



Лекция № 4

«Малая гидроэнергетика»



Содержание:

- **Введение.**
- **Термины и определения.**
- **Основные отличия МГЭ от традиционной.**
- **Источники энергopotенциала.**
- **Основные категории ГЭП и методы их расчета**



Основные определения МГЭ

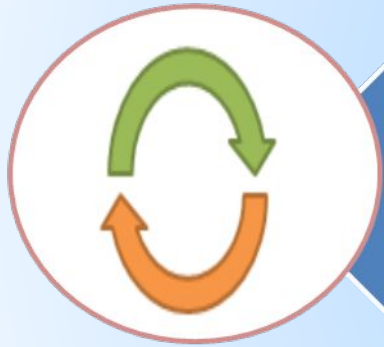
Малая гидроэнергетика (МГЭ) – раздел гидроэнергетики, связанный с использованием гидравлической энергии естественных и искусственных водотоков с помощью малых гидроэлектростанций (МГЭС).

МГЭС – промышленное предприятие, осуществляющее преобразование механической энергии водотоков в электрическую энергию; отличается большой унификацией оборудования и автоматизацией производства.

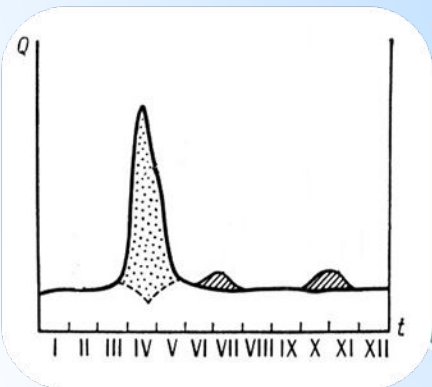
Гидравлическая энергия - механическая энергия перемещающихся масс жидкости, основой которой является круговорот воды в природе

ГЭП – гидроэнергетический потенциал

Основные свойства водных ресурсов



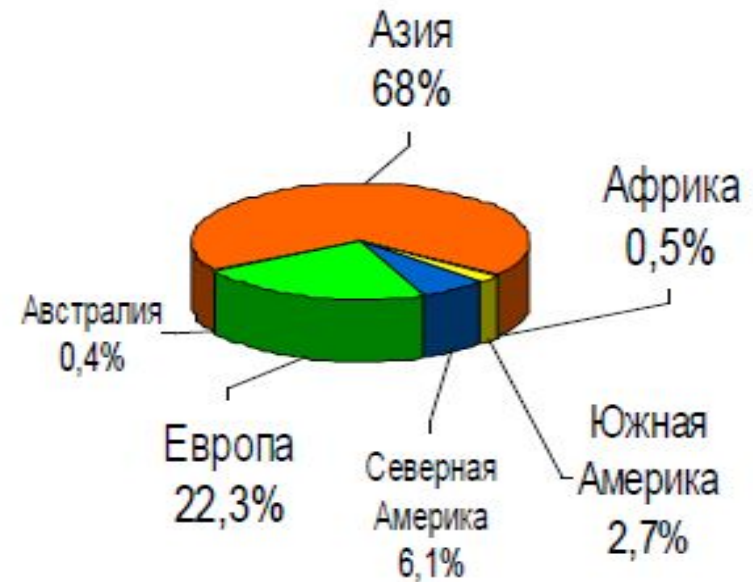
Возобновляемость



Неравномерность во времени

Современное состояние малой гидроэнергетики в мире

Суммарная установленная мощность МГЭС в мире - 87 ГВт



Распределение установленной мощности по регионам мира

История МГЭ в России

- С 1919 по 1941 введено 950 МГЭС (32 МВт).
- За 1945 год введено 641 МГЭС (18 МВт).
- На 1950 год в СССР действует около 6000 МГЭС (322 МВт).
- С 1951 по 1953 годы строительство 111 сельских МГЭС и 116 межколхозных МГЭС
- 1954 год начало вывода из работы МГЭС в связи с созданием единой энергосистемы страны.
- На 1988 г. в России 243 МГЭС (1250 МВт).
- Возрождение интереса к малой гидроэнергетике с 1999 г.

