



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Cooperation Office in the Kyrgyz Republic
Кыргыз Республикасындагы Кызматташтык боюнча Швейцариялык Бюро
Швейцарское Бюро по сотрудничеству в Кыргызской Республике



European Bank
for Reconstruction and Development



Empowered lives.
Resilient nations.

Микро гидроэлектростанции

Торопов Михаил,
к.т.н.,
доцент кафедры НВИЭ КРСУ,
ЦРВИЭЭ

Тренинг Центра развития ВИЭ и
энергоэффективности

Бишкек, 27 -30 апреля 2013

ЦРВИЭЭ, www.creeed.net, 2013

Содержание

- Энергия водного потока
- Физические основы и принципы использования энергии воды
- Основное уравнение гидроэнергетики
- Методы определения расхода и напора воды
- Схемы создания напора
- Гидротехнические сооружения микро и малых ГЭС
- Базовые понятия электротехники и электроэнергетики
- Определение расчетной мощности автономного потребителя

Проблемы проектирования и эксплуатации микроГЭС

- Как правильно определить необходимую мощность мкГЭС?
- Как организовать водозабор? (борьба с наносами и зимними затруднениями)
- Как подобрать оборудование?
- Как осуществлять обслуживание и ремонт?
- Нет организаций, которые занимались бы проектированием, обслуживанием и ремонтом (обучением).

Гидроэлектростанция – это комплекс сооружений и оборудования, при помощи которых осуществляется концентрация водной энергии и ее преобразование в механическую, а затем в электрическую

Микрогидроэлектростанция (микроГЭС или мкГЭС) – это гидроэлектростанция мощность которой не превышает 100 кВт

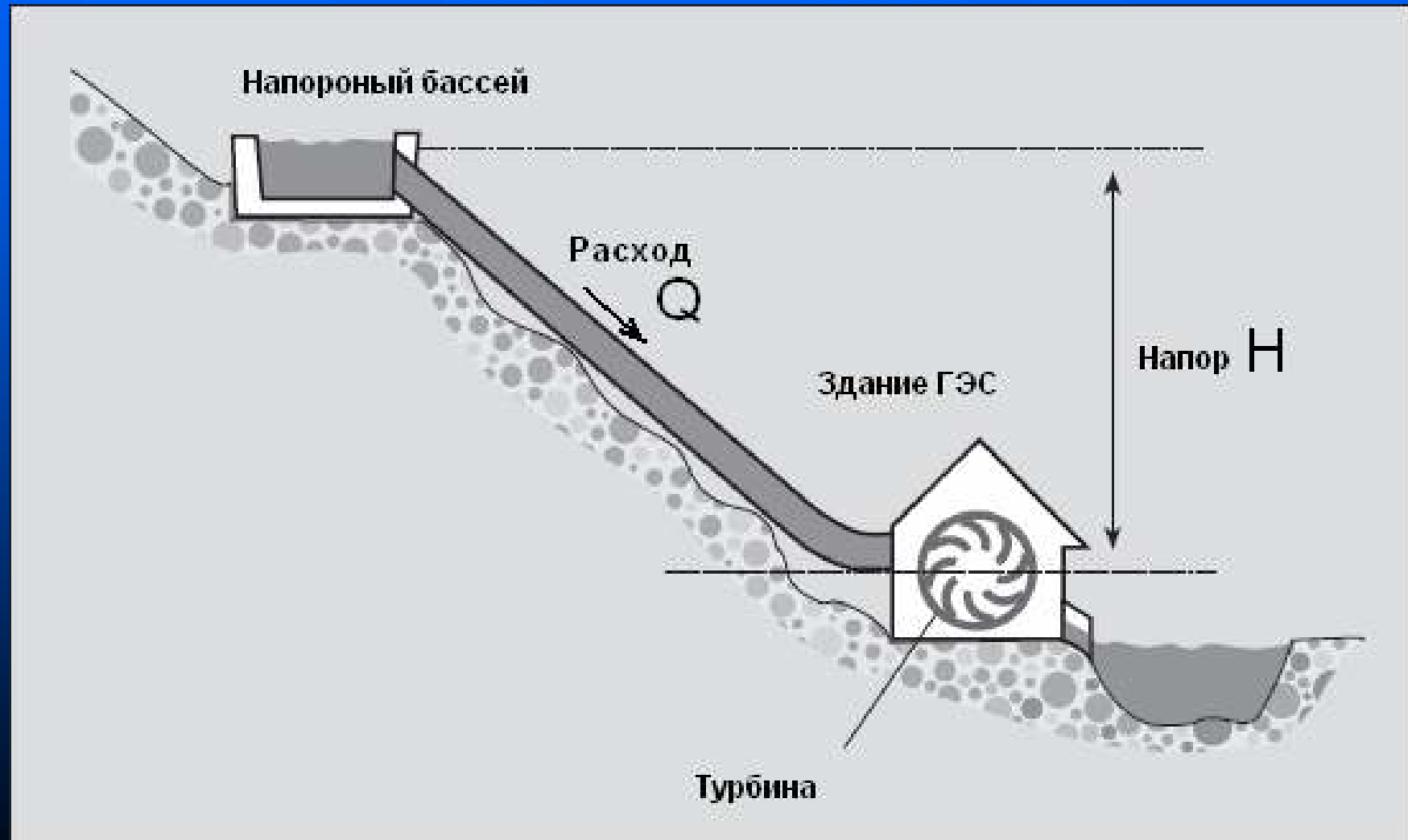
Возобновляемая энергия воды

Круговорот воды в природе



Основным источником гидравлической энергии являются поверхностные речные воды.

Мощность потока воды определяется выражением
Мощность(кВт) = ускорение свободного
падения(м/с^2)*расход($\text{м}^3/\text{с}$)*напор(м)
 $N = gQH$



Получим базовые уравнение (формулу) гидроэнергетики, исходя из следующих данных:

Пусть W объем воды, падающий на лопасти турбины за время t с высоты H .

Плотность воды $\rho=1000$ кг/м³, тогда масса падающей воды

$$m=W \cdot \rho,$$

теряемая водой энергия

$$\mathcal{E}=W \cdot \rho \cdot H \cdot g,$$

где g - ускорение свободного падения.

H - высота падения жидкости или **напор**.

Разделив энергию $\mathcal{E}$ на время t , получим среднюю мощность N потока воды

$$N = \mathcal{E}/t = W \cdot \rho \cdot H \cdot g/t = \rho \cdot H \cdot g \cdot Q, [\text{Вт}]$$

где $Q = W/t$ – расход воды, т.е. ее объем, проходящий через поперечное сечение водотока за единицу времени.

Полученное выражение является базовым уравнением гидроэнергетики.

Полученные выражения для энергии и мощности соответствуют известным физическим положениям о том, что энергия в любой форме пропорциональна произведению факторов экстенсивности и интенсивности. В данном случае напор H является фактором интенсивности или показателем энергоёмкости жидкости, объем воды W или расход Q -фактором экстенсивности или количественным показателем потребления энергоресурса

Целью гидроэнергетической установки является преобразование энергии воды в механическую и электрическую.

Гидроэлектростанция представляет собой комплекс сооружений и оборудования, при помощи которых осуществляется концентрация водной энергии и ее преобразование в электрическую. Концентрация водной энергии заключается в сосредоточении перепада отметок реки в створах удобных для строительства ГЭС.

Местоположение ГЭС должно обеспечивать высокий расход и напор. Обычно для этого требуется годовой уровень осадков не менее 400 мм, выпадающий достаточно регулярно на реках с дождевым и снеговым питанием, либо достаточный запас воды при таянии ледников в реках с ледниковым и смешанным питанием.

