

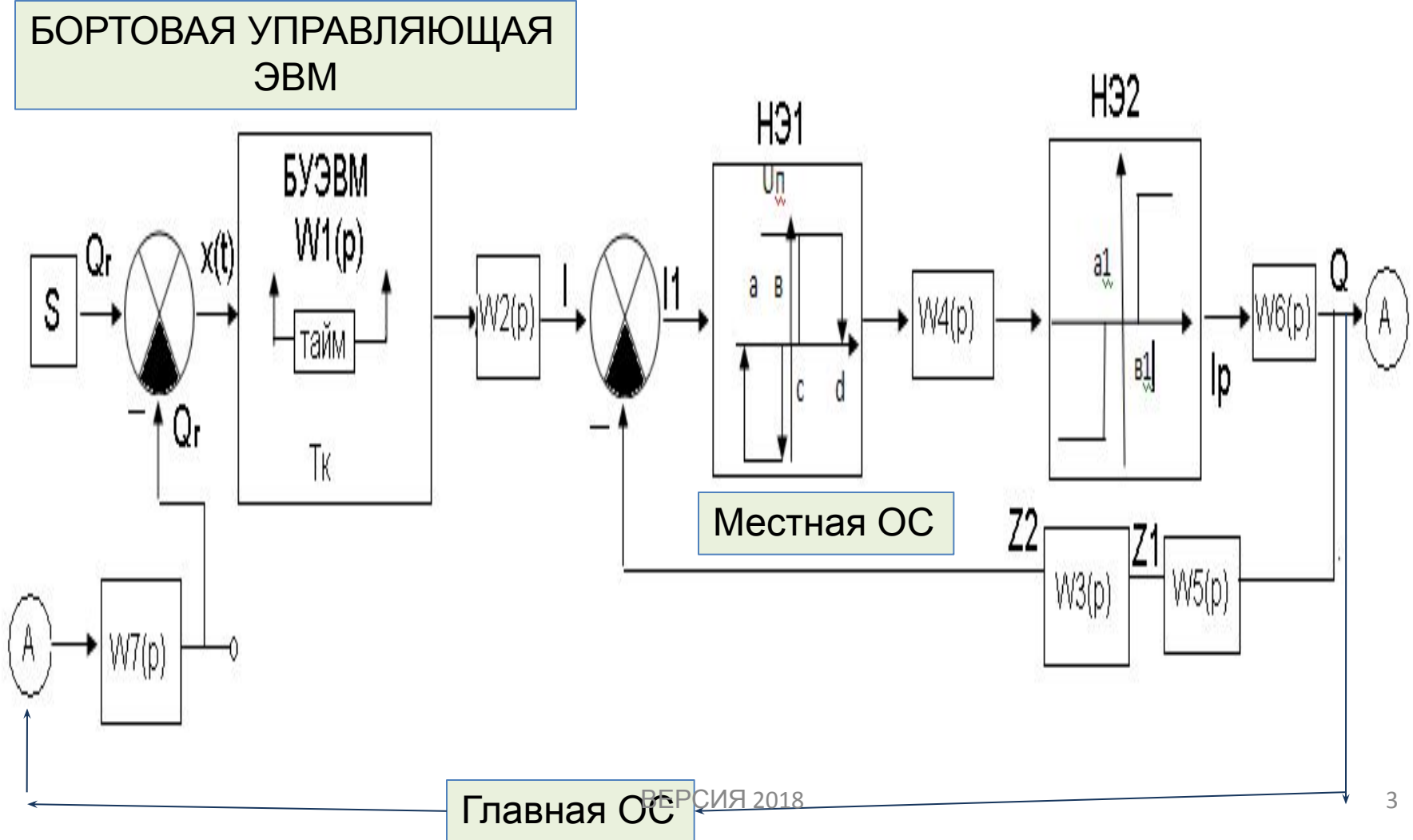
Моделирование цифровых систем управления самолетом.

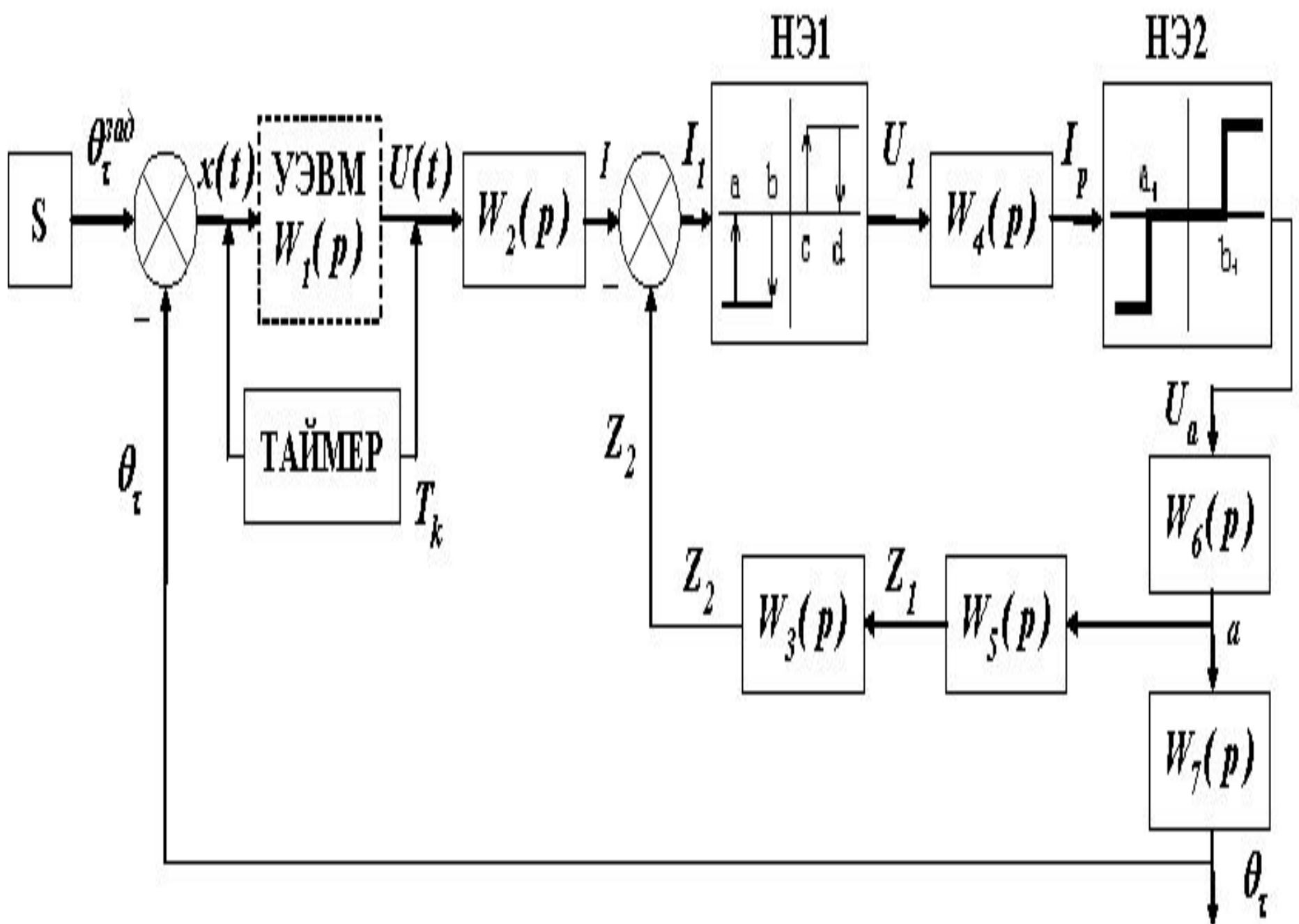
ГРИГОРЬЕВ В.А.