Классификация существующих МГЭС в России по мощности

Мощность агрегата, МВт	Количество МГЭС	Количество агрегатов
до 0,5	82	181
от 0,5 до 1	42	91
от 1 до 2	27	68
от 2 до 3	16	34
от 3 до 4	11	21
от 4 до 5	4	7
от 5 до 30	3	4

Основные отличия МГЭС от традиционных ГЭС



Унификация проектов и оборудования



Экологичность



Полная автоматизация



Отсутствие зарегулированности стока
(в основном работа по водотоку)



Возможность размещения не только на естественных водотоках



Отсутствие жестких требований по качеству энергии



Имеют ограниченный экономический радиус

Источники ресурсов МГЭС

Естественные и искусственные водотоки

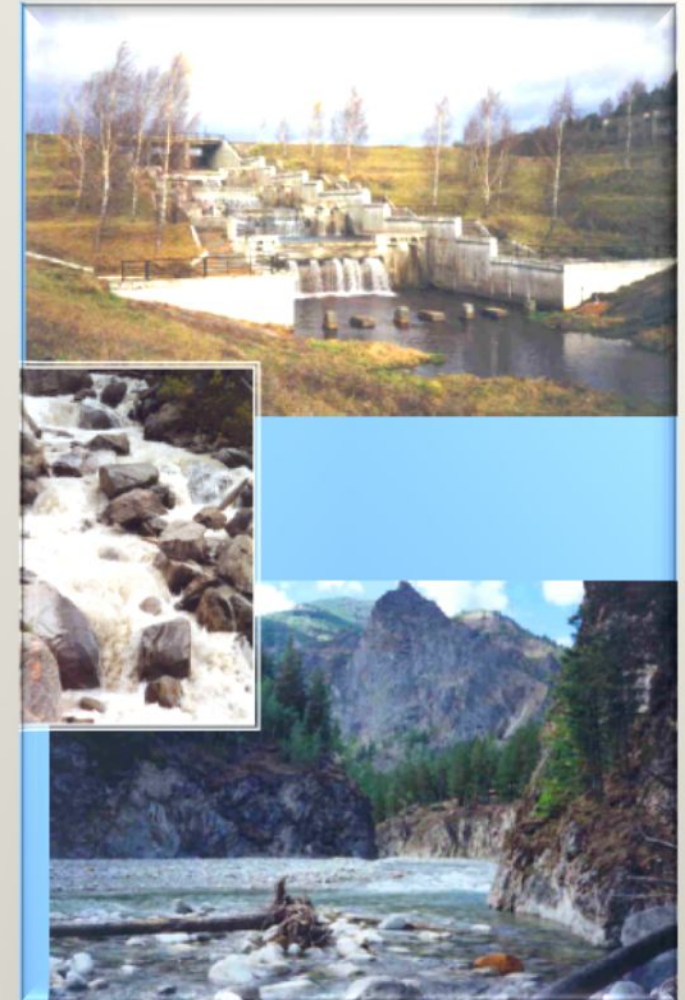
(малые и средние реки, ручьи, оросительные и судоходные каналы)

Водосбросы из водохранилищ, прудов, шлюзов

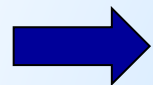
Гидравлические системы

(питьевые водоводы, технологические водотоки, водосбросы ТЭЦ и АЭС)

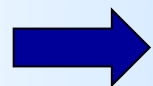
В России более 2,5 миллиона малых рек с техническим потенциалом 382 млрд. кВтч/год



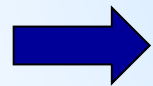
Экологические аспекты МГЭ



Гидротехнические сооружения МГЭС не подтопляют леса и сельскохозяйственные угодья, не приводят к сносу и переносу населённых пунктов



МГЭС позволяют сохранить ландшафт и окружающую среду в процессе строительства и на этапе эксплуатации



Вода, проходящая через малую гидротурбину сохраняет свои первоначальные природные свойства

Категории ГЭП МГЭ

Теоретический ГЭП участка водотока – полный потенциал, который теоретически можно получить от участка водотока

Технико-экологический ГЭП участка водотока – часть теоретического ГЭП, которая может быть использована на современном уровне развития науки и технических решений при соблюдении социально-экологических требований.