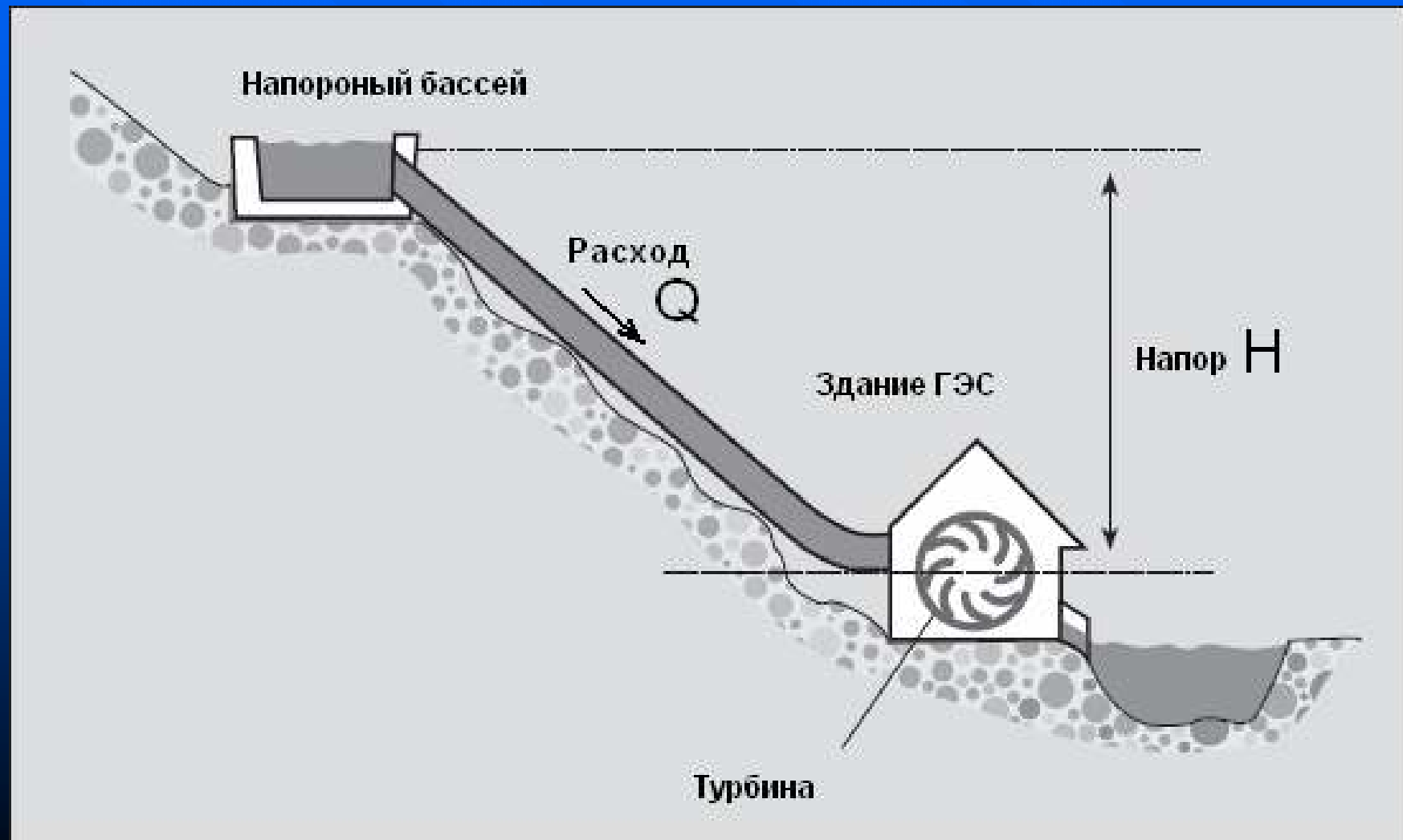
Реальная мощность потока у турбины будет несколько меньшей, чем теоретическая, определенная по формуле, т.к. остаточный напор на входе в турбину ($H_{\text{нетто}}$) меньше геометрического напора ($H_{\text{брутто}}$) равного разности отметок уровня воды в водохранилище и уровня нижнего бьефа (НБ) на величину гидравлических потерь (сопротивлений). Мощность на выходе турбины и генератора будет еще меньше.

Бьеф (фр. *bief*) — часть реки, канала, водохранилища или другого водного объекта, примыкающая к гидротехническому сооружению.

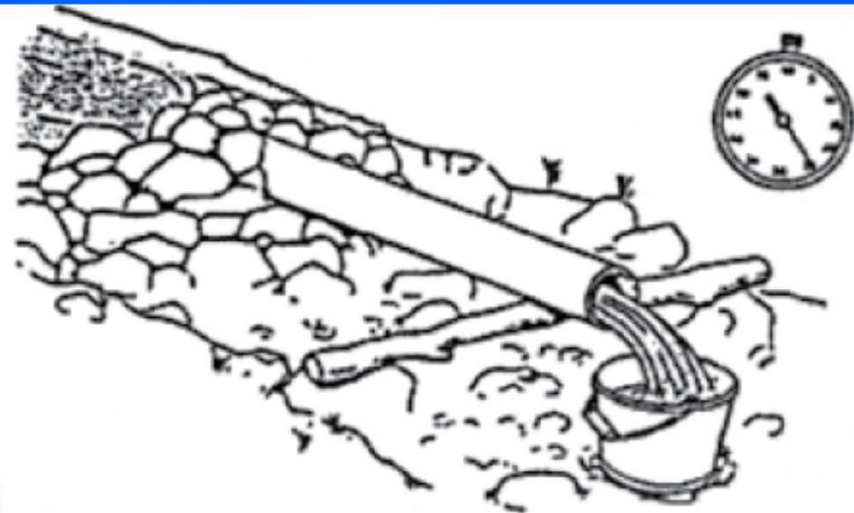
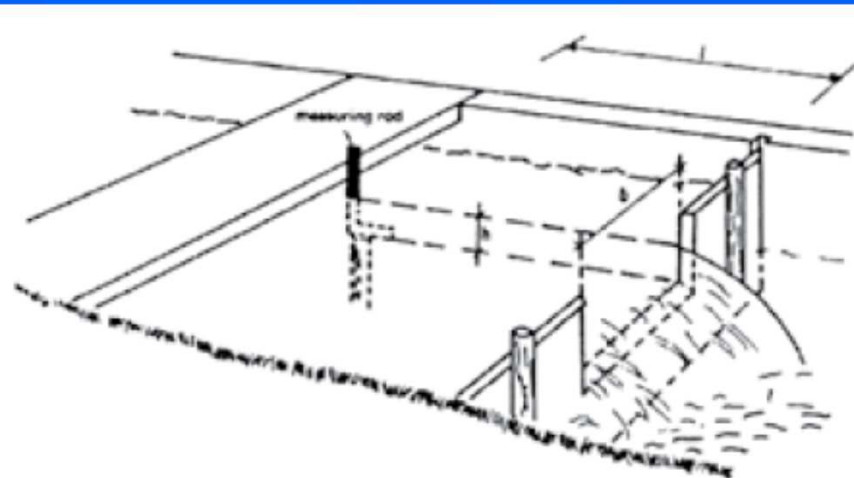
К сооружениям, у которых могут быть бьефы, относятся плотина, шлюз, гидроэлектростанция и другие.

Существуют *верхний* бьеф, располагаемый выше по течению, и *нижний*, располагаемый по другую сторону гидротехнического сооружения. Верхним бьефом часто является водохранилище.

Мощность потока воды определяется выражением
Мощность(кВт) = ускорение свободного
падения(м/с^2)*расход($\text{м}^3/\text{с}$)*напор(м)
 $N = gQH$ (кВт)



Методы определения расхода и напора воды



a)

b)

Chart the cross-sectional area at both ends. The average cross-sectional area is A_{mean}

Stop watch to measure time taken (t) by float to travel distance L

Use sections or count squares to estimate the cross-sectional area

Average velocity (V_{mean})

B)

Методы определения расхода и напора воды

Для энергетики важен минимальный (меженный) расход водотока, чтобы рассчитанные по нему турбины работали круглый год в нормальном режиме. Обычно, по нормам проектирования это расход 75% обеспеченности реки. Однако необходимы данные по максимальному и по среднегодовому расходу и соответствующие отметки воды в верхнем и нижнем бьефах.

Методы определения расхода воды

Различают
основной,
модифицированный и
расчетный
методы измерения расхода.

Основной (объемный) метод применяется на малых водотоках (особенно для водопадов) и заключается в том, что весь поток перекрывается дамбой, а затем направляется в резервуар известного объема W . Засекая время наполнения этого резервуара, можно определить расход по формуле:

$$Q=W/t$$

Методы определения расхода воды

Модифицированный метод состоит в определении скоростей потока поверхностными поплавками. Сюда также входит метод измерения расхода при помощи мерных водосливов (треугольного Томсона, прямоугольного или трапецеидального Чиполетти, Иванова).

Методы определения расхода воды

Расход через водослив определяется по общей формуле

$$Q = \mu b (2gH^3)^{1/2}$$

Например, для треугольного водослива Томсона с треугольным вырезом формула расхода имеет вид:

$$Q = 1,4 H^{2,5}$$



Водослив Томсона

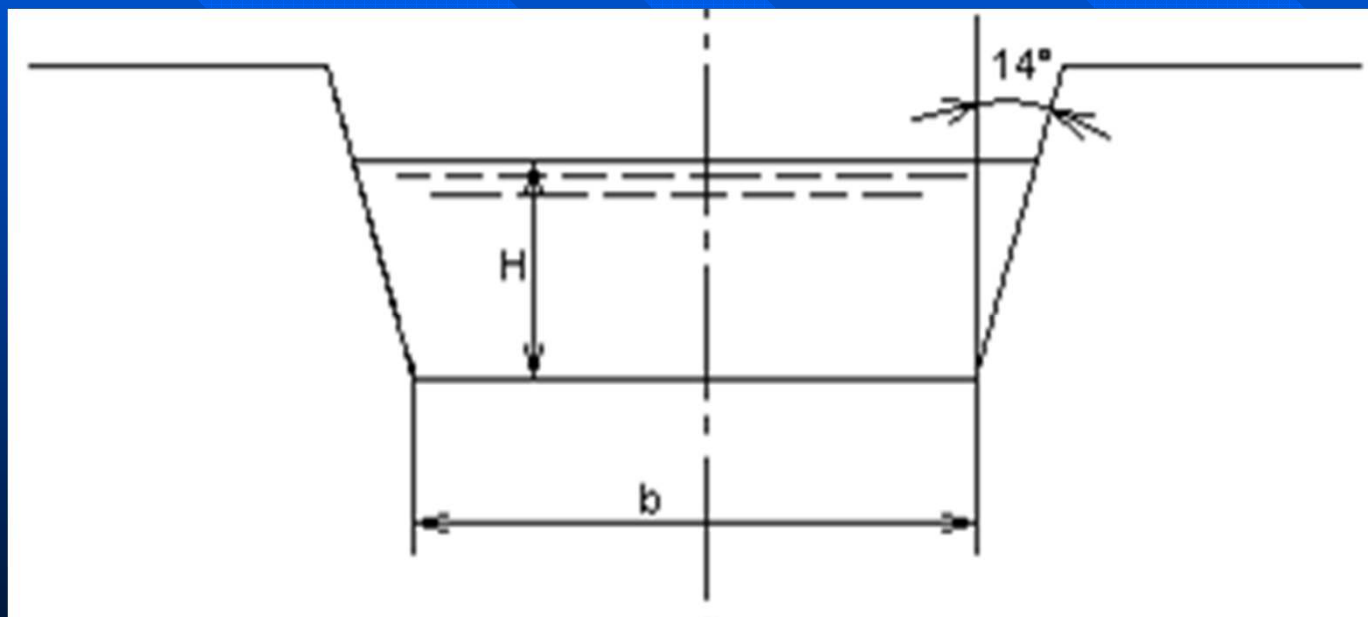
Методы определения расхода воды

Расход через водослив определяется по общей формуле

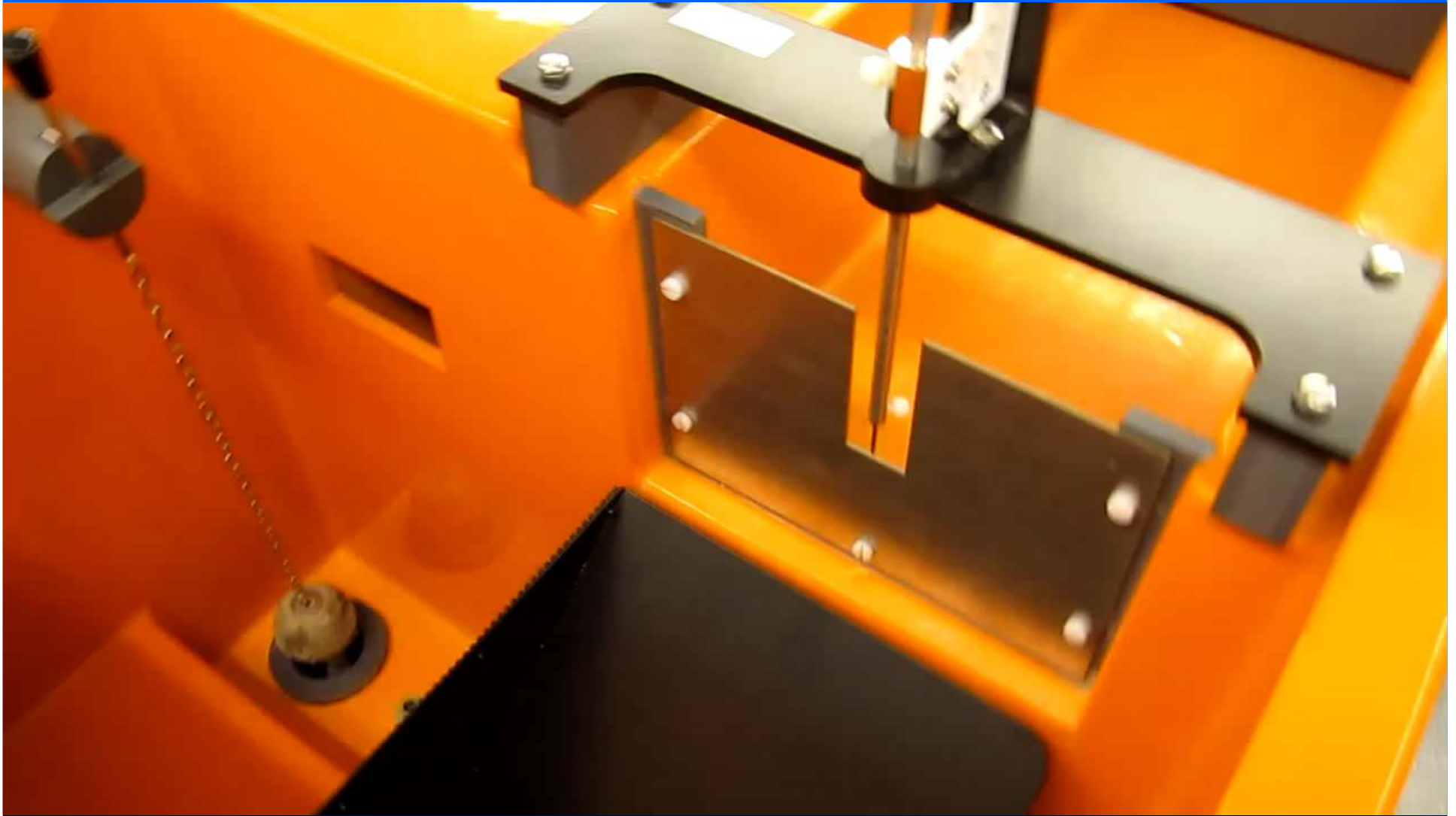
$$Q = \mu b (2gH^3)^{1/2}$$

Например, для водослива Чиполетти формула расхода имеет вид:

$$Q = 1,86 b H^{3/2}$$



Трапецеидальный водослив Чиполетти

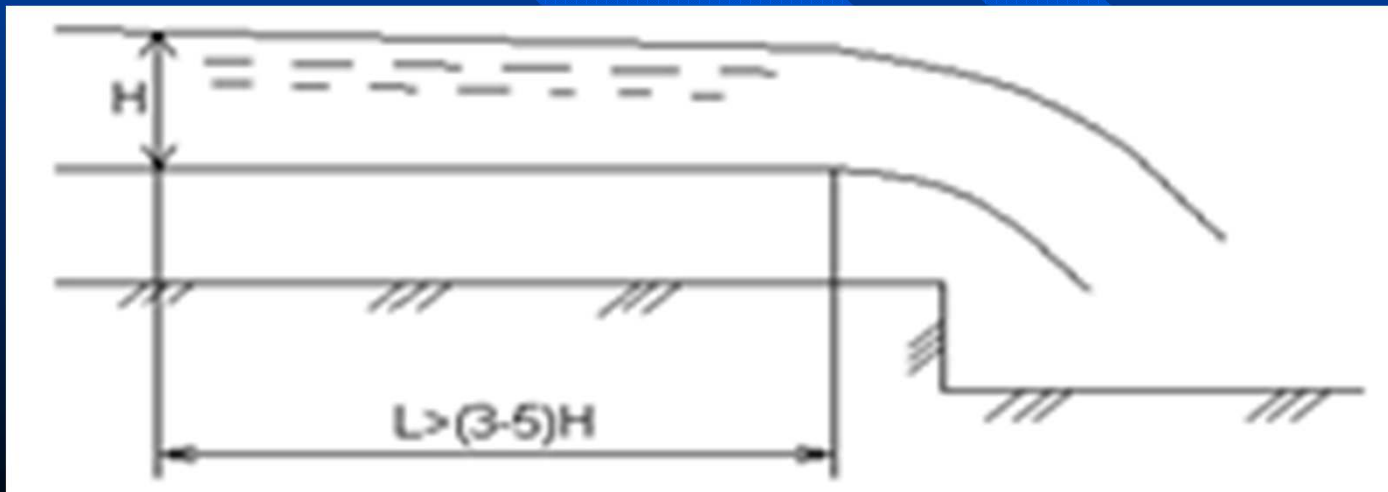


Методы определения расхода воды

Требование к руслу при определении расхода водосливами

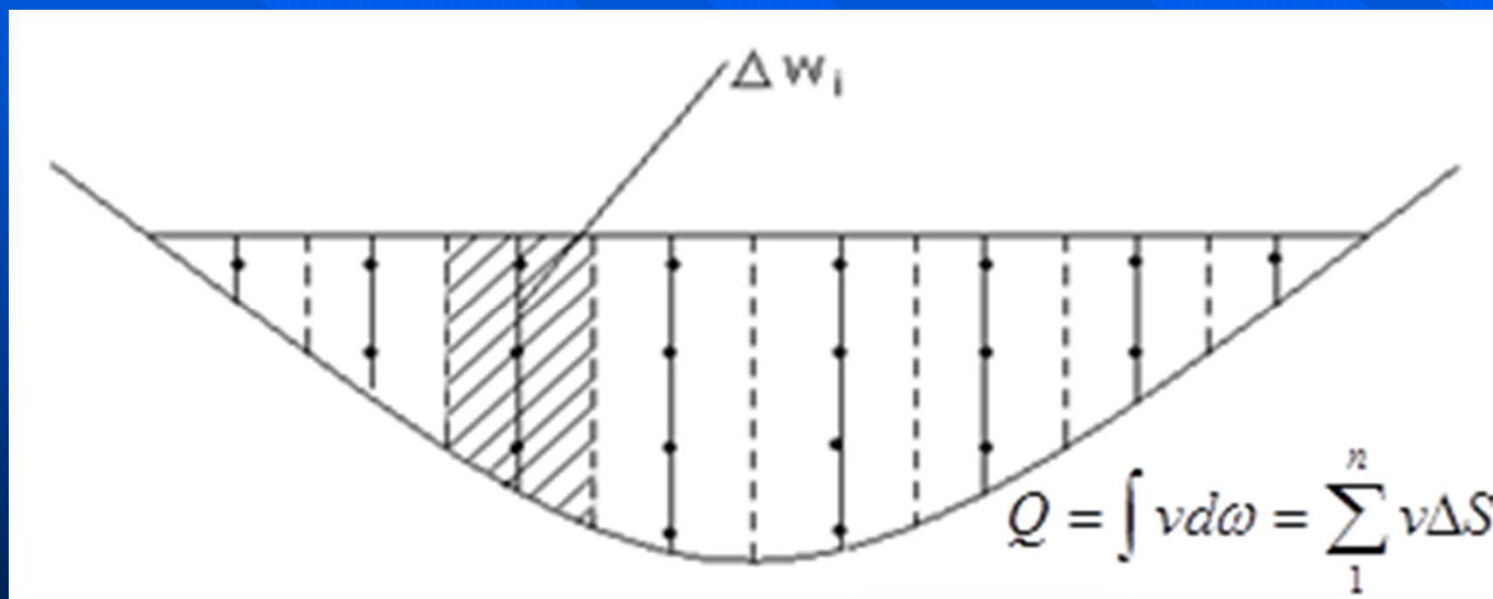
Существует множество дополнительных требований для определения расхода воды мерными водосливами с заданной точностью. Среди них основными являются:

1. Мерный водослив должен быть неподтопленным;
2. На подходе к водосливу поток должен иметь спокойный характер;
3. Напор на водосливе измеряется на таком удалении, чтобы не влияла кривая спада;
4. Участок русла на подходе к водосливу должен быть прямолинейен, чтобы не было сбоя потока. и т.д.



Методы определения расхода воды

Расчетный метод определения расхода является наиболее распространенным. Таковым является метод «площадь * скорость». В нем поперечное сечение водотока разбивается мерными вертикалями, на которых в нескольких точках измеряется скорость, а также площадь между вертикалями.



Расчетный метод «площадь * скорость» определения расхода

Методы определения расхода воды

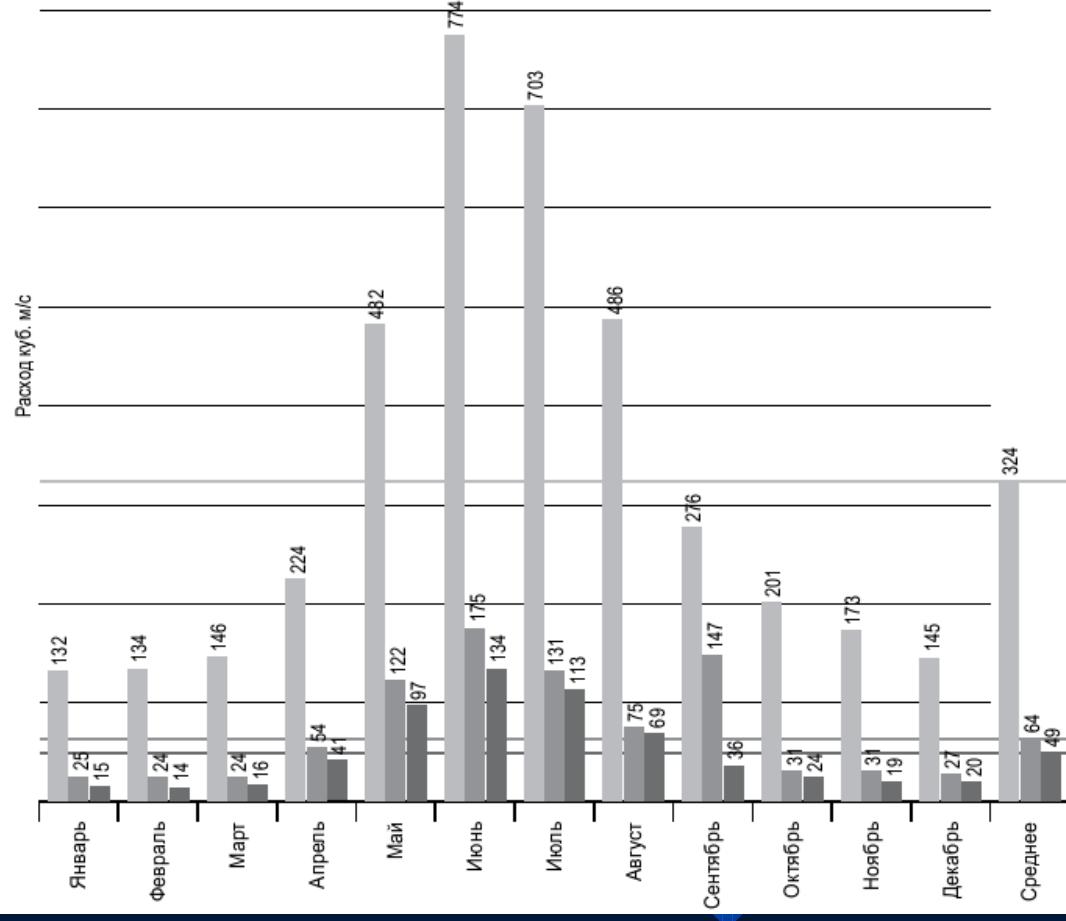


Методы определения расхода и напора воды



Методы определения расхода и напора воды



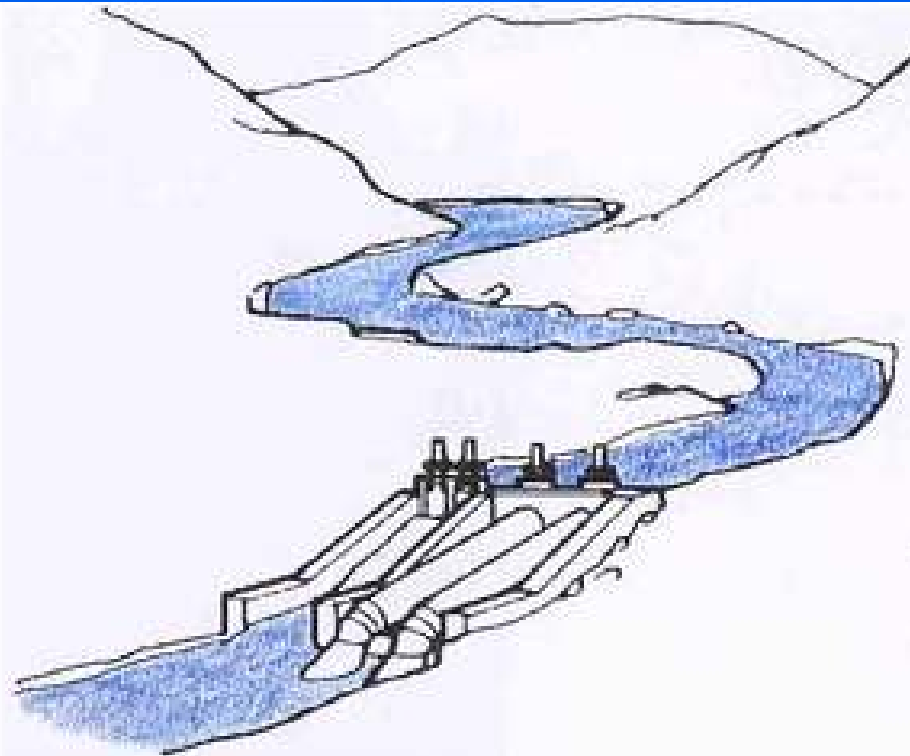


Для того, чтобы создать напор H используются различные

Схемы создания напора



деривационная



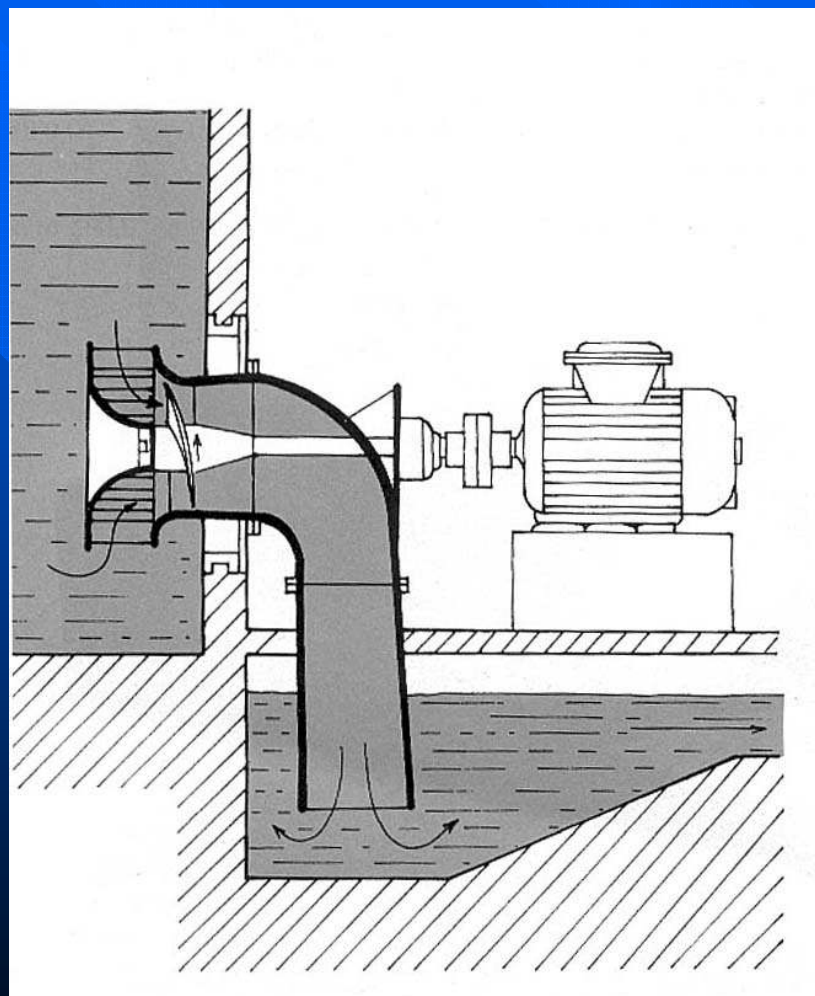
плотинная

Плотинная схема создания напора (за счет строительства большой плотины)

