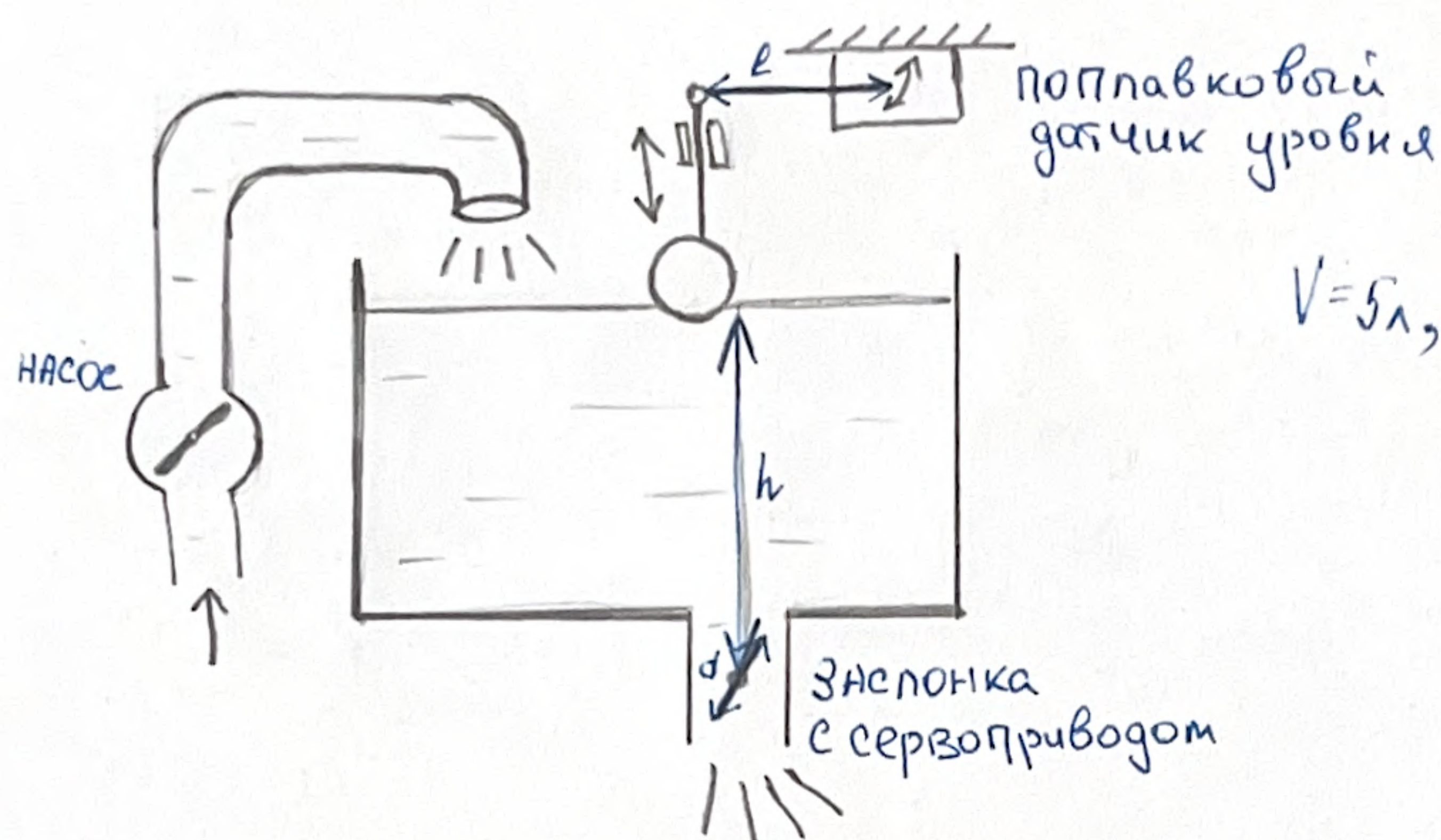


Задача 4В. Регулятор уровня шидкости

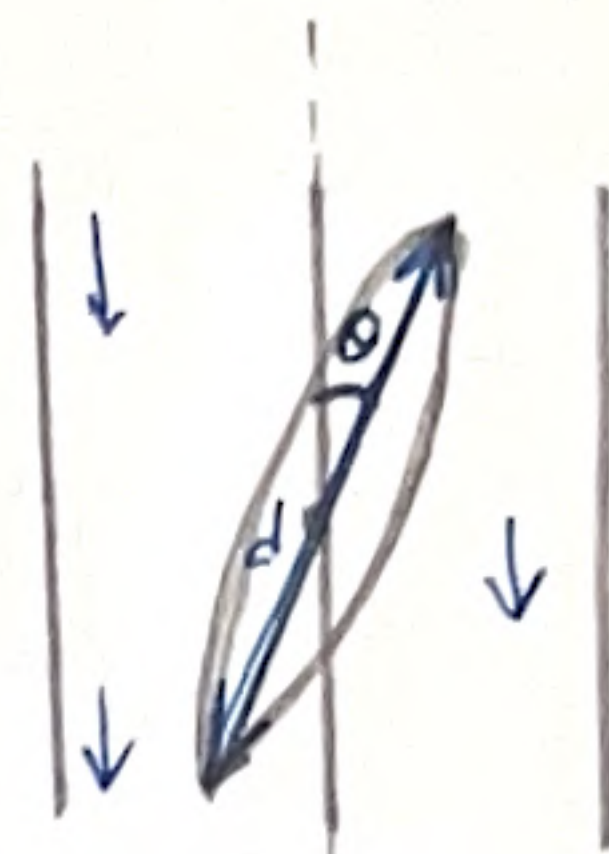


$$V=5\text{л}, h_0=0,2\text{м}, d=0,01\text{м}$$

в) Управление осуществляется регулированием положения заслонки при фиксированной производительности насоса, равной 5 л/мин. Уровень определяется по показаниям поплавкового датчика.

Модель объекта управления

- Площадь сечения бака: $S = \frac{V}{h_0} = 0,0025 \text{ м}^2$
- Площадь сечения слива: $S_0 = \frac{\pi d^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$
- Приток жидкости: $Q_{in} = 5 \text{ л/мин} = 8,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$
- Слив воды: Q_{out}



Уравнение динамики уровня: $\frac{dh(t)}{dt} = \frac{Q_{in} - Q_{out}(h, \theta)}{S}$

По закону Торричелли и Бернулли: $Q_{out}(h, \theta) = C_d S_0 \sin \theta \sqrt{2gh(t)}$

где $C_d \approx 0,6$ - коэффициент расхода $\Rightarrow \dot{h}(t) = \frac{Q_{in}}{S} - \frac{C_d S_0 \sin \theta \sqrt{2gh(t)}}{S}$

Статический режим \Rightarrow

