

# ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

## Лекция I Общие понятия

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- **Гидроэнергетика** - отрасль науки и техники, охватывающая вопросы использования потенциальной энергии воды в водоемах и водотоках для производства электроэнергии (ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения)
- **Гидроэнергетика** - раздел энергетики, связанный с использованием механической энергии водных ресурсов для получения электрической энергии (ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения)
- **Гидроэнергетические ресурсы** - возобновляемые природные ресурсы, энергетические ресурсы текущей воды, используемые для выработки электроэнергии на гидроэлектростанциях (ГЭС).
- **Гидроэлектростанция** - электростанция, преобразующая механическую энергию воды в электрическую энергию (ГОСТ 19431-84. Энергетика и электрификация. Термины и определения)

# ГИДРОЭНЕРГЕТИКА В МИРЕ

- Гидроэнергетика обеспечивает производство электроэнергии в мире до 19% от общего. Лидеры производства гидроэнергии на душу населения являются Норвегия, Исландия и Канада. Не менее активное с 2000-х годов строительство гидроэлектростанций ведется в Китае.

Производители гидроэнергии по материалам 2008 года:

Китай.....	585 ТВт·ч
Канада.....	369 ТВт·ч
Бразилия.....	364 ТВт·ч
США.....	251 ТВт·ч
Россия.....	167 ТВт·ч
Норвегия.....	140 ТВт·ч
Индия.....	116 ТВт·ч
Венесуэла.....	87 ТВт·ч
Япония.....	69 ТВт·ч
Швеция.....	66 ТВт·ч
Франция.....	63 ТВт·ч