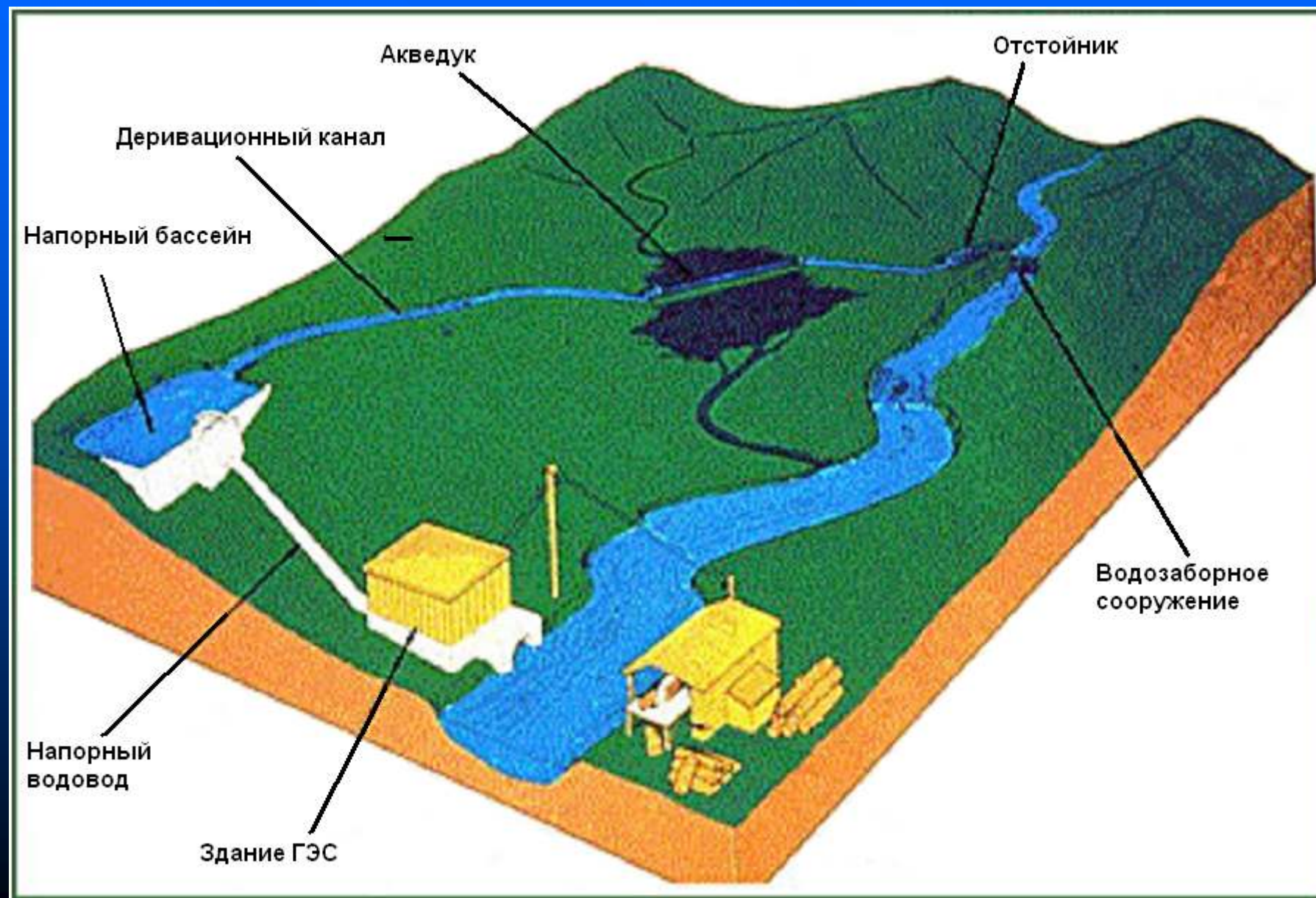


Плотинная схема создания напора

(можно использовать существующие сооружения при строительстве мкГЭС)



Деривационная схема создания напора



ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ МАЛЫХ ГЭС

■ 1. Плотинная схема.

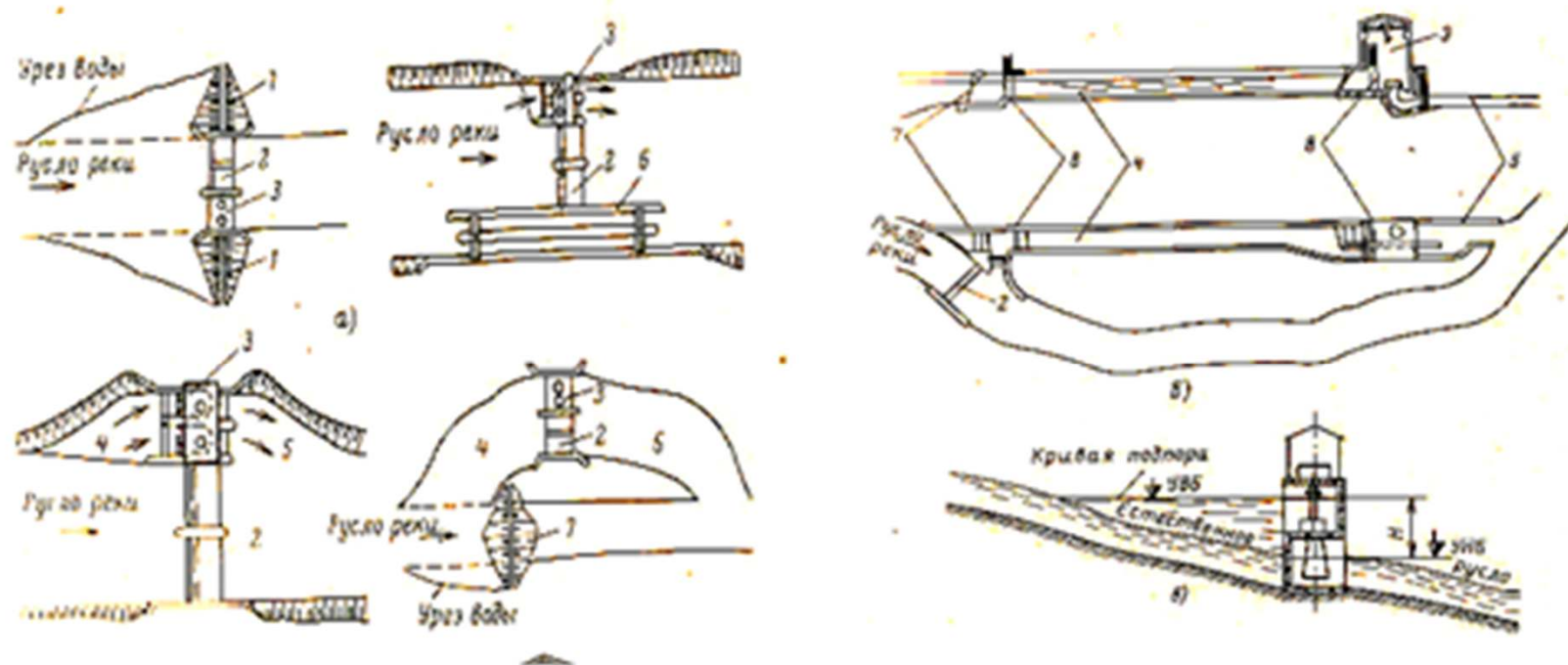


Рис. 1.1. Варианты компоновки гидроузла с русловым зданием ГЭС.

а – Здание ГЭС расположено в русле реки; б- Здание ГЭС расположено на обводном канале;
в – продольный разрез по используемому участку реки.

ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ МАЛЫХ ГЭС

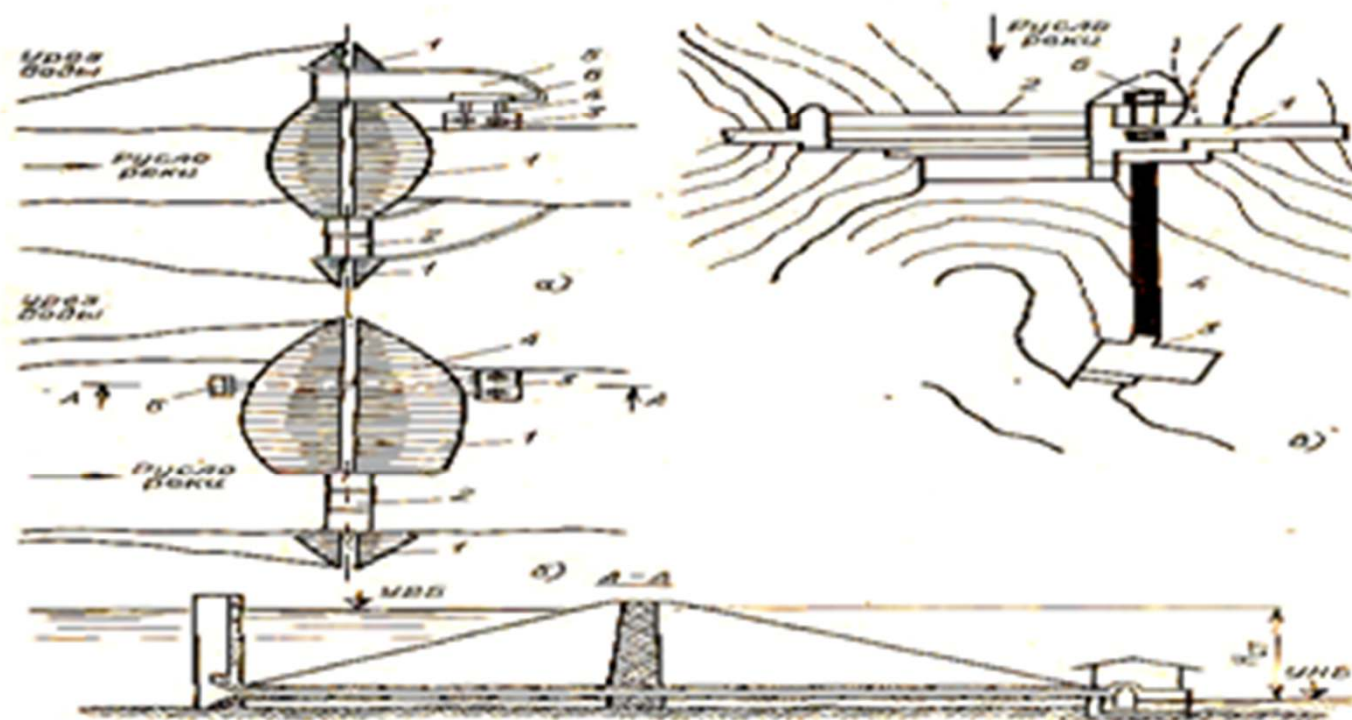


Рис. 1.2. Варианты компоновки сооружений гидроузла с приплотинным зданием ГЭС:
 а – подвод воды к зданию напорным бассейном; б – подвод воды к зданию напорным трубопроводом, размещенным в теле плотины; в – подвод воды к зданию тоннелем или напорным водоводом. 1 - глухая плотина; 2 – водосливная плотина; 3 – здание ГЭС; 4 – турбинный водовод; 5 – напорный бассейн; 6 – водоприемник.

■ Деривационная схема

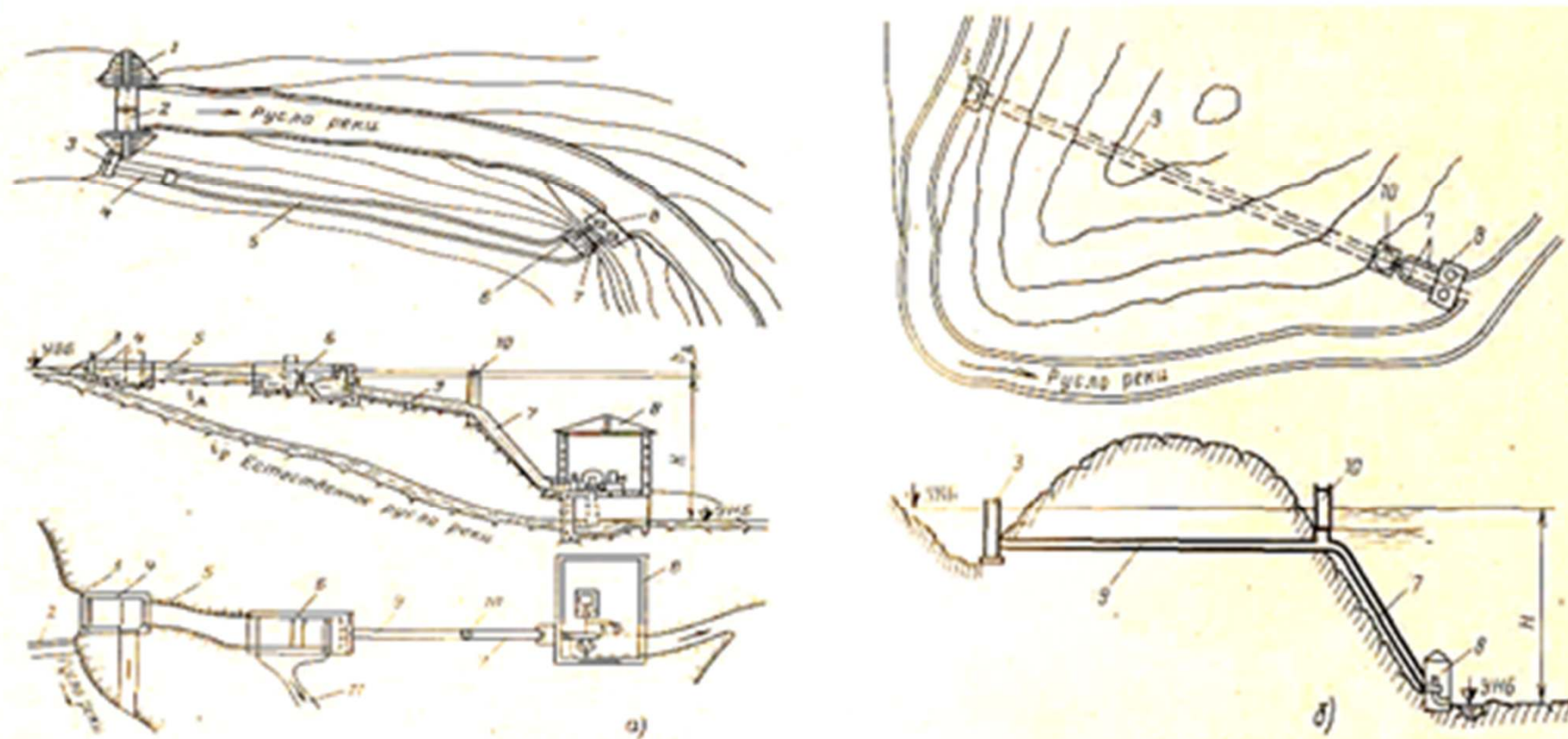


Рис. 2.3. Варианты компоновки сооружений гидроузла с деривационной ГЭС:
 1 — плотина; 2 — водосливная плотина; 3 — водоприемник; 4 — отстойник;
 5 — деривационный канал; 6 — напорный бассейн; 7 — турбинные водоводы; 8 — здание ГЭС; 9 —
 деривационный напорный туннель (трубопровод); 10 — уравнильный резервуар; 11 — водосброс
 напорного бассейна.

Водозаборное сооружение

Кеминская (Быстровская) ГЭС 9 МВт



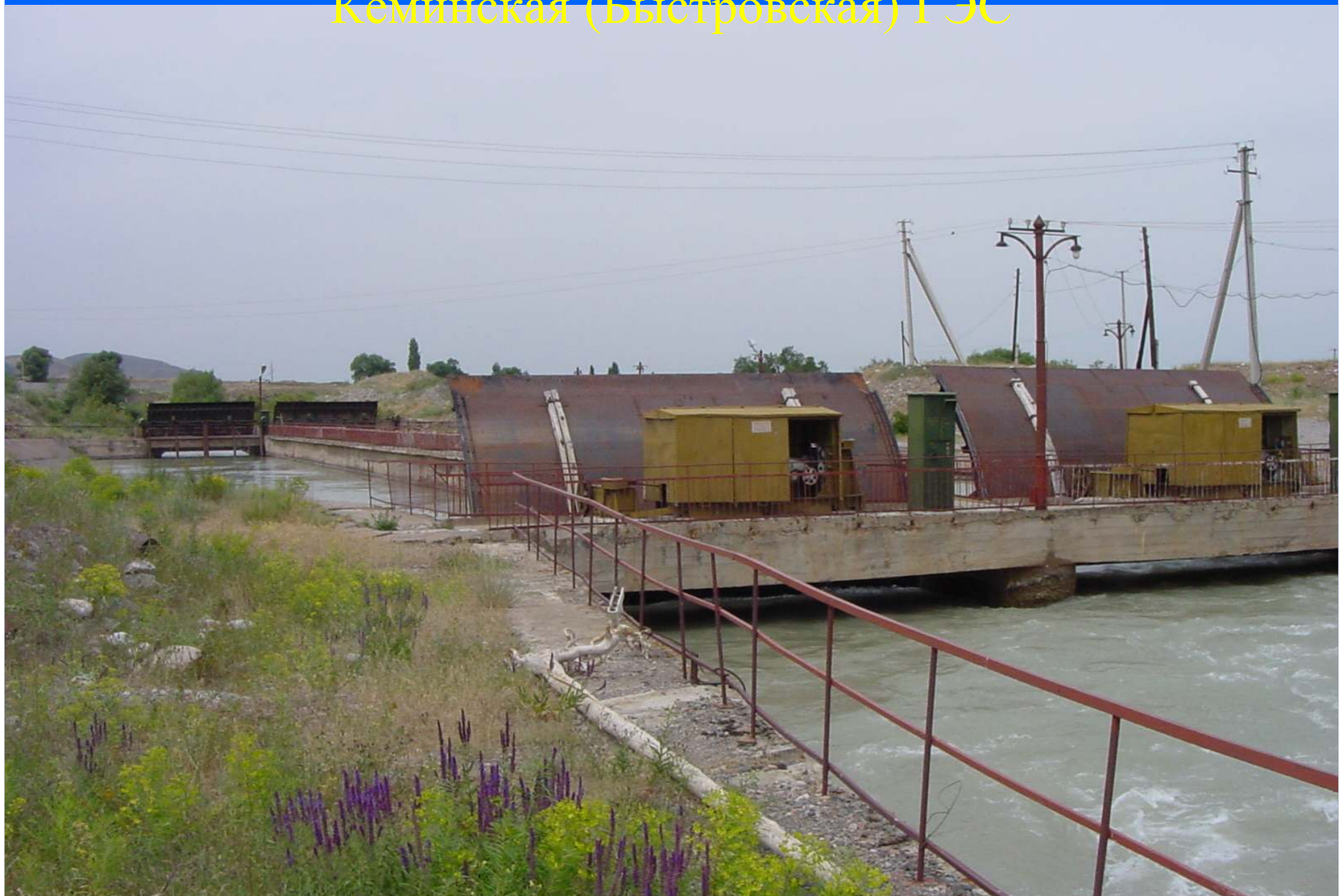
Водозаборное сооружение Ыссык-Атинской ГЭС