$$\Rightarrow \frac{dh(t)}{dt} = 0 \Rightarrow \sin \theta_0 = \frac{Q_{in}}{C_d S_0 \sqrt{2gh_0}} \approx \frac{8,33 \cdot 10^{-5}}{0,6 \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,2}} \approx 0,5$$

$$\Rightarrow \theta_0 = \frac{\pi}{6} \Rightarrow \gamma_0 \approx 170$$

Линеаризация модели:

Вводим малые отклонения от рабочей точки (h_0, θ_0)

$$h(t) = h_0 + \Delta h(t), \quad \theta(t) = \theta_0 + \Delta \theta(t)$$

Разложение в ряд Тейлора

$$Q_{out} \approx Q_{out}(h_0, \theta_0) + \left. \frac{\partial Q_{out}}{\partial h} \right|_{\substack{h=h_0 \\ \theta=\theta_0}} \Delta h + \left. \frac{\partial Q_{out}}{\partial \theta} \right|_{\substack{h=h_0 \\ \theta=\theta_0}} \Delta \theta$$

Найдем частные производные

$$1) \left. \frac{\partial Q_{out}}{\partial h} \right|_{\substack{h=h_0 \\ \theta=\theta_0}} = \frac{C_d S_0 \sin(\theta_0) \sqrt{2g}}{2S\sqrt{h_0}} = \frac{Q_{in}}{2Sh_0} = a \approx 0,0083 \text{ с}^{-1}$$

$$2) \left. \frac{\partial Q_{out}}{\partial \theta} \right|_{\substack{h=h_0 \\ \theta=\theta_0}} = \frac{C_d S_0 \cos(\theta_0) \sqrt{2gh_0}}{S} = b \approx 0,0014 \frac{\text{м}}{\text{с} \cdot \text{рад}}$$

