

**Механическое аккумулирование  
энергии (гидроаккумулирующая  
электростанция).**

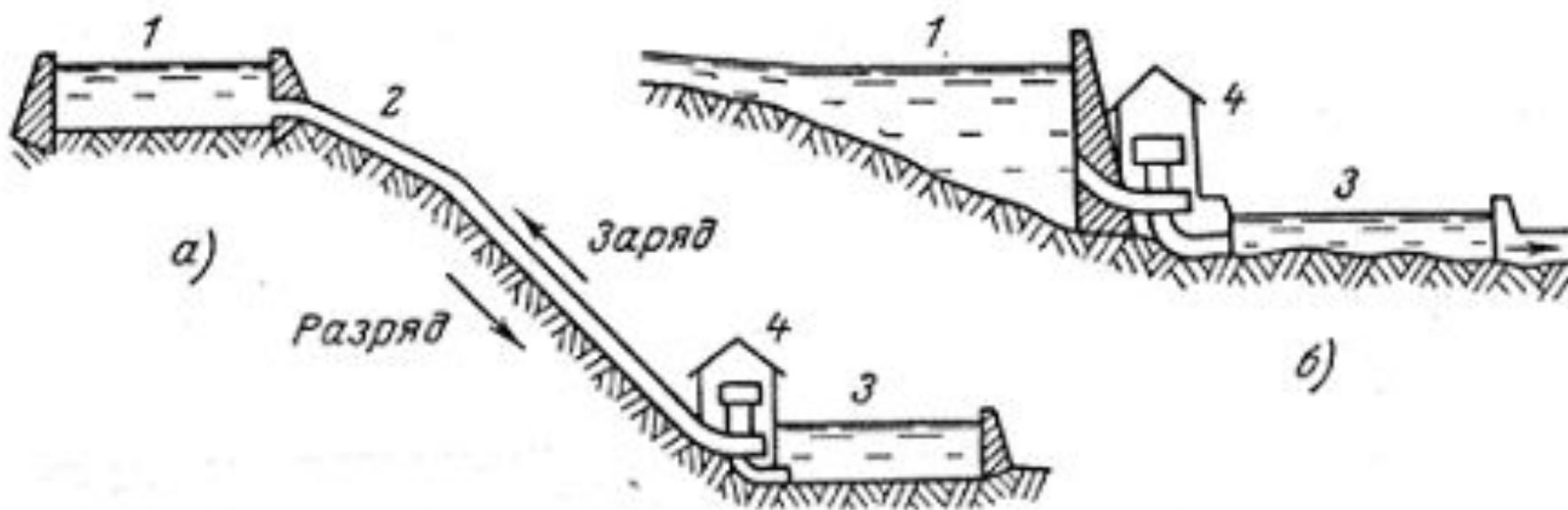
# Механическое аккумулирование энергии

## 1. Гидравлический аккумулятор.

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) состоит из двух емкостей расположенных на разных геометрических высотах и соединенных трубопроводом.

Гидроаккумулирующие электростанции разделяют на ГАЭС:

- чистого аккумулирования,
- смешанного типа (ГЭС-ГАЭС).



а – ГАЭС, б – ГЭС-ГАЭС

Энергия  
аккумуляции

$$E = V\rho gH$$



КПД аккумуляции

$$\eta_{\text{ГАЭС}} = \frac{E_{\text{турб}}}{E_{\text{насоса}}} = \frac{gV(H - h_{\text{дл}})\eta_{\text{T}}}{gV(H + h_{\text{дл}})/\eta_{\text{H}}} = \frac{H - h_{\text{дл}}}{H + h_{\text{дл}}}\eta_{\text{T}}\eta_{\text{H}} = \eta_{\text{Г}}\eta_{\text{T}}\eta_{\text{H}}$$

$$h_{\text{дл}} = \lambda \frac{l v^2}{d 2g} = \lambda \frac{l}{d^5} \frac{8V^2}{g\pi^2 T^2}$$

$$\eta_{\Gamma} = \frac{1 - \lambda \frac{l}{Hd^5} \frac{8V^2}{g\pi^2 T_{\text{разр}}^2}}{1 + \lambda \frac{l}{Hd^5} \frac{8V^2}{g\pi^2 T_{\text{заряд}}^2}}$$