Содержание

1. Структурная схема цифровой системы управления автопилотом самолета с учетом нелинейных составляющих.
2. Схема сборки имитационной модели ИМ.
3. Цифровые регуляторы.
Моделирование.

Рассмотрим структурную схему цифровой системы управления автопилотом самолета с учетом нелинейных составляющих.





- Система управления содержит задатчик курса S , формирующий заданное значение курса самолета $Q_{г}^{зад}$.
- Блок сравнения формирует сигнал ошибки $x(t)$ как разность между заданным значением и измеренным значением

$$x(t) = Q_{г}^{зад} - Q_{г}$$

- где $Q_{г}$ – измеренное значение курса.

Схема включает бортовую управляющую машину БУЭВМ, которая реализует дискретный алгоритм управления для формирования

интервале квантования T_k , где $U(t)$ – управляющее воздействие на исполнительные устройства самолета.

Таймер УЭВМ с интервалом квантования T_k реализует подключение ЭВМ с помощью АЦП и ЦАП.

На основании анализа динамических свойств конкретных элементов входящих в систему управления получены разработчиками их следующие передаточные функции :

$$W_1(p) = A\mu$$

Дискретный алгоритм управления

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1}$$

Инерционное звено

$$W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}$$

Инерционное звено

$$W_4(p) = \frac{k_4}{T_4 p + 1}$$

Инерционное звено

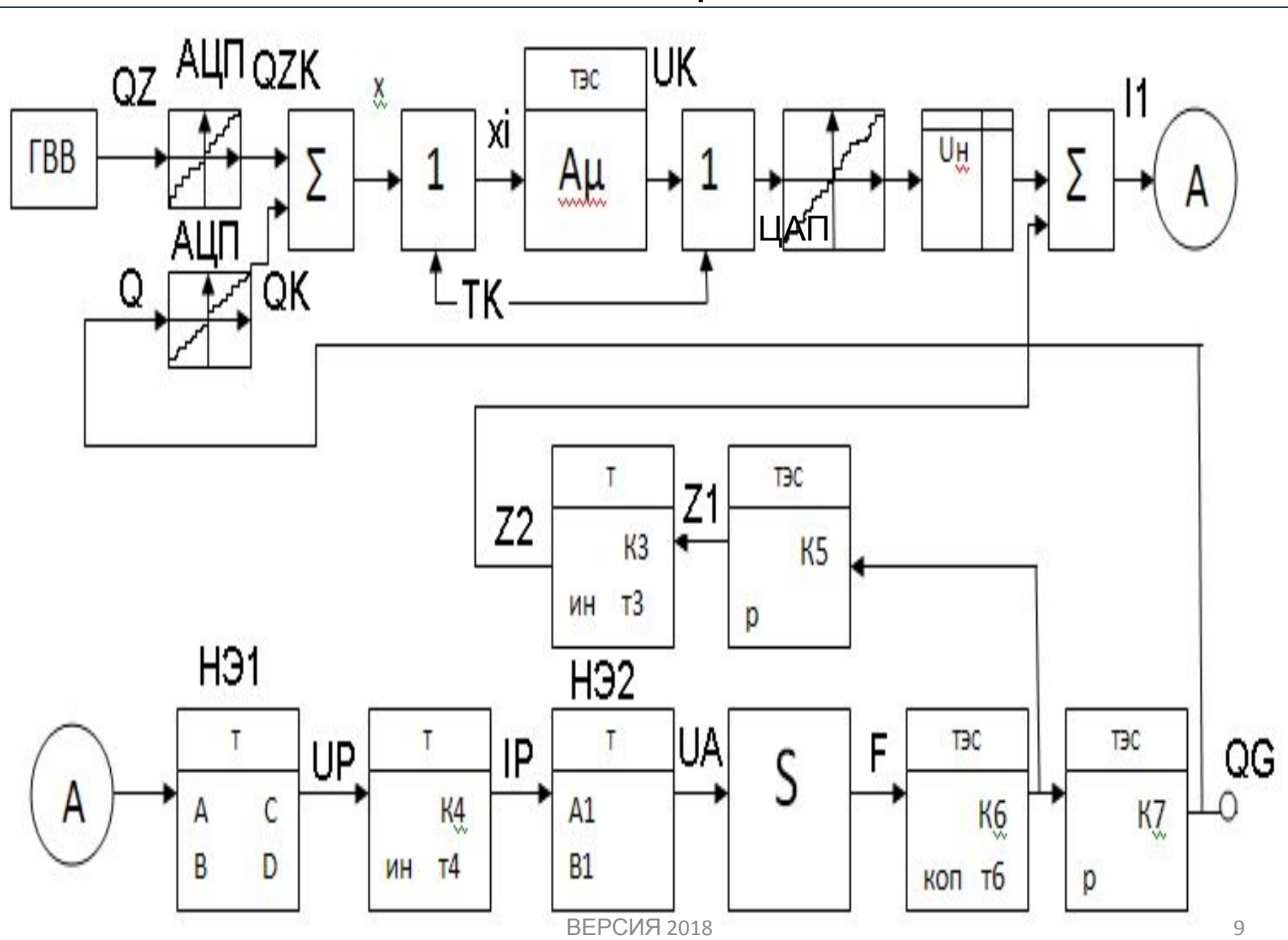
$$W_5(p) = k_5 p$$

дифференцирующее звено

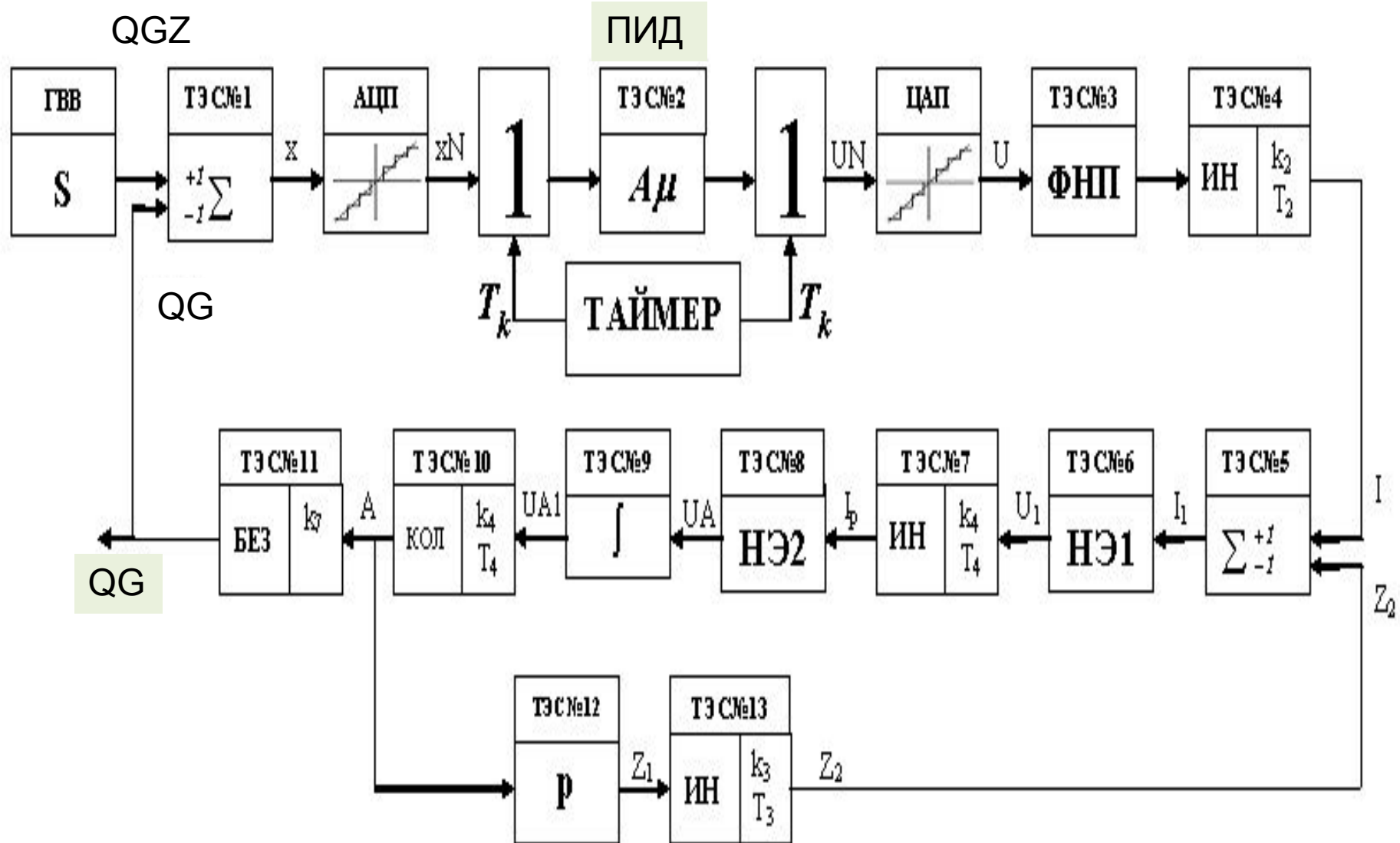
$$W_6(p) = \frac{k_6}{p(T_6^2 p^2 + 2T_6 p + 1)}$$

- При программировании реальной модели системы необходимо моделировать линейную часть системы (инерционные звенья), например, методом Эйлера или модифицированным методом Эйлера.
- Колебательные звенья приводятся к системам дифференциальных уравнений первого порядка и решаются методом Рунге-Кутты.