$$\Rightarrow \frac{d\Delta h}{dt} = -a\Delta h - b\Delta \theta = -0,0083\Delta h - 0,0014\Delta \theta$$

$$\Rightarrow \text{т.к. } S \equiv \frac{d}{dt} \Rightarrow S\Delta h(s) = -a\Delta h(s) - b\Delta \theta(s) \Rightarrow \Delta h(s) = \frac{-b}{s+a} \Delta \theta(s)$$

$$\Rightarrow W(s) = \frac{\Delta h(s)}{\Delta \theta(s)} = \frac{-0,0014}{s + 0,0083}; \quad T_1 = \frac{1}{0,83 \cdot 10^{-2}} \approx 120,5 \text{ с}$$

Модель чувствительного устройства (Потенциометр + АЦП)

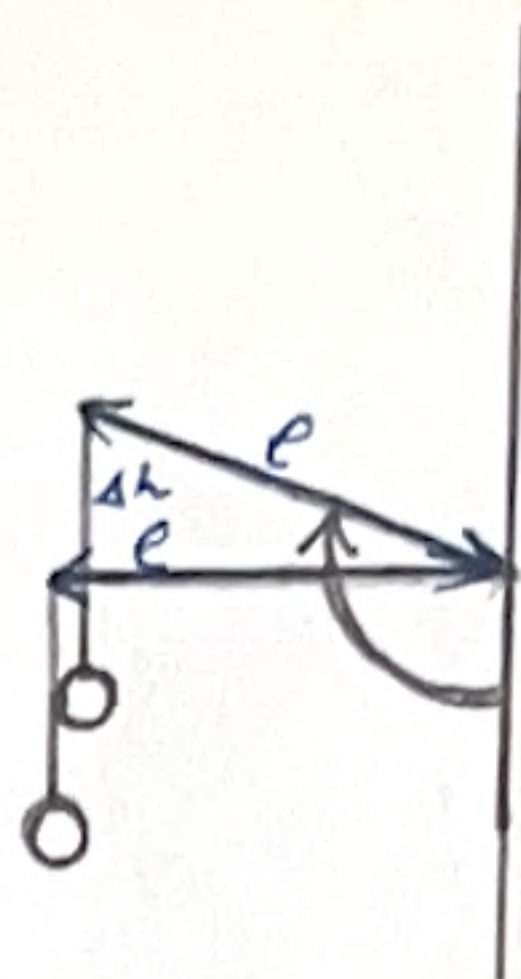
1) Потенциометр

$$U_q = \frac{q}{\pi} U_{ADC}$$

$$q = 0 \Rightarrow U_q = 0$$

$$q = \pi \Rightarrow U_q = U_{ADC} = 5 \text{ В}$$

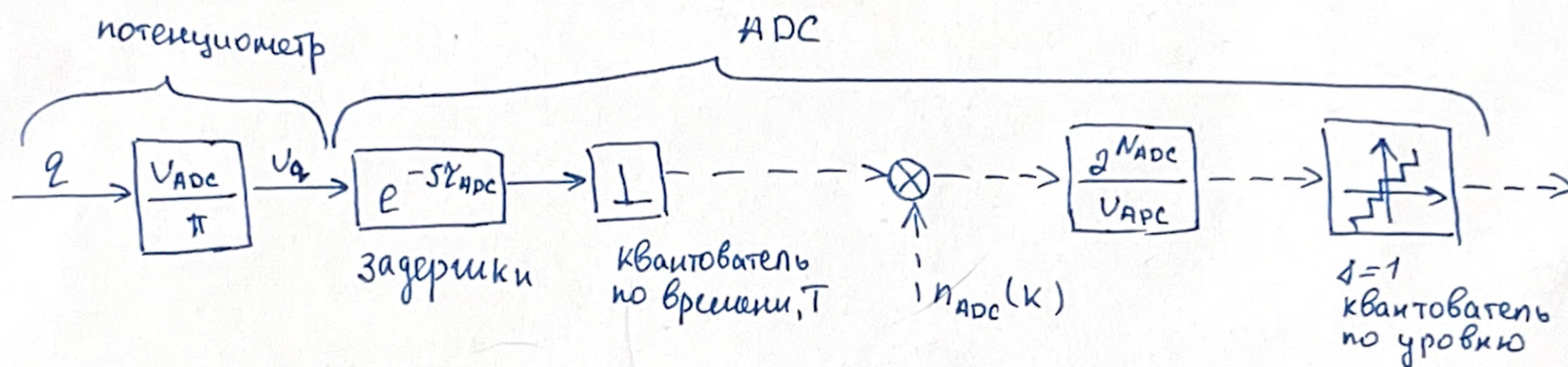
$$q = \arctg\left(\frac{h(t) - h_0}{L}\right) + \frac{\pi}{2}, \text{ где } L = 0,1 \text{ м} - \text{расстояние от шмотка до оси датчика}$$