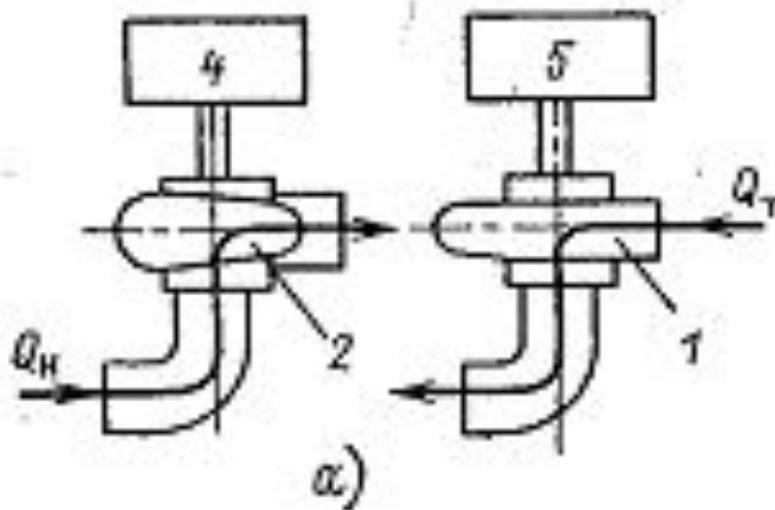
Мощность выдаваемая ГАЭС

$$N_{\text{турб}} = gG_{\text{турб}} (H - h_{\text{дл}}) \eta_{\Gamma}$$

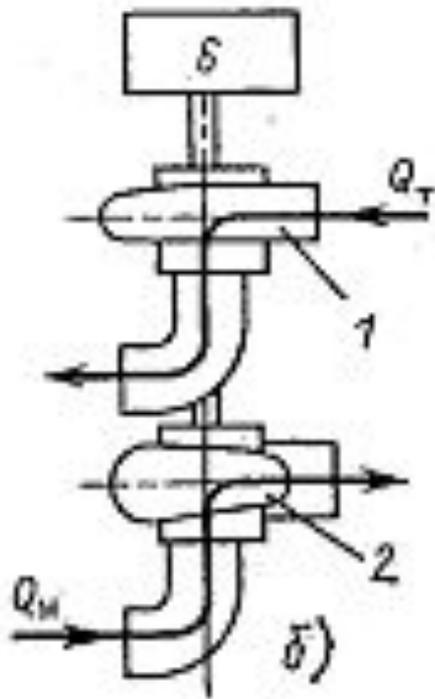
# Принципиальные схемы гидросилового оборудования

По количеству машин ГАЭС разделяют:

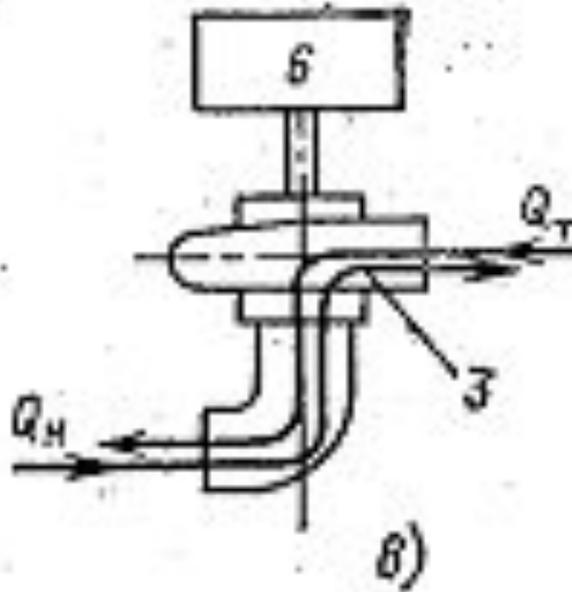
- четырехмашинная схема – насос, гидротурбина, генератор, электродвигатель



- трехмашинная схема – насос (центробежный), гидротурбина (ковшовая или радиально-осевая), обратимая электрическая машина



- двухмашинная схема – обратимая гидромашина (поворотно-лопастная, радиально-осевая, диагональная), обратимая электрическая машина



## **Продолжительность цикла аккумуляции ГАЭС:**

- суточное регулирование (разрядка – 4-5 часа, зарядка – 6-8 часов).
- недельное регулирование,
- сезонное регулирование,

# Компоновка ГАЭС с подземным бассейном

Достоинства:

1. Позволяют достигать высоких напоров 1000-1500 м.

$$E_{уд} = \left( \frac{5150}{H} + \text{руб/кВт} \cdot 0,7 + 0,7 \right),$$

$T$  – срок службы.

2. Снижают размеры отчуждения земель.

## Недостатки:

1. Требуется наличие прочных подземных пород (Балтийский щит южнее г. Минска).
2. Требуется строительство подземных зданий ГАЭС.

# Инерционный аккумулятор

Кинетическая энергия вращающегося тела равна

$$E = I\omega^2 / 2$$

Маховики инерционных аккумуляторов могут быть двух типов:

- в виде диска  $I = mr^2 / 2$
- в виде обруча  $I = mr^2$

Максимальная скорость вращения маховика ограничена разрывающими центробежными силами

$$\omega_{\max} = \sqrt{\sigma / (\rho r^2)}$$

Тогда максимальная плотность энергии, запасаемая однородным диском

$$E_{\max} = m \cdot r^2 \omega_{\max}^2 / 4 = m \cdot \sigma / (4\rho) = V \cdot \sigma / 4$$

Удельная массовая плотность энергии стального диска – около 0,03 МДж/кг, стеклокомпозитных материалов – около 0,5 МДж/кг.

## Преимущество инерционных аккумуляторов:

- простота изготовления,
- требуют значительно меньший срок подзарядки, чем другие аккумуляторы,
- экологически безопасные.

## Недостатки:

- значительная стоимость из-за жестких требований к изготовлению,
- представляют значительную физическую опасность.

### 3. Пневматический аккумулятор

Аккумуляторы со сжатым газом нашли широкое применение в газотурбинных установках и на выходе компрессионных установок.

Запасенную энергию при сжатии идеального газа можно рассчитать по уравнению

$$E = \int_{V_2}^{V_1} p dV = nRT \int_{V_2}^{V_1} \frac{dV}{V} = p_1 V_1 \ln(p_1 / p_2)$$

## Недостатки:

- высокая стоимость,
- низкий КПД зарядки и разрядки.