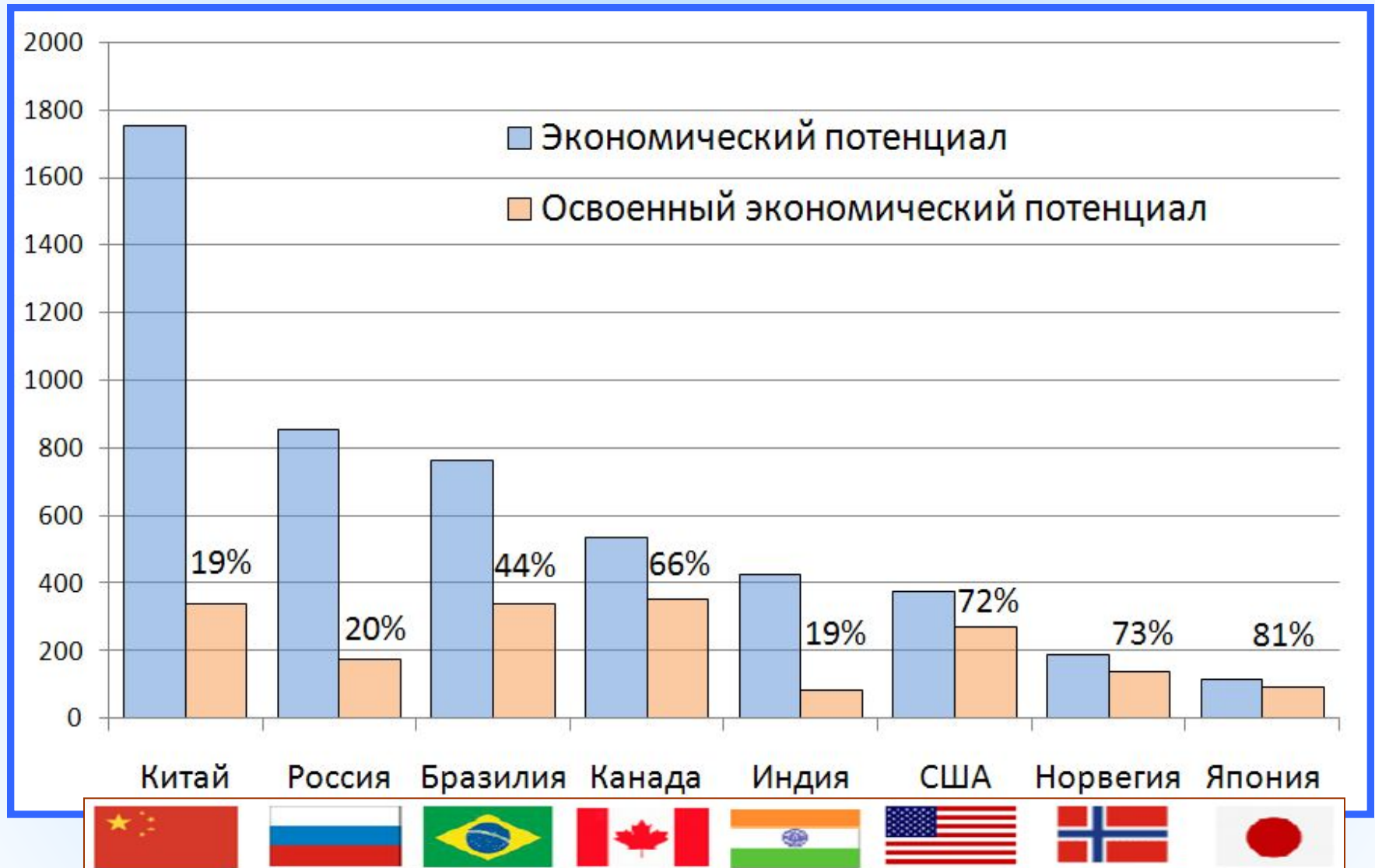
Эколого-экономический ГЭП участка водотока – часть технического ГЭП, который экономически целесообразно использовать в современных условиях при соблюдении социально-экологических требований.

Экономический радиус

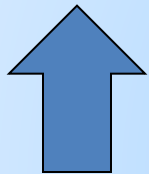
$U_{\text{лэп}}, \text{кВ}$	$N_{\text{МГЭС}}, \text{кВт}$	$r_{\text{эк}}, \text{км}$
0,4	<100	0,5
3,0	100÷1000	3÷10
6,0	100÷1200	4÷15
10,0	200÷2000	6÷20
35	2000-10000	20÷50
110	10000÷50000	20÷50

Экономический радиус – это расстояние от потребителя до МГЭС, на которое экономически целесообразно передавать энергию потребителю.