2) АЦП

$$U_q(t) \xrightarrow{\text{ADC}} \tilde{q}[kT]$$

$$\tilde{q}[kT] = \underbrace{\text{round}}_{\text{КВАНТОВАНИЕ}} \left(\underbrace{2^{N_{ADC}}}_{\text{задержка}} \left[\underbrace{U_q(kT)}_{\text{шум}} - \underbrace{\hat{U}_{ADC}}_{\text{шум}} \right] - \underbrace{n_{ADC}(k)}_{\text{шум}} \right)$$

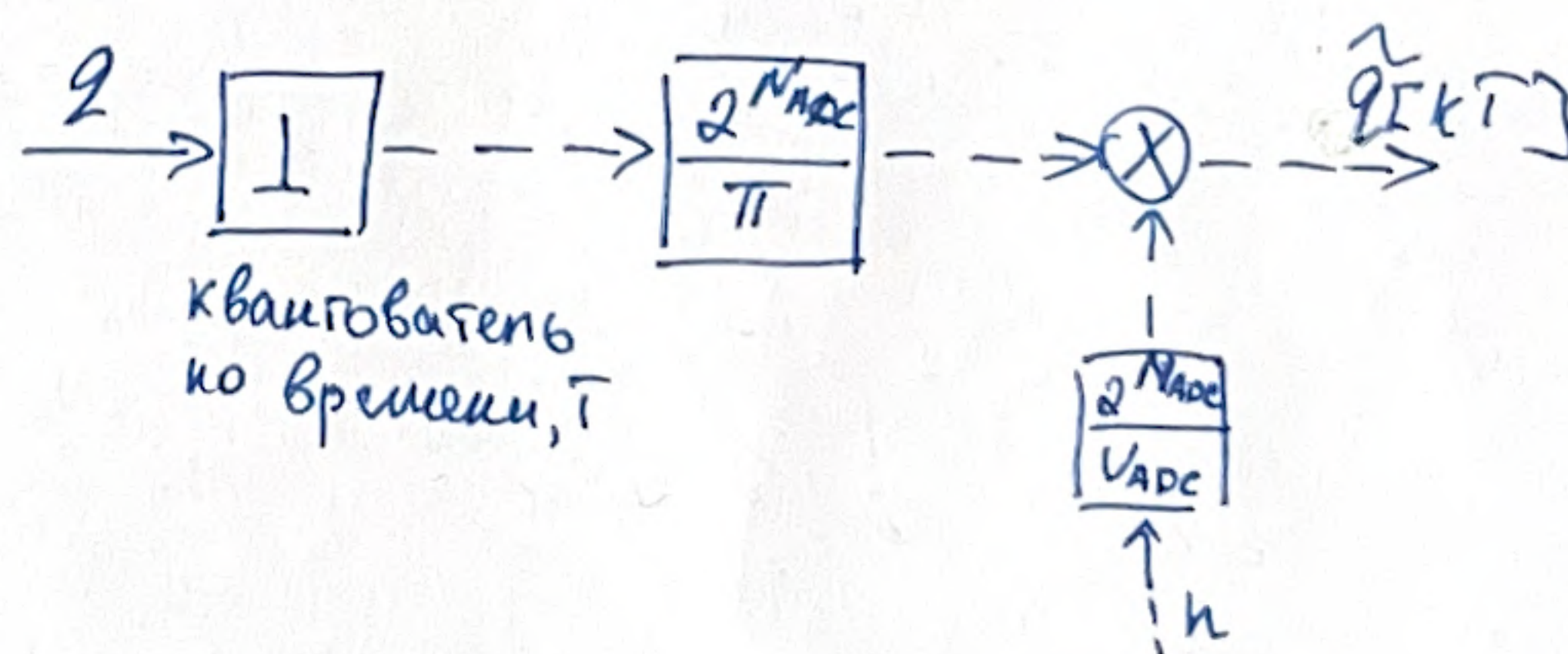


$$T_{ADC} = \frac{\text{длит. прсобр.}}{\text{частота Мк}} = \frac{1664}{16 \cdot 10^6} = 104 \text{ мкс}$$