Калининской ГЭС



Двухкамерный отстойник

Кеминская (Быстровская) ГЭС



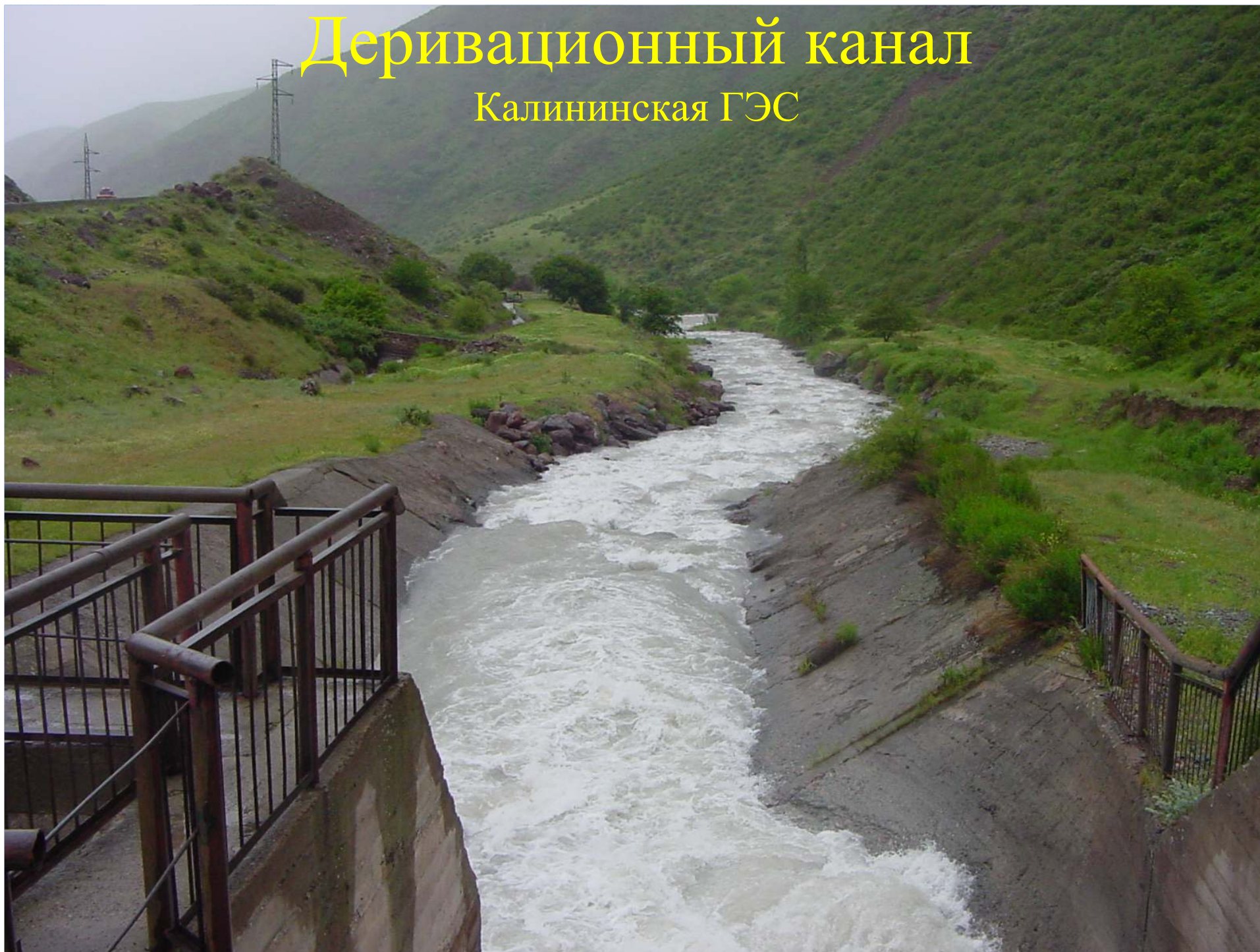
Деривационный канал

Малая ГЭС Сокулук 2



Деривационный канал

Калининская ГЭС



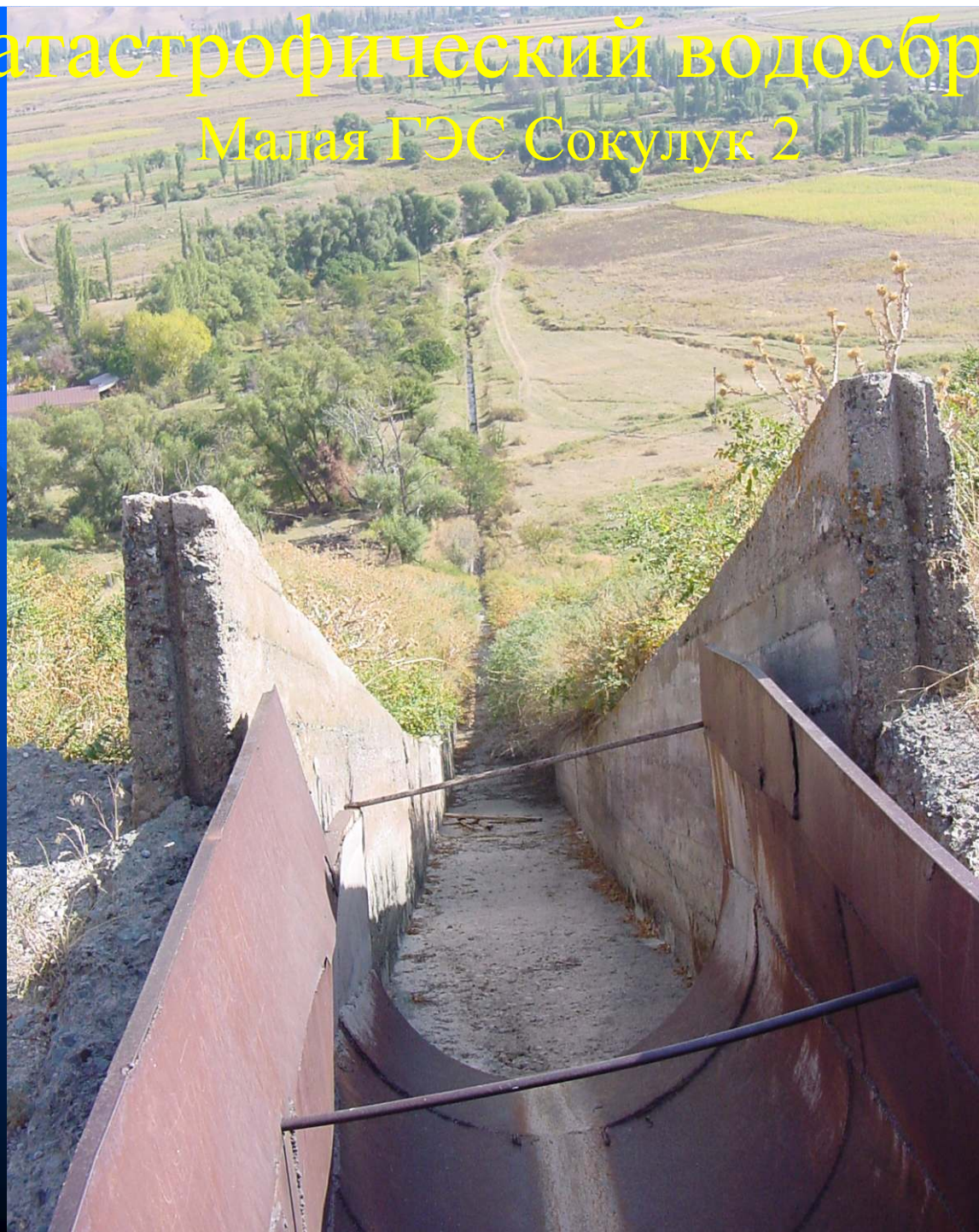
Напорный бассейн

Малая ГЭС Сокулук 2



Катастрофический водосброс

Малая ГЭС Сокулук 2



Напорный водовод (справа) и катастрофический водосброс (слева)