Схема сборки ИМ.



Второй вариант сборки модели



3. Цифровые регуляторы

В непрерывных системах широко используются PID-регуляторы, которые представляются идеализированным уравнением:

$$u(t) = K_p \cdot \left[x(t) + \frac{1}{T_I^x} \int_0^t x(t) dt + T_D^x \frac{dx(t)}{dt} \right]$$

- где: K_p - коэффициент усиления пропорционального канала; T_I^x - постоянная времени интегрального канала (**ВРЕМЯ ИЗОДРОМА**); T_D^x - постоянная времени дифференциального канала (**ВРЕМЯ ПРЕДВОРЕНИЯ**).

- Для малых периодов дискретизации $T_{\text{ц}}$ (ИНТЕРВАЛА КВАНТОВАНИЯ) уравнение может быть преобразовано в разностное без существенной потери в точности.
- Непрерывное интегрирование может быть представлено с помощью метода прямоугольников , или метода трапеций .
- Используем метод прямоугольников для аппроксимации непрерывного интеграла и запишем PID-закон в дискретном виде:

$$u[n] = K_{\text{P}} \cdot \left[x[n] + \frac{T_{\text{ц}}}{T_{\text{I}}^{\text{x}}} \sum_{i=0}^{n-1} x[i] + \frac{T_{\text{D}}^{\text{x}}}{T_{\text{ц}}} (x[n] - x[n-1]) \right]$$

В результате получен **нерекуррентный** (позиционный) алгоритм управления, который требует сохранения всех предыдущих значений сигнала ошибки $x[i]$, и в котором каждый раз заново вычисляется управляющий сигнал $u[n]$.

- **ЭТО ТРЕБУЕТ ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ПАМЯТИ (для хранения массива X) И ВРЕМЕНИ НА РАССЧЁТ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ.**

Для реализации программ закона регулирования на ЦВМ **более удобным является рекуррентный алгоритм.**

- Он характеризуется тем, что для вычисления текущего значения сигнала $u[n]$ используется его предыдущее значение $u[n-1]$ и поправочный коэффициент, не требующий существенных вычислительных затрат.
- Определим его:

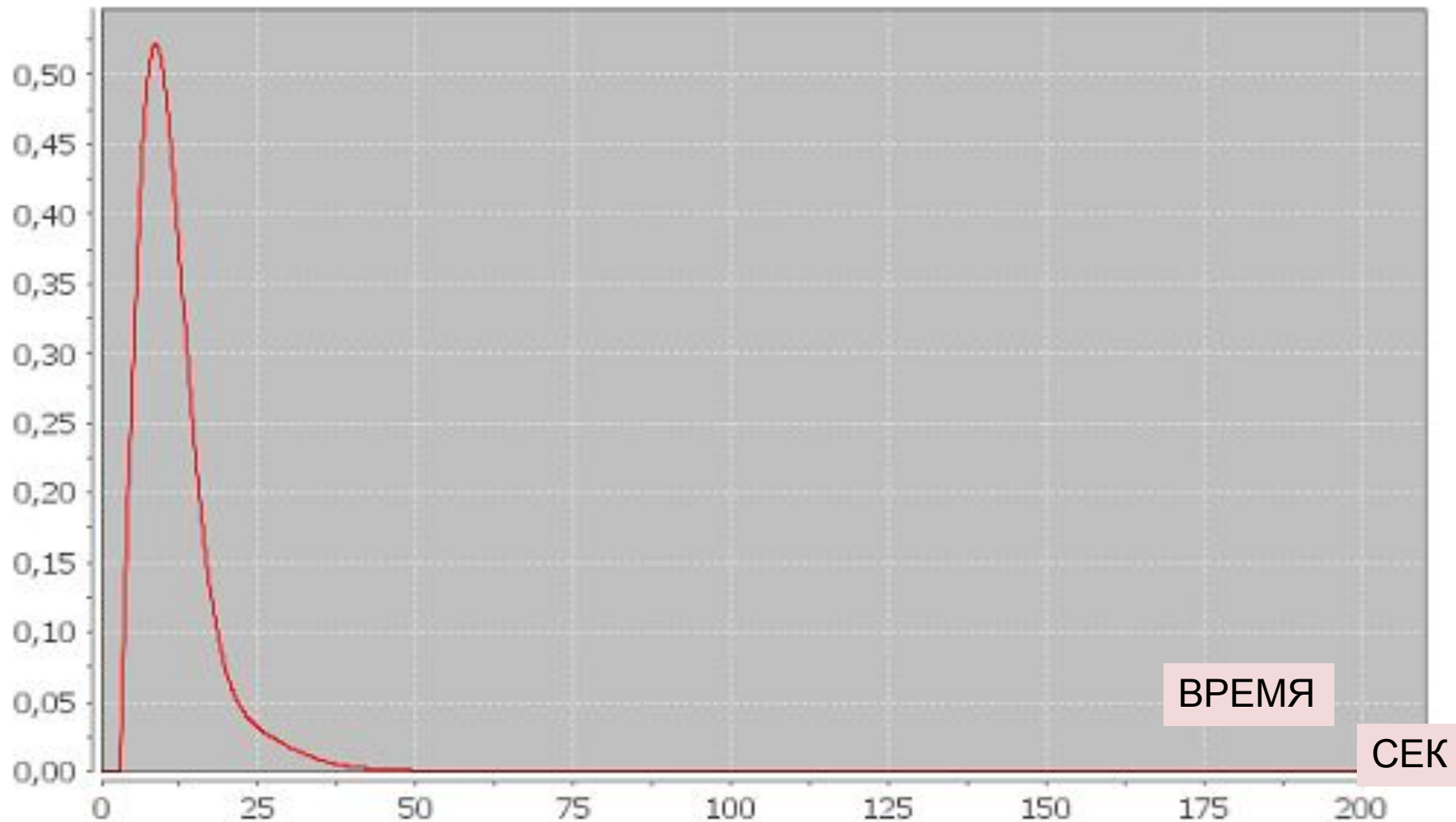
ПРИРАЩЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ

$$\begin{aligned}
 u[n] - u[n-1] &= u[n] - K_p \left[x[n-1] + \frac{T_u}{T_I^x} \sum_{i=0}^{n-2} x[i] + \frac{T_D^x}{T_u} (x[n-1] - x[n-2]) \right] \ominus \\
 &\ominus K_p \cdot \left[x[n] - x[n-1] + \frac{T_u}{T_I^x} x[n-1] + \frac{T_D^x}{T_u} (x[n] - 2x[n-1] + x[n-2]) \right] \ominus \\
 &\ominus K_p \cdot \left[\underbrace{\left(1 + \frac{T_D^x}{T_u} \right)}_{b_0/K_p} \cdot x[n] + \underbrace{\left(\frac{T_u}{T_I^x} - 1 - 2 \cdot \frac{T_D^x}{T_u} \right)}_{b_1/K_p} \cdot x[n-1] + \underbrace{\frac{T_D^x}{T_u}}_{b_2/K_p} \cdot x[n-2] \right]
 \end{aligned}$$

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СТАБИЛИЗАЦИИ

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС БЕЗ УЧЕТА ОГРАНИЧЕНИЙ И СУЩЕСТВЕННЫХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ

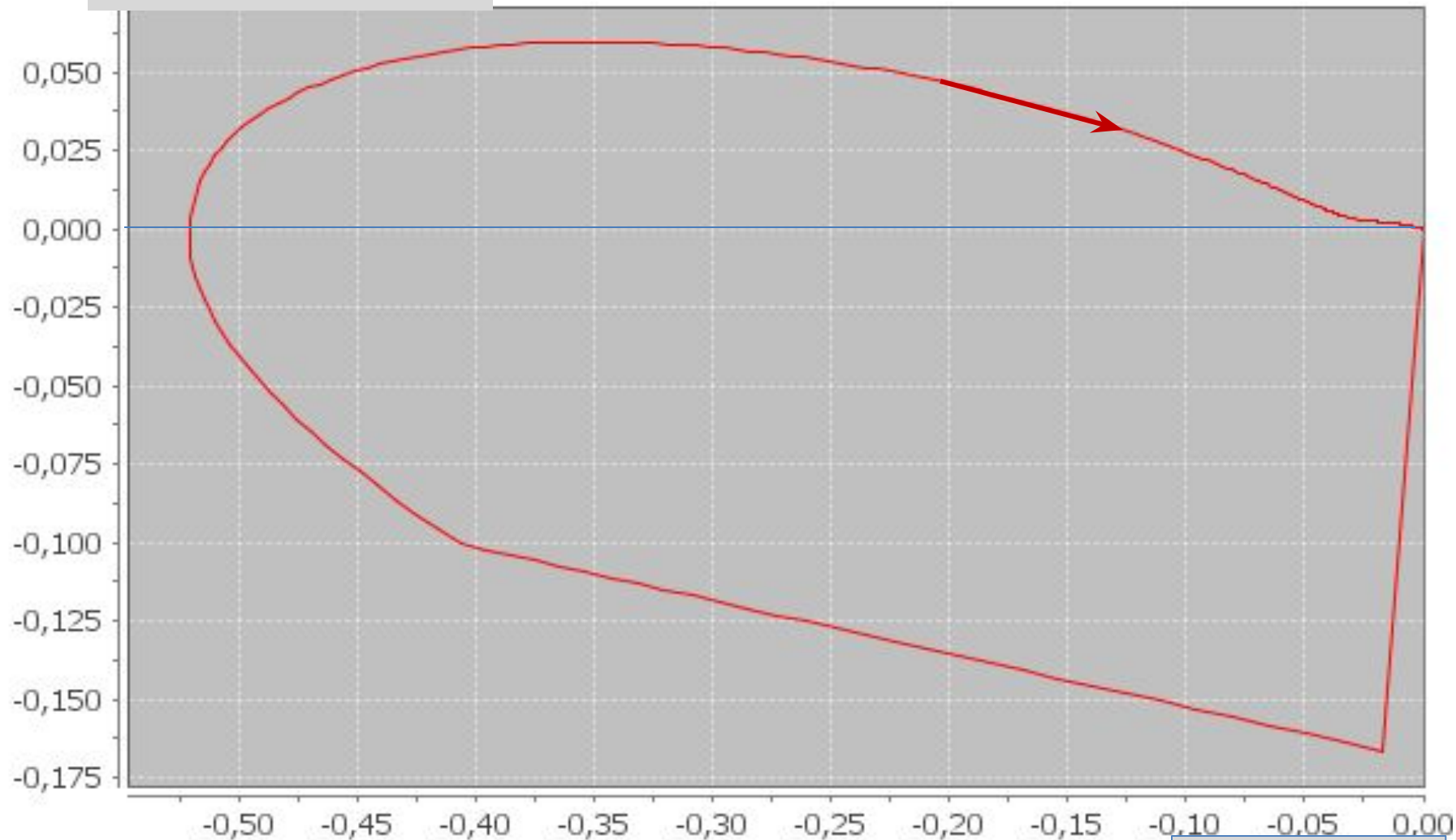
ОТКЛОНЕНИЕ ОТ КУРСА при координатных возмущениях



ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА СТАБИЛИЗАЦИИ

X2- ПРОИЗВОДНАЯ

ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ ОПТИМАЛЬНЫЙ

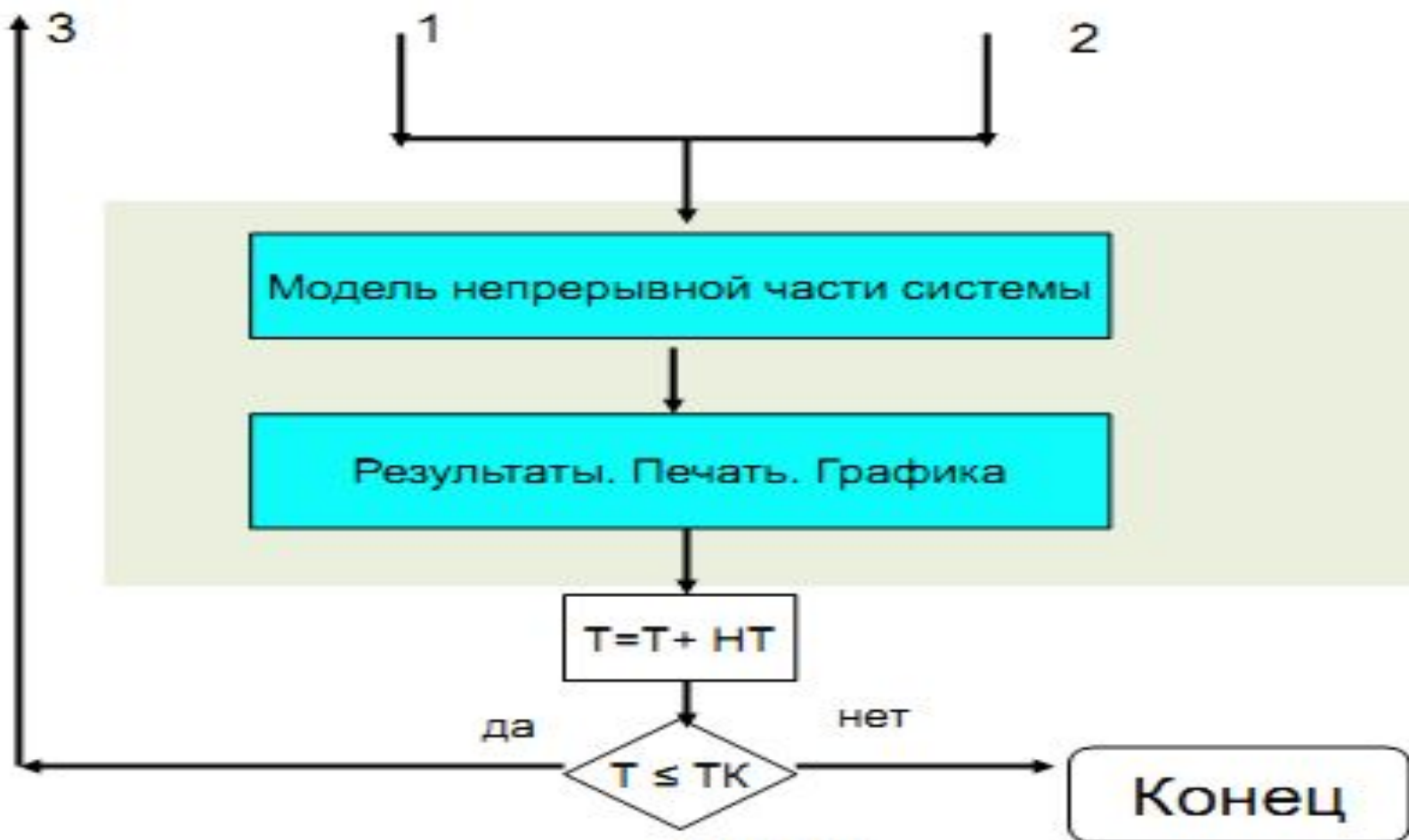


ВЕРСИЯ 2018

X1- ОШИБКА

Использование рекуррентного алгоритма для расчёта управляющего воздействия





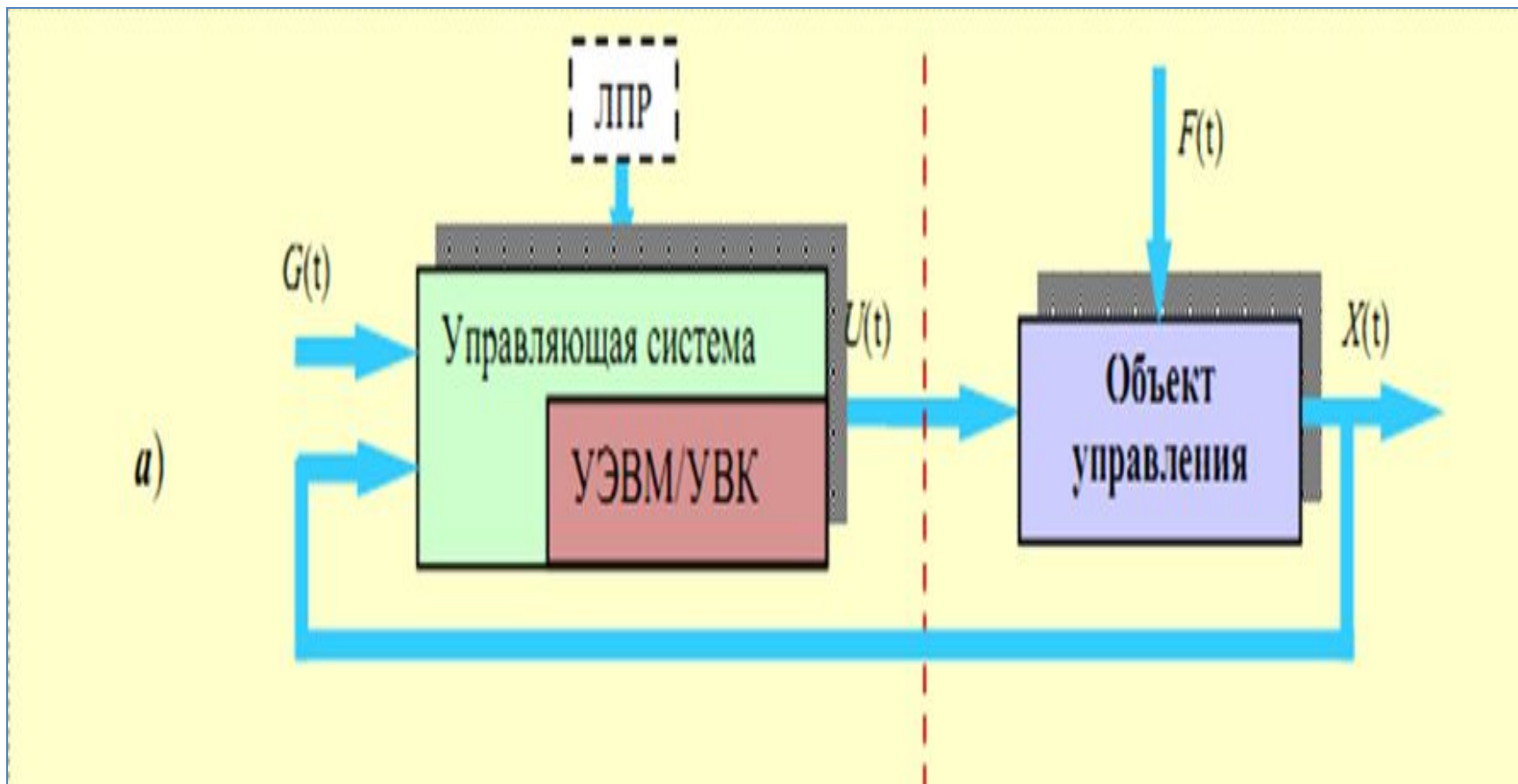
Управление – это прежде всего информационный процесс, предполагающий выполнение функций **сбора, обработки и анализа информации**, её **передачи и хранения**, **необходимых для выработки соответствующих управленческих решений**.