$$N_{ADC} = 10 \text{ бит} - \text{разрядность АЦП}$$

$$U_{ADC} = 5 \text{ В}, \quad \delta(U_{ADC}) = 0,05 \text{ В}$$

Линеаризованная модель



Модель исполнительного устройства.

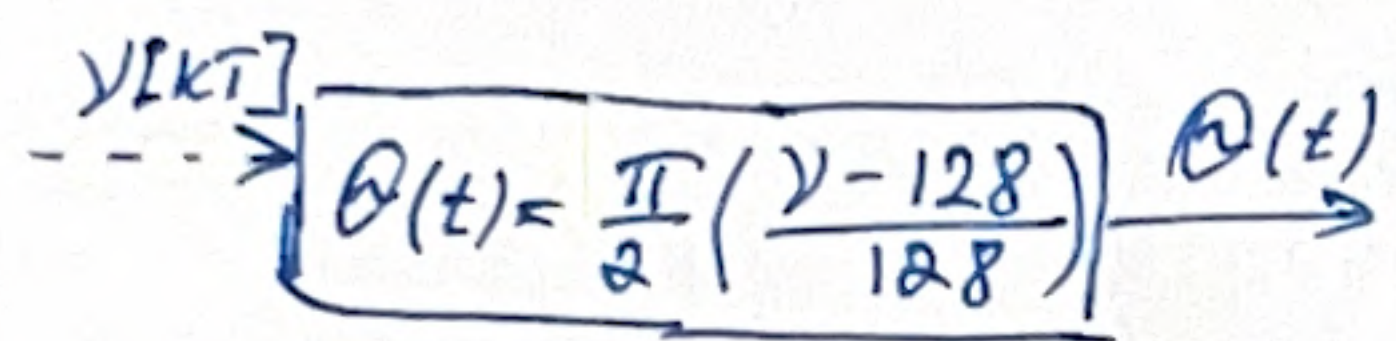
Исполнительным устр. явл. дроселирующая заслонка, снабженная сервоприводом, управляемым по позиции.

$$V \in [0, 256] \quad \theta = \frac{\pi}{2} \frac{(V-128)}{128}$$

V передается сервоприводу в виде ASCII команд, передаваемых по серийному протоколу со скоростью $9600 \text{ кбит/с} = 9830400 \text{ бит/с}$

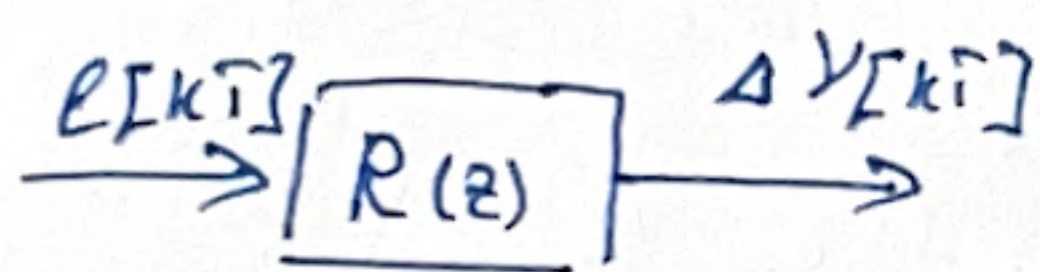
Команда сервоприводу заслонки $"Snn Pxxx ln" - 72 \text{ бит}$

$$T_{\text{ршн}} = 7,3 \text{ мкс}$$



Модель преобразования устройства.