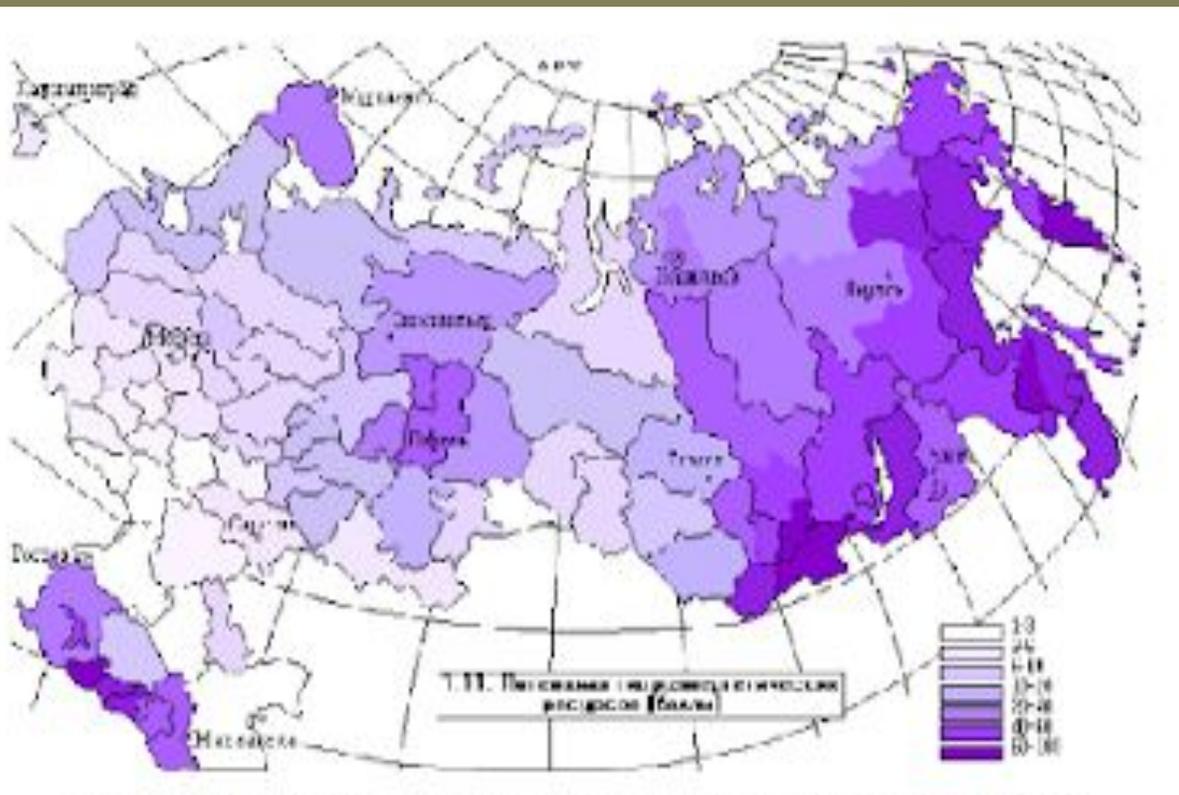
## Крупнейшие ГЭС мира

№ п/п	Наименование	Страна	Год пуска	Полная мощность, ГВт	Среднегодовая выработка, млрд кВт·ч	Площадь водохранилища, тыс. км <sup>2</sup>
1	Санься	Китай	2008	22,5	более 100	
2	Итайпу	Бразилия и Парагвай	1984	14	94,7	1,35
3	Гури	Венесуэла	1986	10,2	46	4,25
4	Тукуруи	Бразилия	1984	8,37	21	3,014
5	Гранд-Кули	США	1942	6,809	20	
6	Саяно-Шушенская	Россия	1985	6,4	26,8	0,621
7	Красноярская	Россия	1972	6	20,04	2
8	Robert-Bourassa	Квебек, Канада	1981	5,616		
9	Водопад Черчилля	Лабрадор, Канада	1971	5,429	35	6,988
10	Longtan Dam	Китай	2009	6,3	18,7	
11	Братская	Россия	1967	4,5	22,6	
12	Усть-Илимская	Россия	1980	4,32	21,7	
13	Yacireta	Аргентина и Парагвай	1981	4,05	19,2	1,6
14	Tarbella Dam	Пакистан	1976	3,478	13	
15	Ertan Dam	Китай	1999	3,3	17	
16	Iha Salteira Dam	Бразилия	1974	3,2		
17	Xingu	Бразилия	1994	3,162		
18	Gezhouba Dam	Китай	1988	3,115	17,01	
19	Нурекская	Таджикистан	1979	3	11,02	
20	La Grande-4	Квебек, Канада	1986	2,779		

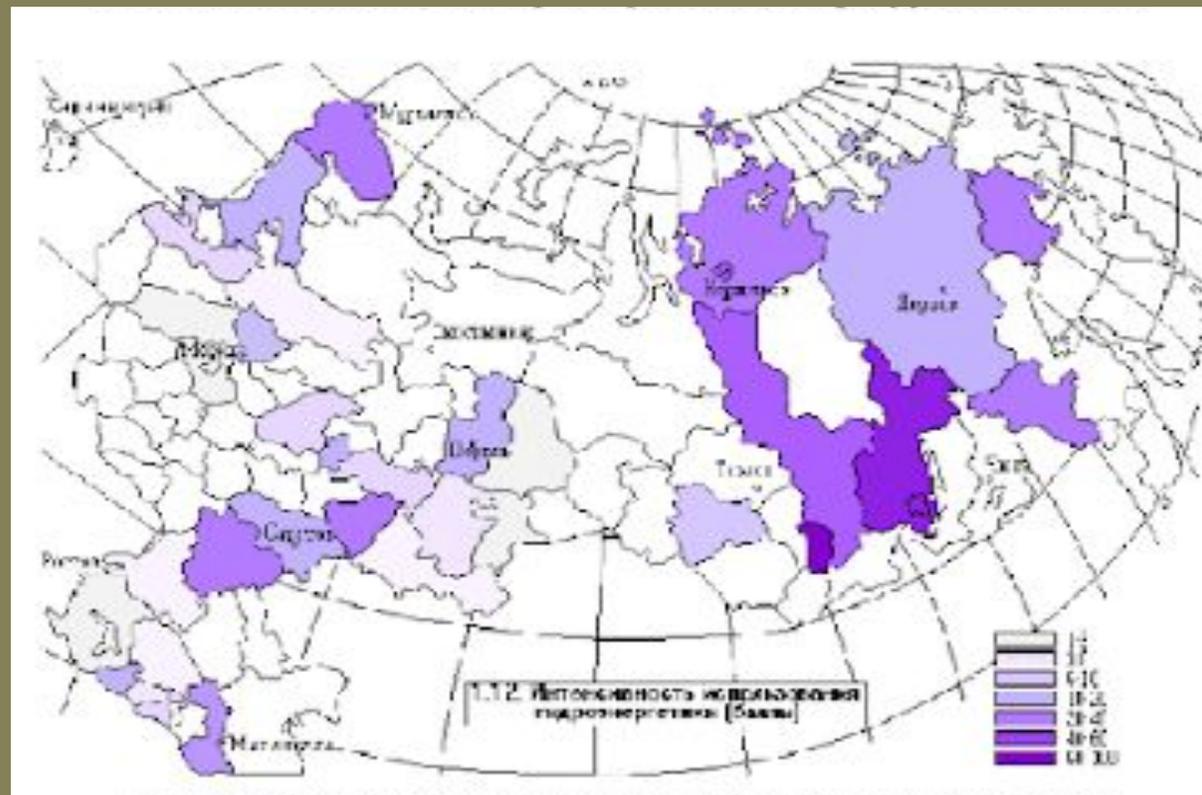
Примечание. В таблице указан год пуска первого агрегата.

# ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

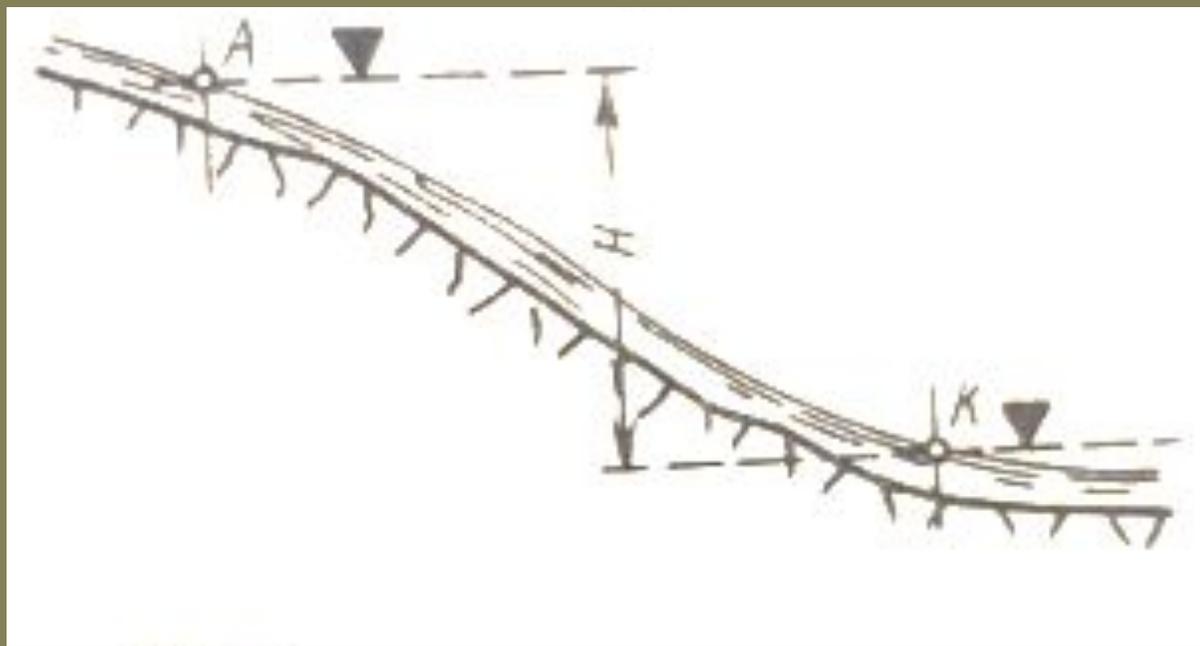
Потенциал



Использование



# ОЦЕНКА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КРУПНЕЙШИХ РЕК РОССИИ



- Оценка гидроэнергетического потенциала реки проводится по 15-20 участкам

- $N_{\text{пот}} = 9.81 Q_{\text{ср}} H$

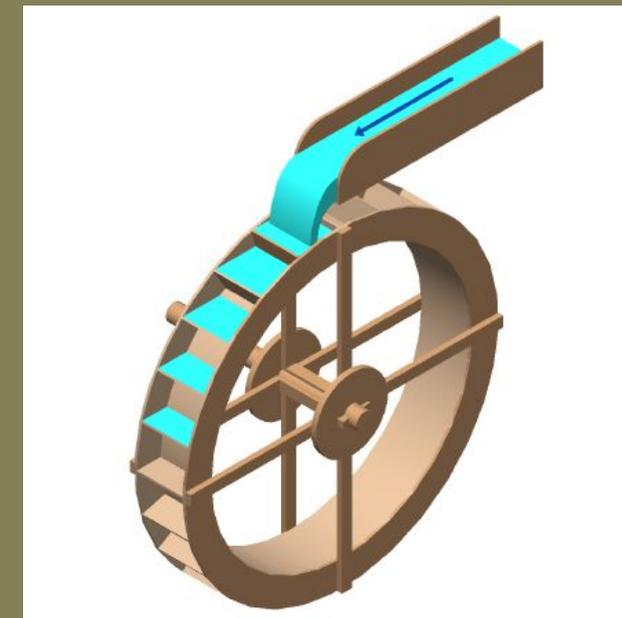
Гидроэнергетические потенциал крупнейших рек России