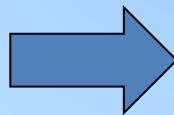
Экономический ГЭП в разных странах мира



Годовое энергопотребление
России составляет около
1000 млрд. кВтч



**Технический
ГЭП МГЭ**



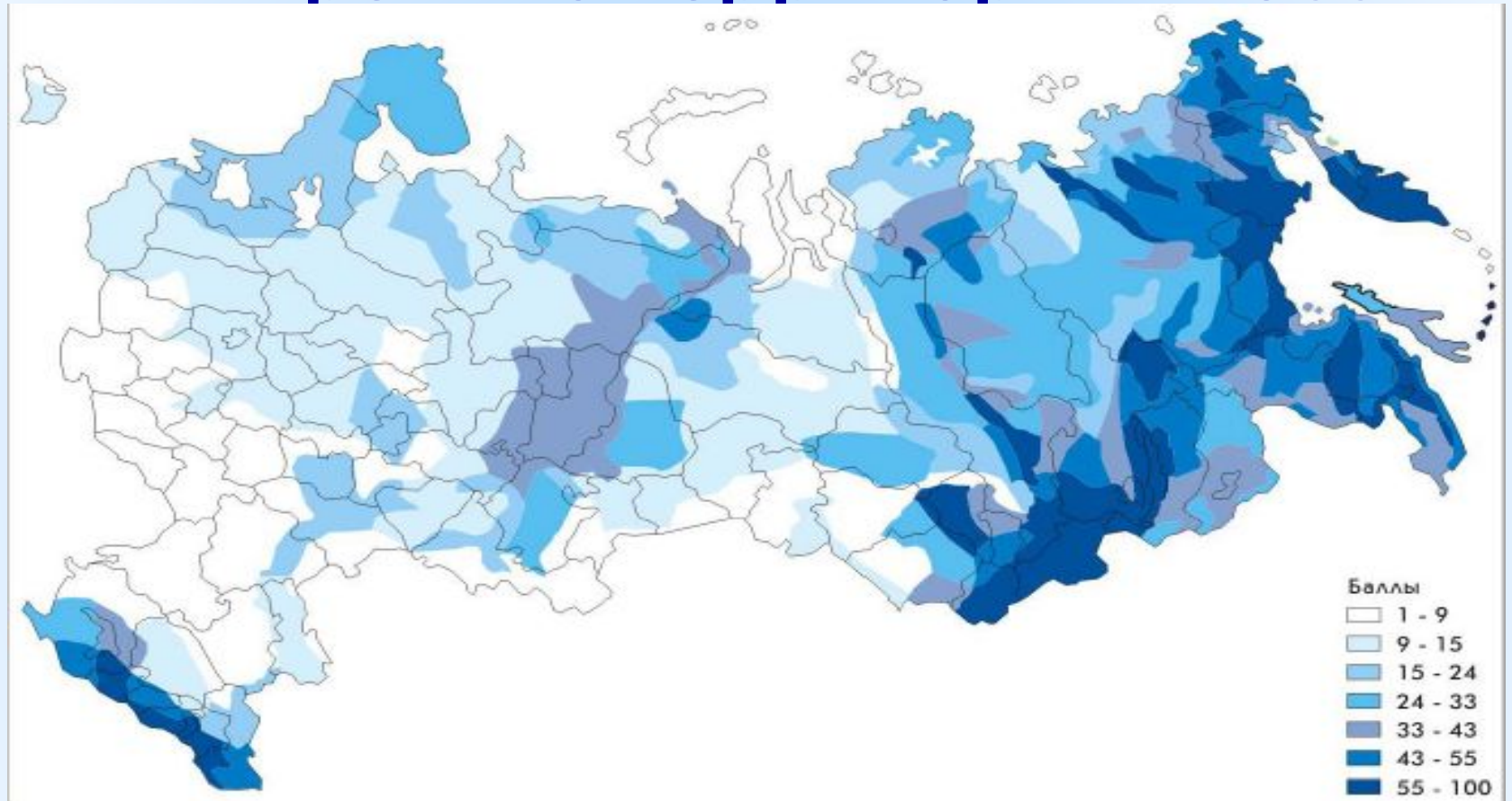
Естественных водотоков	382,3 млрд.кВт. ч/год
ВВХН	22 млрд.кВт. ч/год



ГЭП естественных ВОДОТОКОВ традиционной и МГЭ (в млрд.кВт.ч/год)

Категория ГЭП	Теоретический	Технический	Экономический
Все реки России	4000	2000	1000
Реки МГЭ	1000	400	200
% МГЭ от всех рек России	около 30	около 20	около 50