$R(z)$ - дискретная ПЧ; T - период дискретизации

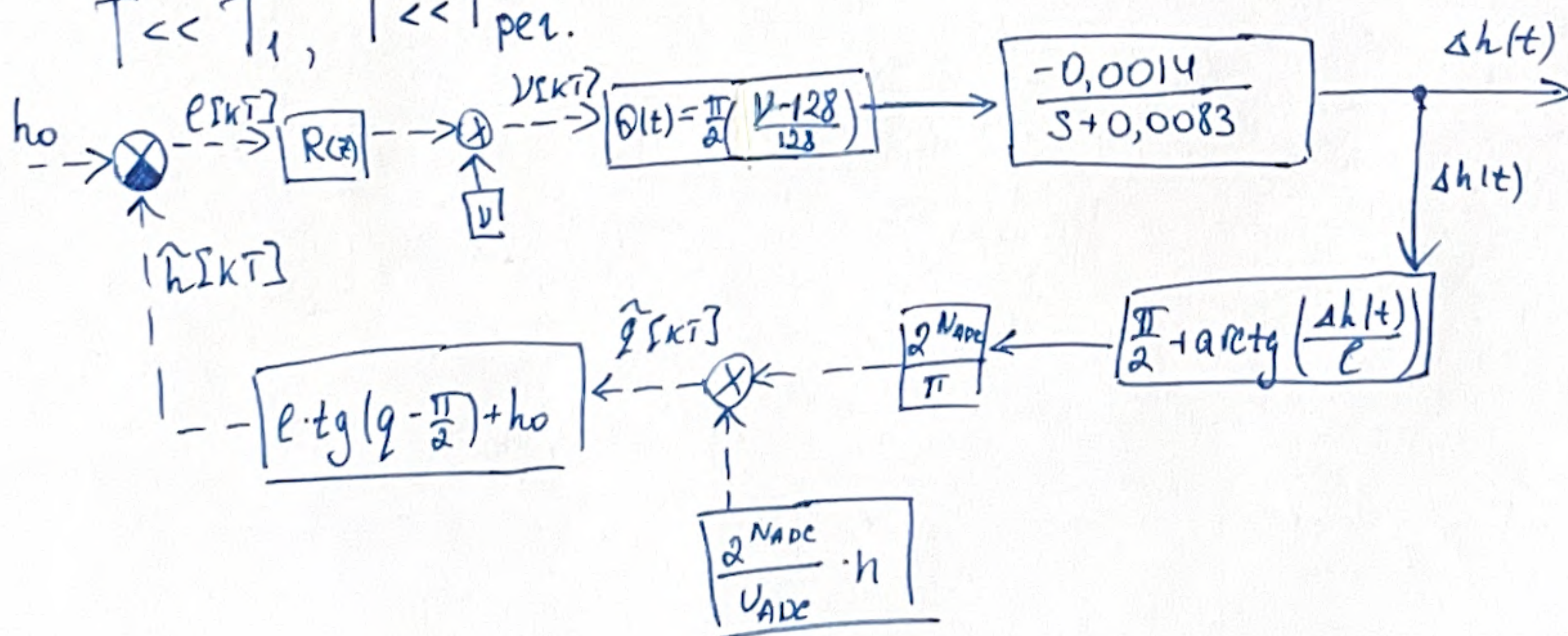


Работаем с отклонением

$$V[kT] = V_0 - \tilde{V}[kT]$$

$$\Delta V[kT] = V[kT] - V_0$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T > T_{\text{АДС}} = 104 \text{ мкс} \\ T > T_{\text{ршн}} = 7,3 \text{ мкс} \\ T < T_1 = 120,5 \text{ с} \end{array} \right. \Rightarrow T = 0,64 \text{ мс}$$



Синтез регулятора

$$W(s) = \frac{-b}{s+a} = \frac{-0,0014}{s+0,0083}$$

$$R(s) = K_p \text{ (П-регулятор)}$$

$$\tilde{W}(s) = \frac{W(s) \cdot R(s)}{1 + W(s) \cdot R(s)} = \frac{\frac{-0,0014}{s+0,0083} \cdot K_p}{1 + \frac{-0,0014 \cdot K_p}{s+0,0083}} = \frac{-0,0014 K_p}{s+0,0083 - 0,0014 K_p}$$

Получим: $s + \lambda$, где $\lambda = \frac{\zeta_p}{T_{пер.}} = 0,3$.

$$\Rightarrow 0,0083 - 0,0014 K_p = 0,3 \Rightarrow K_p = \frac{0,3 - 0,0083}{-0,0014} = -208$$