Малая ГЭС Ыссык-Ата



Кеминская (Быстровская) ГЭС



Кеминская (Быстровская) ГЭС



Здание ГЭС

Малая ГЭС Сокулук 2

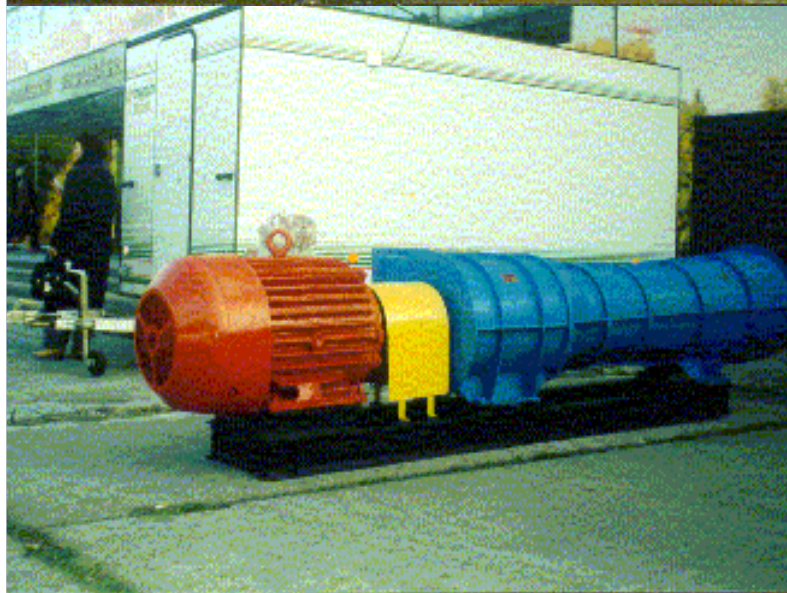


Здание ГЭС

Малая Атбашинская ГЭС



Агрегаты микроГЭС





УМРК

14 4 2001



УМРК



УМРК



14 4 2001

УМРК



14 4 2001

YMPK

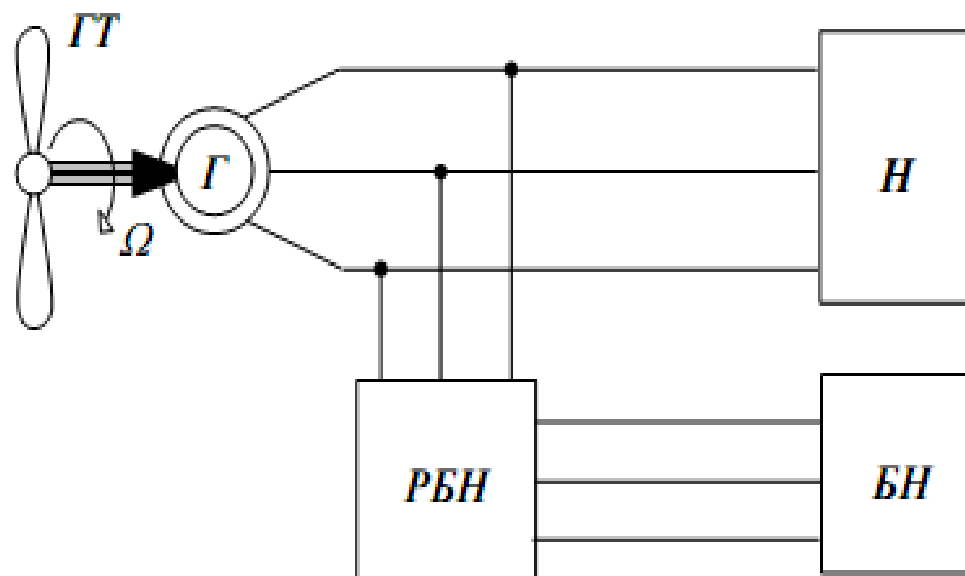








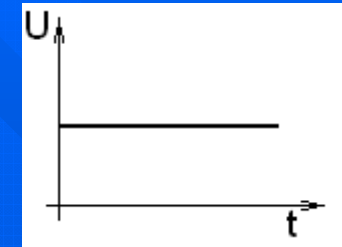
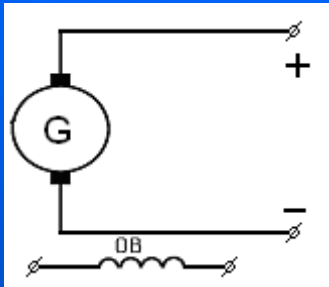
Структурная схема стабилизации параметров микроГЭС автобалластного типа



ГТ - гидротурбина;
Г - генератор;
Н - полезная нагрузка;
БН - балластная нагрузка;
РБН - регулятор балластной нагрузки.

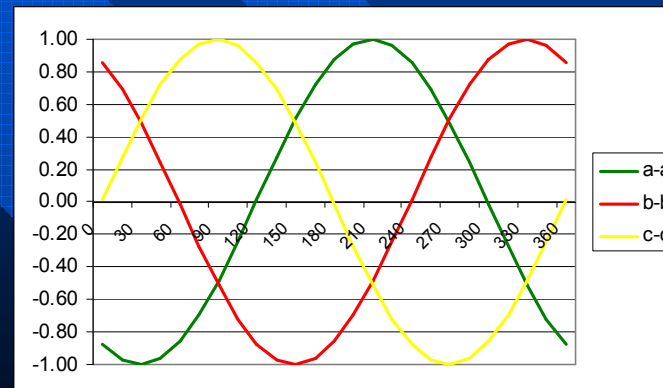
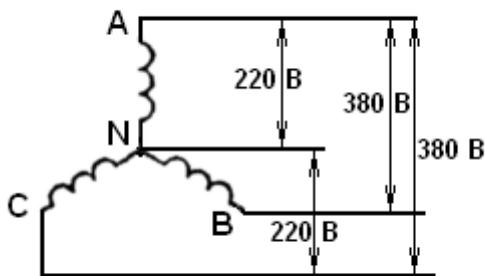
Электроэнергия

Постоянного тока



Переменного тока

Синхронные генераторы Асинхронные
Однофазные Трехфазные



Основные электрические величины

Напряжение	U	вольт	В
Ток	I	ампер	А
Частота	f	герц	Гц
Коэффициент мощности	$\cos\varphi$	-	-
Мощность активная реактивная полная	P Q S	ватт вар вольт-тампер	Вт вар ВА
Энергия	W	киловатт-час	кВтч

Мощность

Постоянного тока:

$$\text{Мощность(Вт)} = \text{Ток(А)} * \text{Напряжение(В)}$$

$$\text{Ватт} = \text{Ампер} * \text{Вольт}$$

$$P = I * U$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}; 1 \text{ МВт} = 1000 \text{ кВт} = 1000000 \text{ Вт}$$

Однофазного Переменного тока:

Активная	$P_{\phi} = I * U * \cos \varphi$	Ватт (Вт)
----------	-----------------------------------	-----------

Реактивная	$Q_{\phi} = I * U * \sin \varphi$	Вольт-Ампер Реактивный (ВАР)
------------	-----------------------------------	------------------------------

Полная	$S_{\phi} = I * U$	Вольт-Ампер (ВА)
--------	--------------------	------------------

Трёхфазного переменного тока:

Активная	$P_{3\phi} = 3P_{\phi} = 3 * I * U * \cos \varphi$
----------	--

Реактивная	$Q_{3\phi} = 3Q_{\phi} = 3 * I * U * \sin \varphi$
------------	--

Полная	$S_{3\phi} = 3S_{\phi} = 3 * I * U$
--------	-------------------------------------

Энергия

Энергия(кВт·ч)=Мощность(кВт)*Время(ч)

$$\mathcal{E} = P * t$$

Потери мощности электроэнергии

$$\Delta P = I^2 R$$

$$I = S/U = P/(U * \cos \varphi) = 3000/(220 * 0,8) \\ = 17,05 \text{ A}$$

Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одно- жильных	трех одно- жильных	четырех одно- жильных	одного двух- жильного	одного трех- жильного
0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	-	-	-
185	510	-	-	-	-	-
240	605	-	-	-	-	-
300	695	-	-	-	-	-
400	830	-	-	-	-	-

Примем алюминиевый провод сечением 16 мм^2
удельное сопротивление $1,84 \text{ Ом/км}$.

Тогда определим потери мощности и напряжения на
 100 м длины провода или $0,1 \text{ км}$.

$$R = R_0 * L = 1,84 * 0,1 = 0,184 \text{ Ом}$$

$$\Delta P = I^2 R = 17,05^2 * 0,184 = 53,49 \text{ Вт}$$

$$\Delta U = IR = 17,05 * 0,184 = 3,13 \text{ В}$$

Проверка показателей качества электроэнергии



Для длительной и надежной службы микроГЭС необходимо обеспечить обслуживание и ремонт агрегатов и сооружений

- МикроГЭС работают с постоянной мощностью, поэтому необходимо обеспечить постоянный напор и расход
- Очищать напорный бассейн (сороудерживающие решетки) от мусора, льда, шуги
- Следить за герметичностью соединений трубопроводов
- Следить за состоянием гидротехнических сооружений (протечки, фильтрация)
- Чистить деривационный канал от наносов (и льда)
- Следить за надежностью электрических соединений, целостностью изоляции
- ...

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!