Распределение гидроресурсов малых рек по территории России

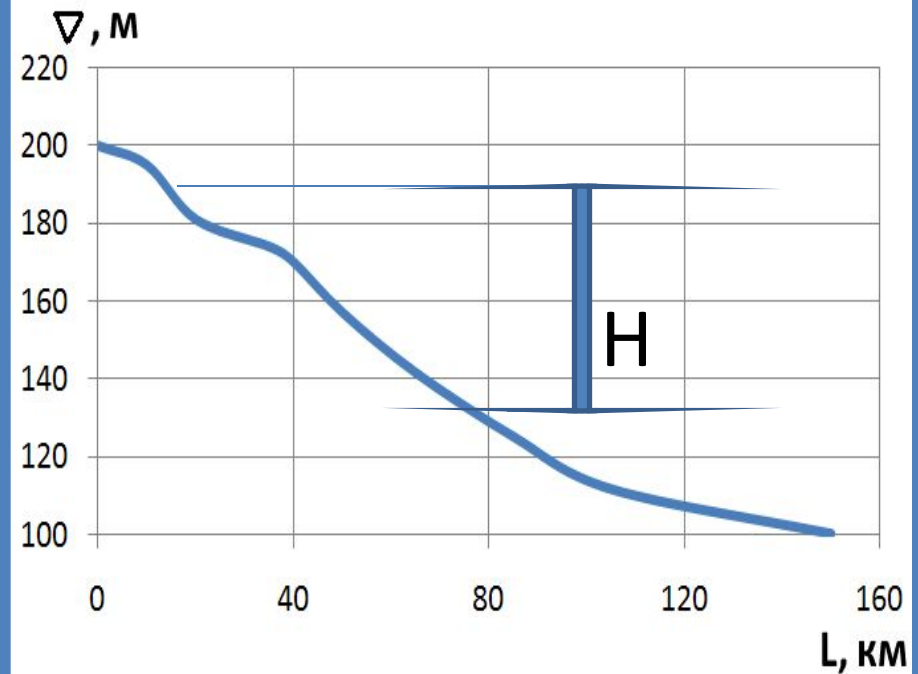
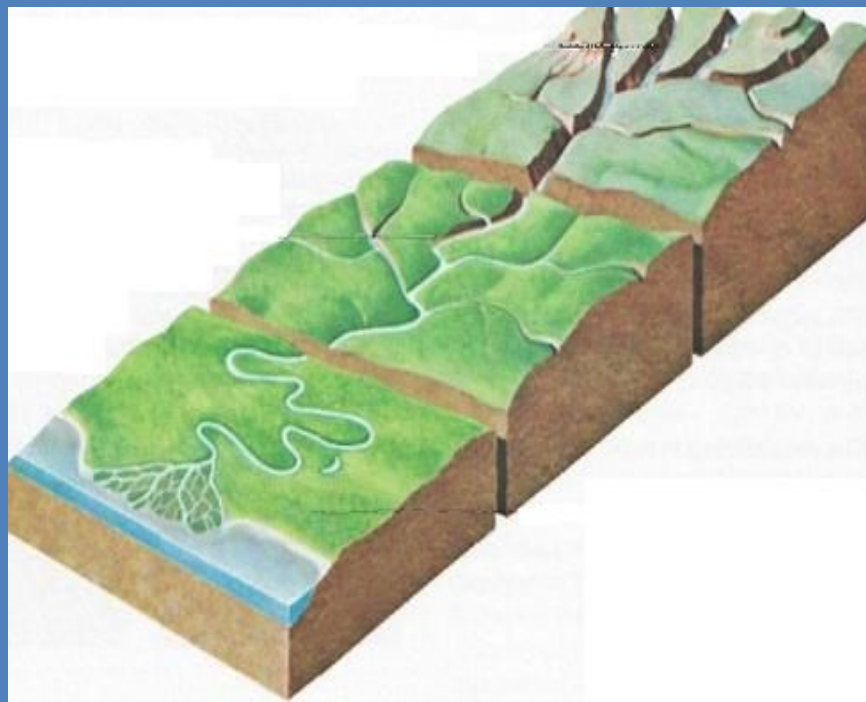