Современные управляющие системы являются сложными, многофункциональными, многорежимными, распределенными системами.

Их базовую часть составляют **ЛОГИКО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ средства**, специально предназначенные для решения задач управления, обеспечивающие оптимальные (или близкие к ним) режимы работы системы управления.

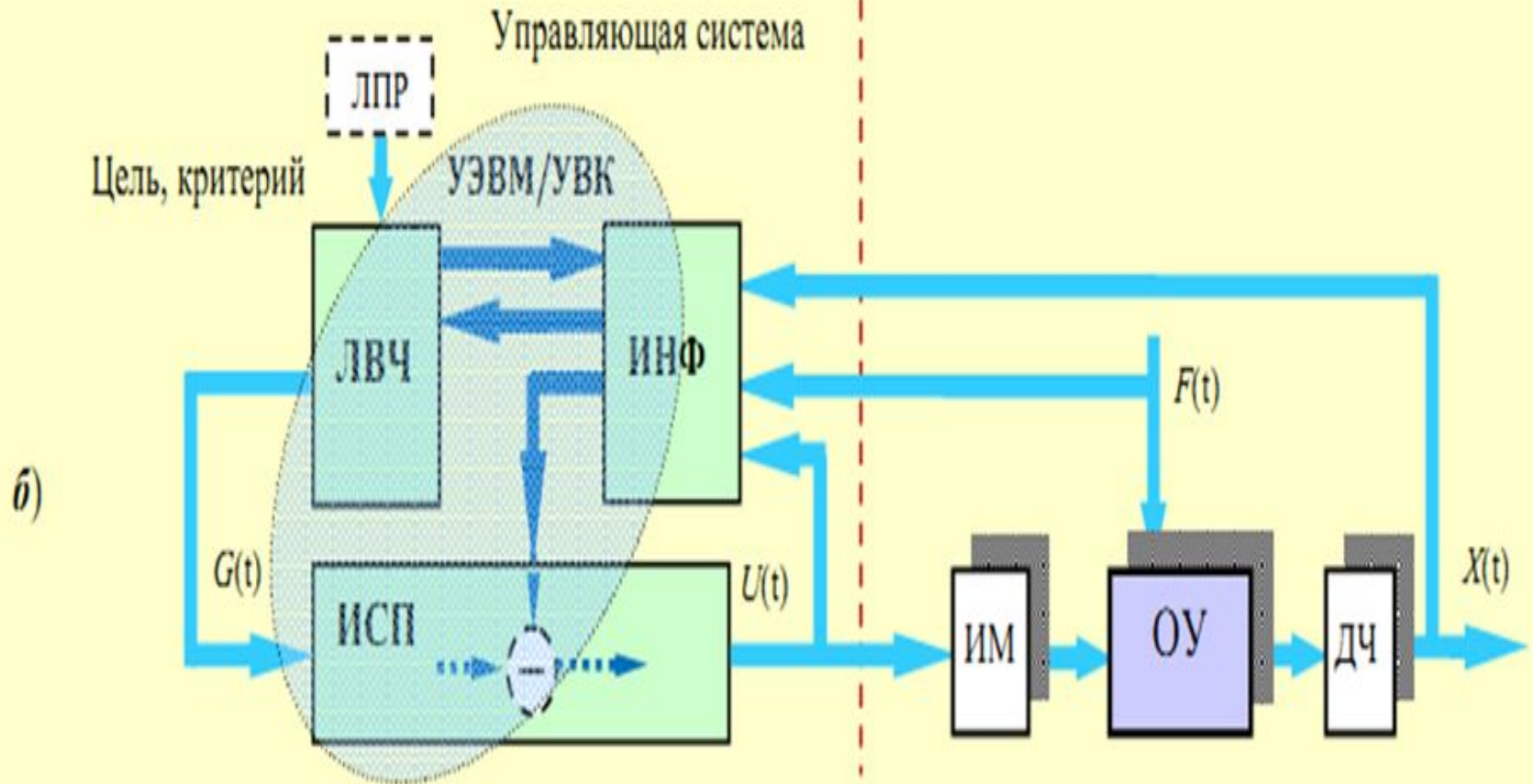
Такие средства называют управляющими электронными вычислительными машинами (УЭВМ), представляющими собой специализированные вычислительные машины, используемые в качестве центрального звена ВЕРСИЯ 2018 управляющей системы.

