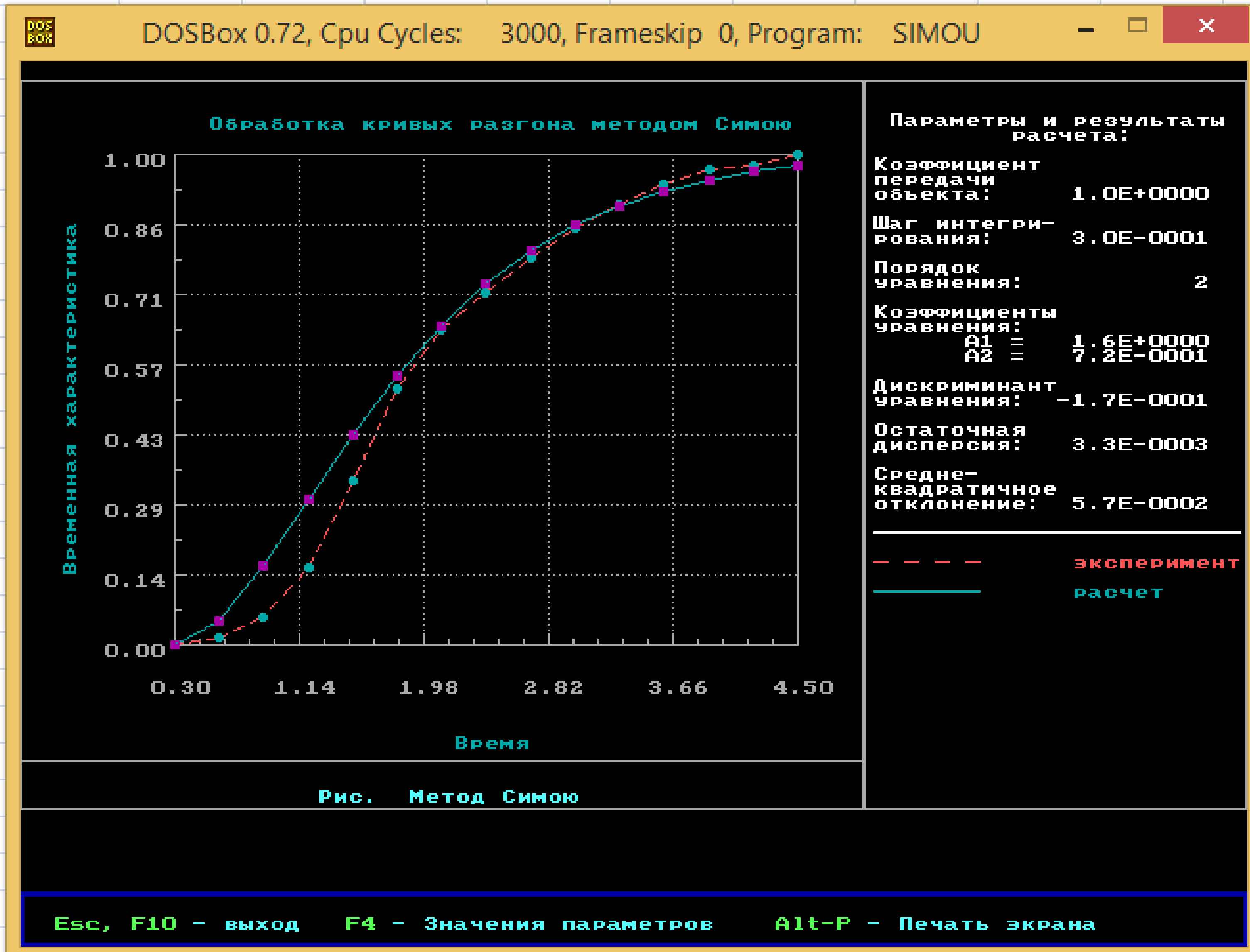
Если D > 0, то корни вещественные разные

$$P_1 = -\alpha_1 = -\frac{a_1}{2 \cdot a_2} - \sqrt{D}, \qquad P_2 = -\alpha_2 = -\frac{a_1}{2 \cdot a_2} + \sqrt{D}.$$

Уравнение переходной функции:

$$y(t) = K \cdot \left(1 + \frac{1}{a_2 \cdot P_1 \cdot \left(2 \cdot P_1 + \frac{a_1}{a_2}\right)} \cdot e^{P_1 \cdot t} + \frac{1}{a_2 \cdot P_2 \cdot \left(2 \cdot P_2 + \frac{a_1}{a_2}\right)} \cdot e^{P_2 \cdot t}\right).$$

# Результаты по методу М.П. Симою



# Сравнительный анализ результатов аппроксимации экспериментальной кривой разгона различными методами

| Метод | Порядок уравнения | Вид аппроксимирующего уравнения | Показатели качества | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Остаточная дисперсия | Среднеквадратичное отклонение |
| Метод Ормана | 1 | | | |
| Метод кратных корней | 2 | | | |
| | 3 | | | |
| | 4 | | | |
| Метод Симою | 2 | | | |

# Оформление отчёта

- Цель работы.
- Задание в соответствии с вариантом исходных данных, указанным преподавателем, и нормированными значениями экспериментальной кривой разгона
- Описание методов аппроксимации и их применение.
- Результаты аппроксимации экспериментальной кривой разгона, представленные в виде сканов окон аппроксимирующих программ для метода Ормана, метода кратных корней 2-го, 3-го и 4-го порядков, метода Симою и полученных аппроксимирующих уравнений, таблицы сравнительного анализа качества аппроксимации различными методами
- Выводы по работе.