ГЭП крайне неравномерно распределён
по территории России

Категории ГЭП МГЭ по регионам России

Экономический район	Теоретический потенциал, млрд.кВт·ч/год	Технический потенциал, млрд.кВт·ч/год	Экономический потенциал, млрд.кВт·ч/год
Северо-Западный	81,6	31,5	24,1
Центральный	8,2	3,0	2,0
Волго-Вятский	3,4	1,3	0,9
Центрально-Черноземный	1,5	0,6	0,3
Поволжский	21,5	10,4	5,5
Северный Кавказ	37,5	19,3	11,5
Уральский	34,6	17,2	11,5
Западная Сибирь	74,6	24,6	12,5
Восточная Сибирь	390,8	128,4	66,77
Дальний Восток	452,0	146,0	65,38
Россия в целом	1105,6	382,3	200,0

Водоток и его характеристики



Расход, Q [$\text{м}^3/\text{сек}$] – объём воды, протекающий через поперечное сечение реки за единицу времени

Сток, W [куб.км] – суммарный объём воды, протекающий через поперечное сечение реки за определённый период времени

Напор, H [м] – разница уровней воды в двух соседних створах

Годовой гидрограф реки

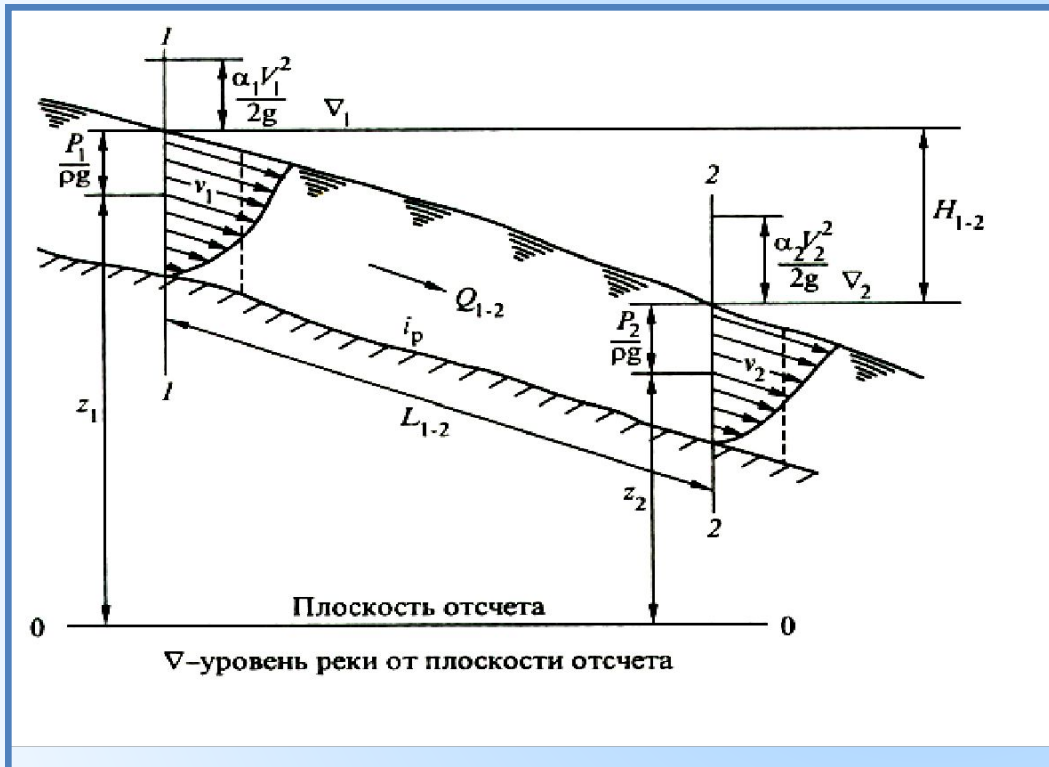




Водно-энергетический кадастр реки (ВЭК)

- Изменение продольного профиля реки $\nabla(L)$
- Изменение расхода по длине реки $Q(L)$
- Изменение потенциальной мощности водотока $N(L)$
- Изменение удельной потенциальной мощности водотока $i^N(L)$

Метод расчета теоретического ГЭП МГЭ



Обозначения:

∇_1 и ∇_2 - отметки уровней свободной поверхности водотока

V_1 и V_2 - скорости течения воды

S_1 и S_2 - площади поперечного сечения в створах 1 и 2

L_{1-2} - расстояние между створами 1 и 2

$H_{1-2} = \nabla_1 - \nabla_2$ - напор на участке 1-2

W - сток воды за время T

ρ - плотность воды.