Обобщённая схема системы управления



ЛПР - лицо принимающее решения

Функциональная схема системы управления



ИМ – исполнительные механизмы; ДЧ – датчики; ЛПР – лицо, принимающее решение;
ЛВЧ/ИНФ/ИСП – соответственно логико-вычислительная, информационная и исполнительная подсистемы

Управляющих ЭВМ и комплексы

Управляющих ЭВМ и комплексы - это программно-технические комплексы (ПТК), включающие в себя программируемые контроллеры – управляющие устройства и инструментальные программные системы для разработки и реализации программно-аппаратного обеспечения всех уровней системы.

Программируемые контроллеры (ПРК) – **это основа современных управляющих систем**, т.к. именно их структуры, в том числе и сетевые, оснащенные соответствующим системным и прикладным ПО, выполняют все функции управляющих вычислительных машин и комплексов, а также реализуют ряд новых функций и возможностей.

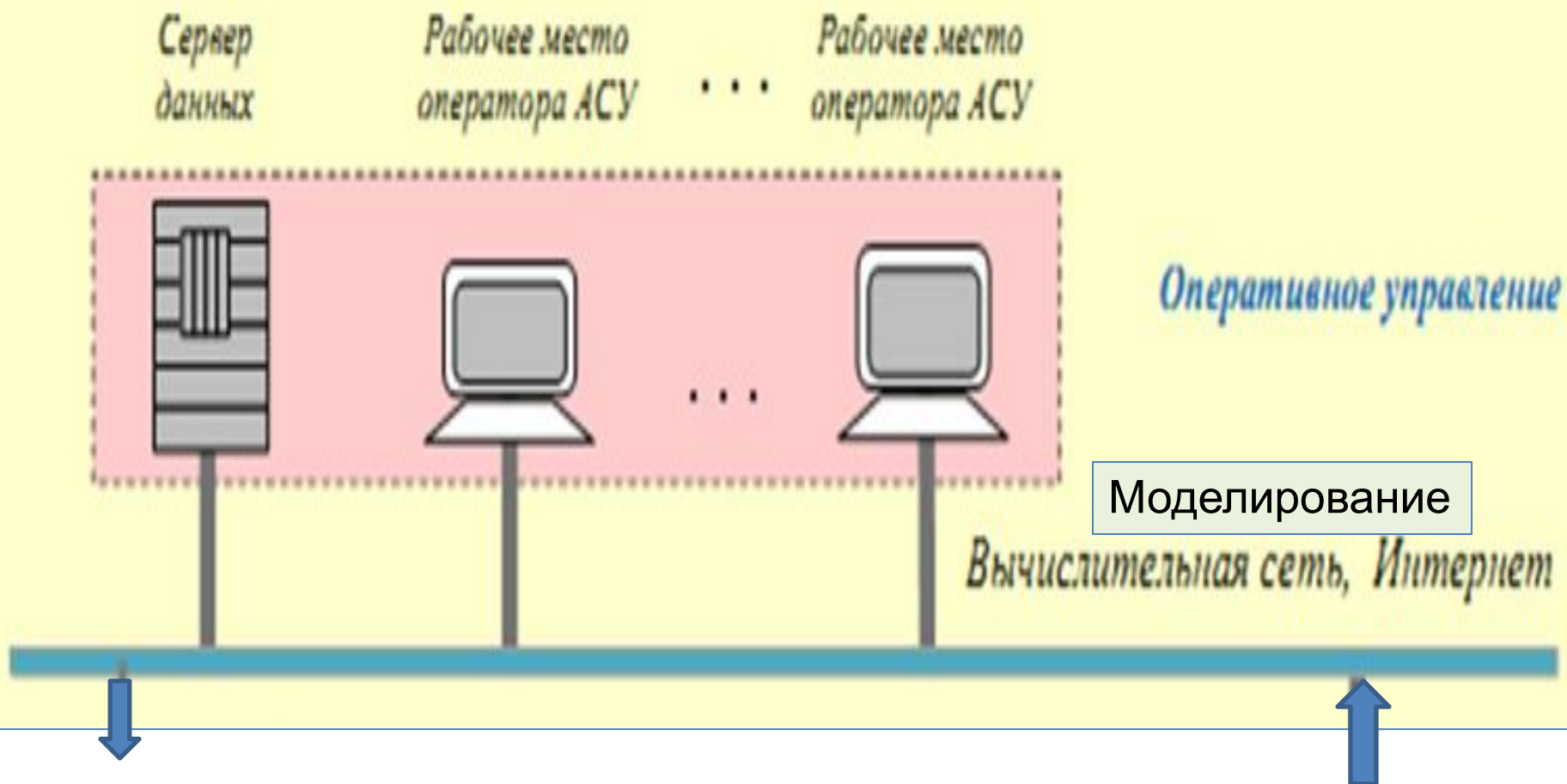
Программно-технические комплексы (ПТК)

- Выше было отмечено, что при разработке логико-вычислительных управляющих средств **необходимо опираться на современные программно-технические комплексы, сетевые и информационные технологии**, подобные средства представляют собой многоуровневую иерархическую систему (рис.).