Потенциальная валовая энергия водотока на участке 1-2 :

$$\mathcal{E}_{1-2} \cong \rho g W (\nabla_1 - \nabla_2) = \rho g W H_{1-2}$$

Средняя мощность j-ого участка водотока

Средняя мощность водотока N_{1-2} (Вт):

$$N_{1-2} = \frac{\mathcal{E}_{1-2}}{T} = \rho g \frac{W}{T} H_{1-2} = \rho g Q_{1-2} H_{1-2}$$

Получаем среднюю мощность водотока N_{1-2} (кВт):

$$N_{1-2} = 9,81 \cdot Q_{1-2} \cdot H_{1-2}.$$

Расход воды из-за его непостоянства по длине участка определяют в предположении линейного характера его изменения вдоль участка, т.е. вместо Q_{1-2} следует подставлять \bar{Q}_{1-2} , равное

$$\bar{Q}_{1-2} = \frac{Q_1 + Q_2}{2}.$$

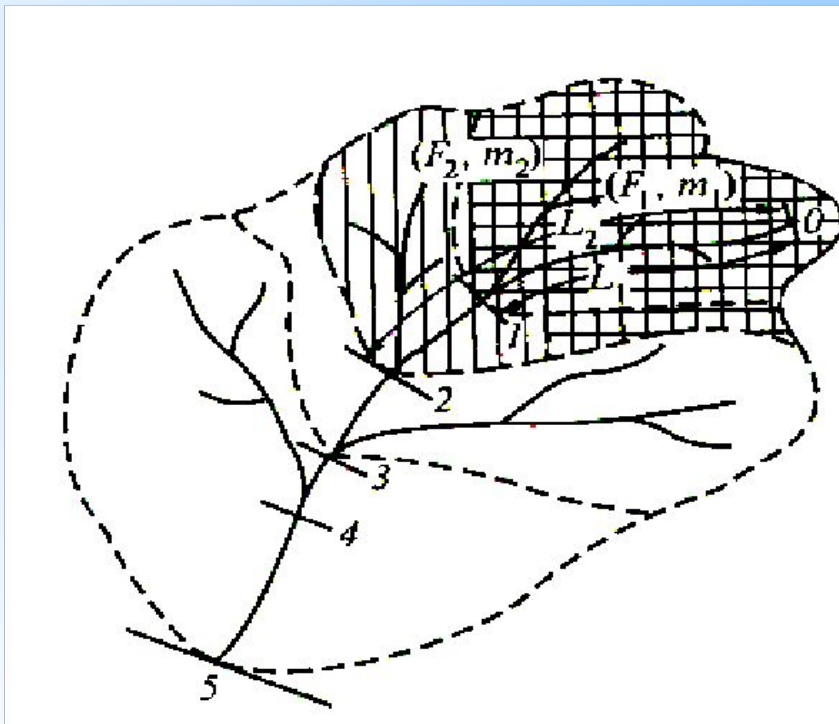
Расчет расхода воды в j-м створе

- на основе измеренных и обработанных данных прошлых наблюдений водомерного поста.
- карты с изолиниями модулей среднегодового стока m в $[\text{л/с}\cdot\text{км}^2]$ в данном бассейне.

По картам модулей стока величина Q_j в $\text{м}^3/\text{с}$ определяется по формуле:

$$Q_j = m_j \cdot F_j \cdot 10^{-3},$$

где F_j - величина водосборной поверхности бассейна и m_j - модуль стока для каждого j-го створа.



Энергетическую "емкость" единицы длины водотока

Величина i^N характеризует энергетическую "емкость" единицы длины водотока, может быть использована для предварительного определения створов первоочередных ГЭС и определяется по формуле:

$$i_{j,(j-1)}^N = \frac{N_{j,j-1}}{l_{j,j-1}},$$

где $l_{j,(j-1)} = L_j - L_{j-1}$ - длина единичного участка вод

Метод "красной линии"

Экологические требования задаются в виде ограничений типа неравенства:

$$Z_{\text{вб}ji}^{\min}(t) \leq Z_{\text{вб}ji}(t) \leq Z_{\text{вб}ji}^{\max}(t),$$

где j - номер ограничения в i -ом створе.

$$z_{ji}^{\text{верх}} = \min(z_{1i}^{\max} \boxtimes z_{2i}^{\max} \boxtimes \dots \boxtimes z_{li}^{\max})$$

$$z_{ji}^{\text{НИЖН}} = \max(z_{1i}^{\min} \boxtimes z_{2i}^{\min} \boxtimes \dots \boxtimes z_{li}^{\min})$$