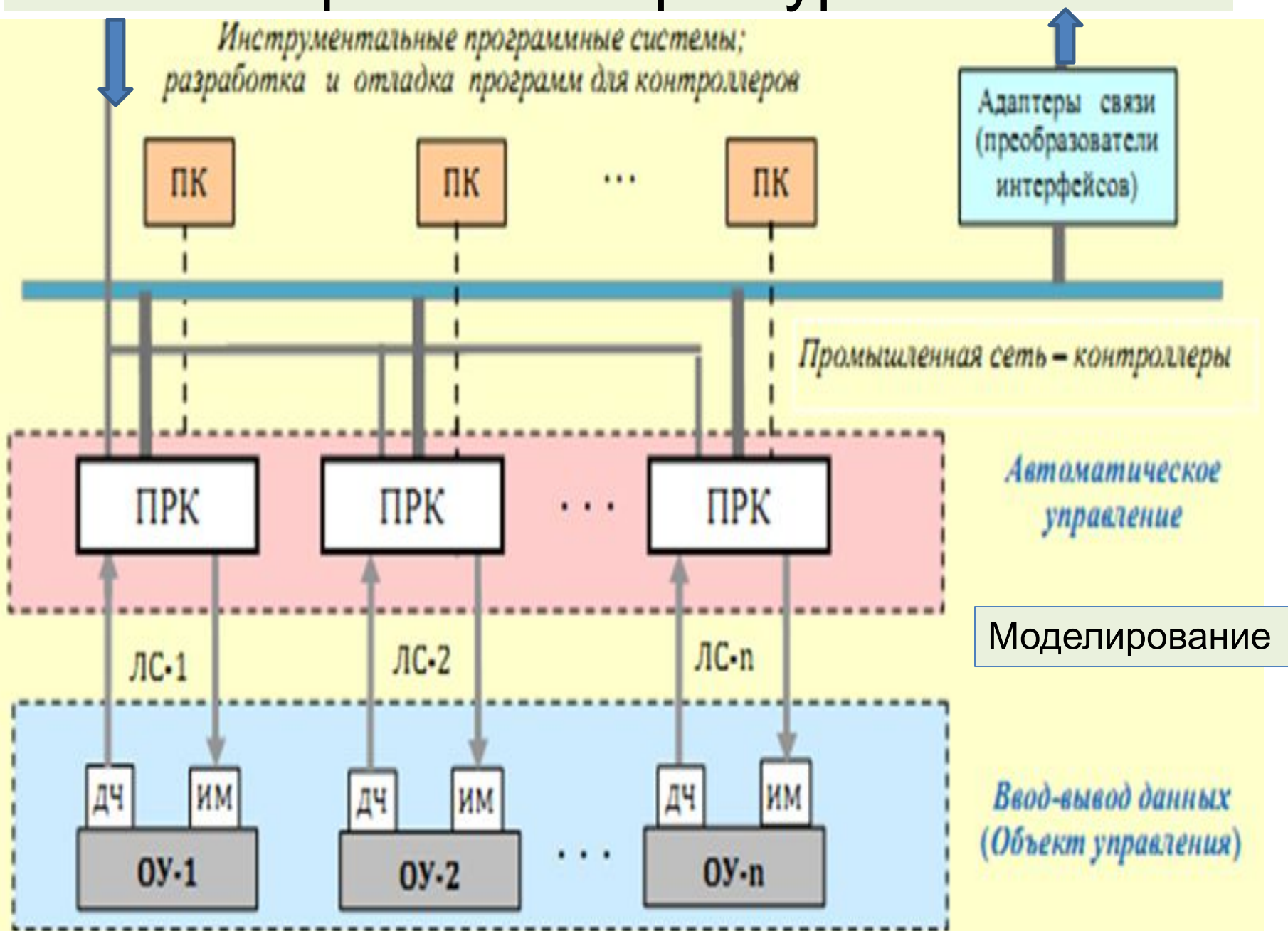
Моделирование:

- Одного контура управления с учётом квантования;
- Всех контуров управления ОУ с учетом дисциплины обслуживания;
- Промышленной сети контроллеров;
- Информационно управляющей системы;
- Систем поддержки принятия решений.

Рис. 1.2. Общая функциональная схема трехуровневой распределенной системы: ПРК – программируемый контроллер; ОУ-1... ОУ-п – части распределенного объекта управления; ЛС-1... ЛС-п – локальные системы управления; ПК – персональный компьютер; ДЧ – датчики; ИМ – исполнительные механизмы



Первый и второй уровни



Взаимодействие компонентов УВК

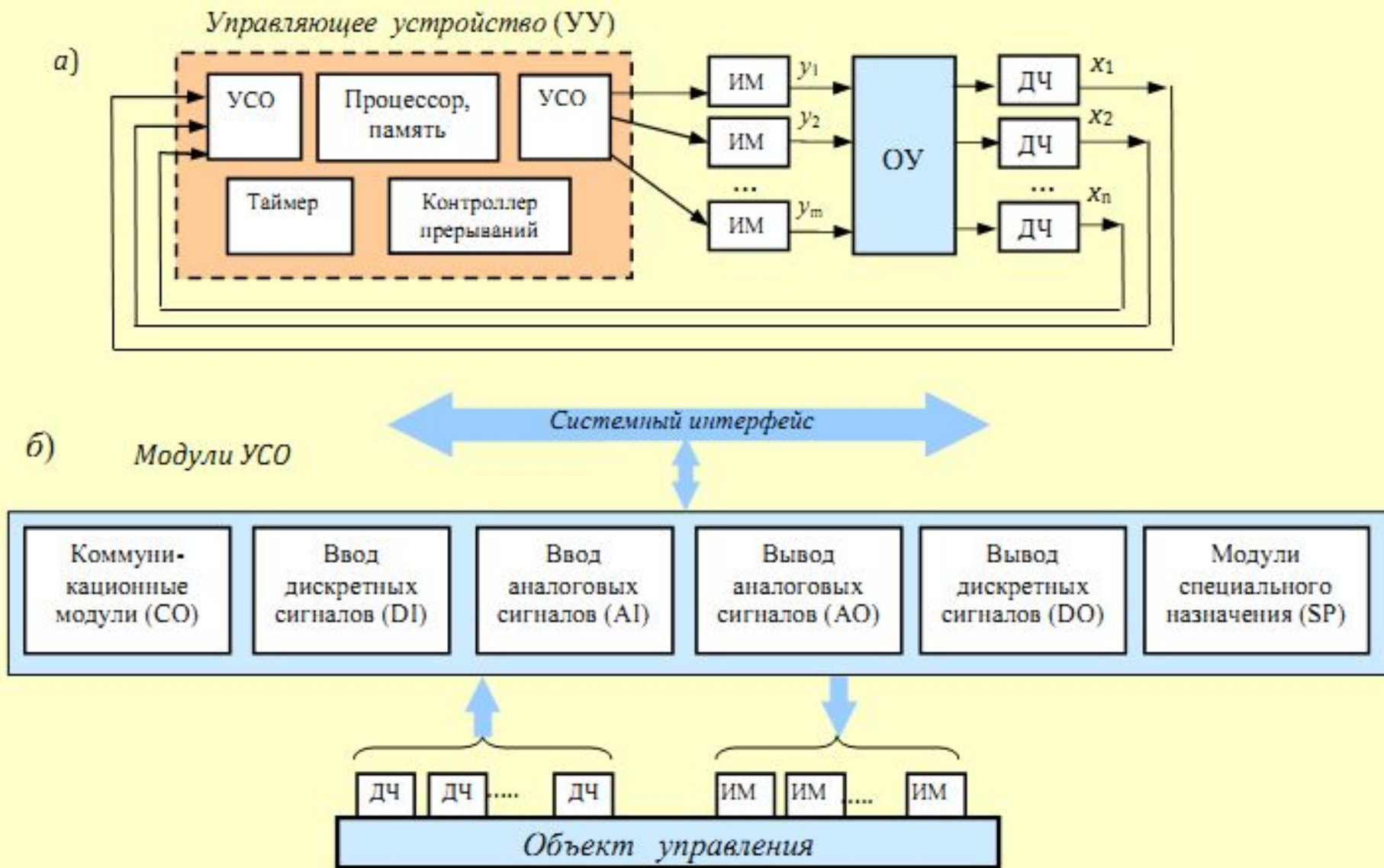


Рис. 1.9. Типовой состав и взаимодействие компонентов УВК (а), типы модулей УСО.

ДЧ – датчики; ИМ – исполнительные механизмы