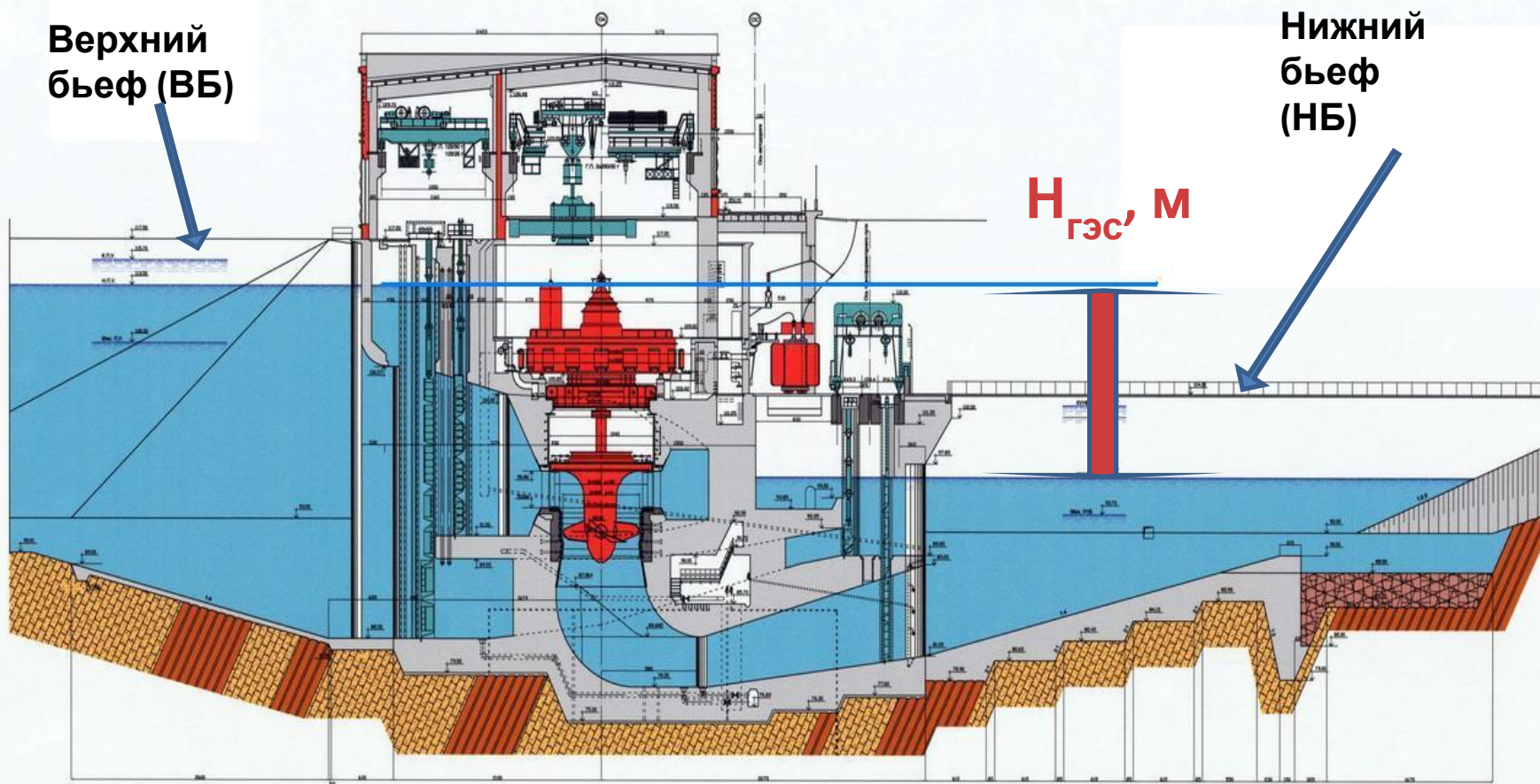
Перепад уровней воды на плотине

Поперечный разрез по оси агрегата

Верхний
бьеф (ВБ)

Нижний
бьеф (НБ)

$H_{гэс}, M$



Принцип работы ГЭС

$$N_{ГЭС} = 9,81 \cdot \eta \cdot Q_{ГЭС} \cdot H_{ГЭС}$$

[кВт]

Схема плотины гидроэлектростанции