Река	Водность, тыс. м <sup>3</sup> /с в устье	Потенциальная энергия рек	
		Мощность, млн кВт	Электроэнергия, млрд кВт·ч
Енисей *	18,6	18,1	158
Лена	15,5	16,4	144
Обь	12,83	5,9	51
Амур	10,8	9,5	83
Волга	7,96	6,2	54
Алдан	5	5,5	49
Ангара	4,37	10,7	94
Печора	4,02	1,6	14,3
Кама	3,83	1,45	12,7
Кольма	3,8	4,5	40
Нижняя тунгуска	3,7	2,1	18
Иртыш	3	2,9	25
Вилкой	2,29	2,6	22
Зея	1,8	2	17,4
Ока	1,27	1,26	11

\* Енисей – наиболее мощная река России.

# ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ НАПОРА

- В природных условиях энергия рек рассеивается по их длине и использовать ее практически не возможно.
- Человек с давних времен использует энергию воды для своих нужд. Принцип водяного колеса стал основой для развития гидроэнергетики



- С помощью искусственных гидротехнических сооружений перепад участка можно сосредоточить в одном створе и получить некоторый напор, который необходим для выработки электроэнергии
- Чем больше напор, тем больше электроэнергии вырабатывается



# СХЕМЫ СОЗДАНИЯ СОСРЕДОТОЧЕННОГО НАПОРА

- ✓ **плотинная** схема, когда напор создается плотиной;
- ✓ **деривационная** схема, когда напор создается преимущественно посредством деривации, осуществляемой в виде канала, туннеля или трубопровода;
- ✓ **комбинированная** схема, когда напор создается и плотиной, и деривацией.

# ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

- Климатическая характеристика района
- Топографическая характеристика водохранилища
- Гидрологическая характеристика в створе проектируемого гидроузла
- Геологическая и гидрогеологическая характеристика водохранилища
- Требования водопользователей и водопотребителей к режиму работы ГЭС

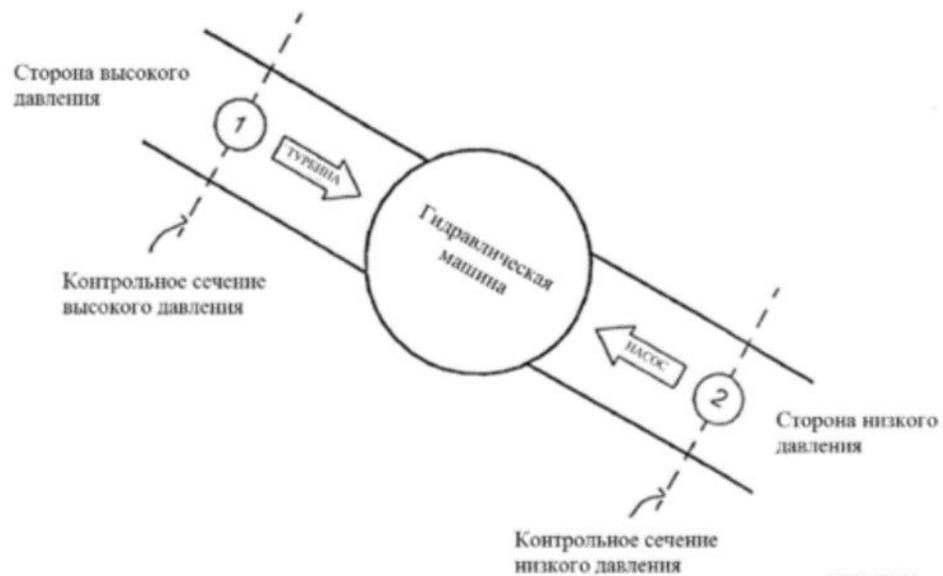
# ЭТАПЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ГЭС

- Выбор экономически целесообразной части стока реки (при эксплуатации намечаются мероприятия, разрабатываются правила, которые позволяют эффективно использовать сток).
- Выбор вариант регулирования гидроэнергии (суточное, недельное, годичное, многолетнее)
- Создание напора (проектируется система сооружений, создающих напор - гидроузел)
- Проектирование здания ГЭС, подбор оборудования
- Проектирование электрических сетей для передачи электроэнергии потребителю

# ПОНЯТИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

- Термин «**гидравлические машины**» относится к турбинам, насосам, насос-турбинам (обратимым гидромашинам), затворам, подшипникам и подпятникам, используемым в ГЭС и ГАЭС (ПНСТ 50-2015 Гидроэлектростанции. Номенклатура машинного оборудования)

3.4 Схематическое представление гидравлической машины



## Типы гидравлических машин

1. **Турбина** - машина для преобразования гидравлической энергии в механическую энергию. Термин не включает водозабор и водовыпуск, генератор и регулятор.
2. **Насос** - машина для преобразования механической энергии в гидравлическую энергию. На ГАЭС насос закачивает воду в верхний бассейн с тем, чтобы использовать ее позже для производства электроэнергии. Термин не включает водозабор, водовыпуск и двигатель.
3. **Насос-турбина** (обратимая гидромашина) - машина, работающая в турбинном и насосном режимах.

# ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

## Лекция 2

### Типы турбин и их конструкции

# ТИПЫ ТУРБИН

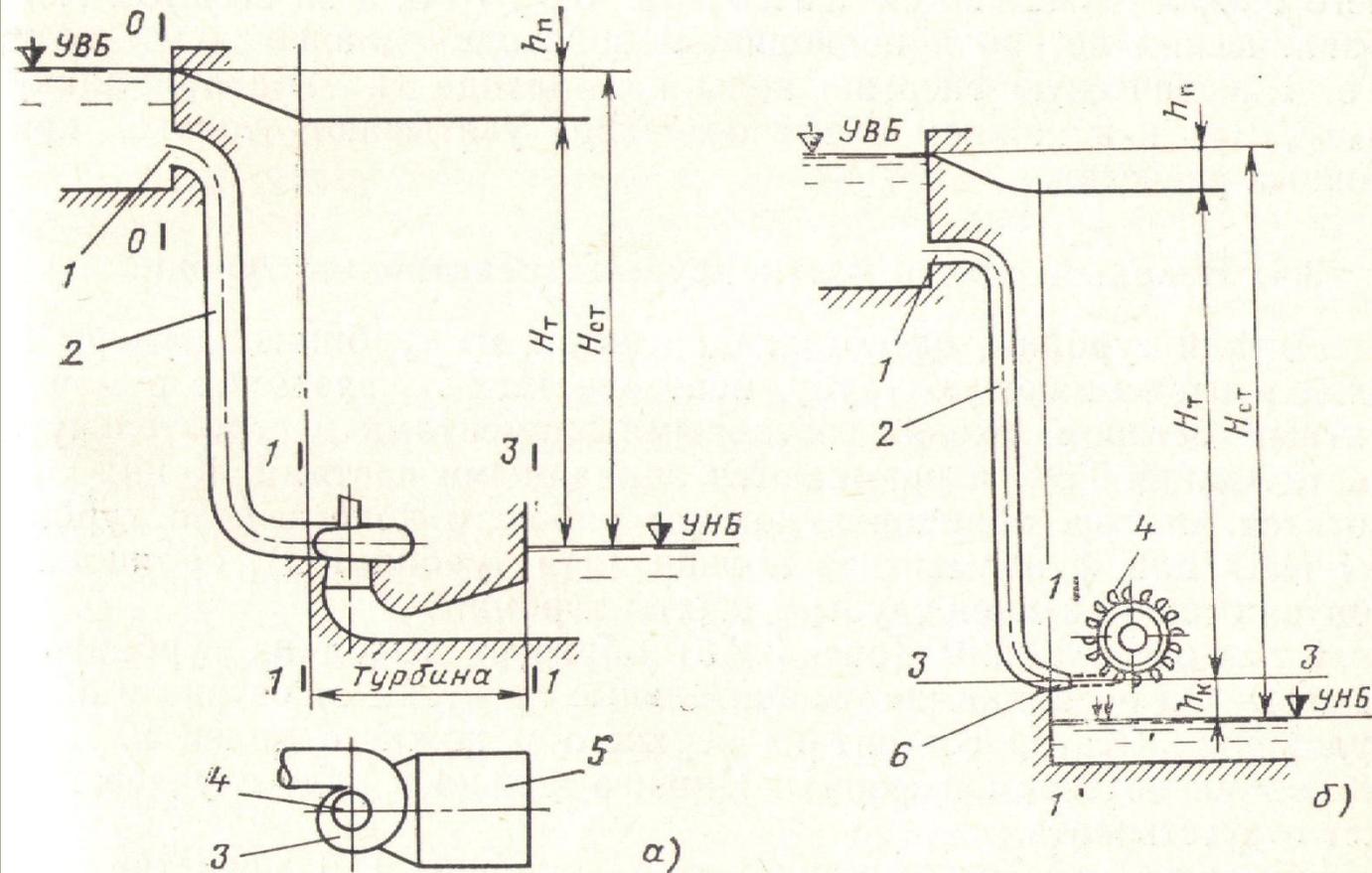


Рис. 3.1. Схемы установки реактивной (а) и активной (б) турбин:

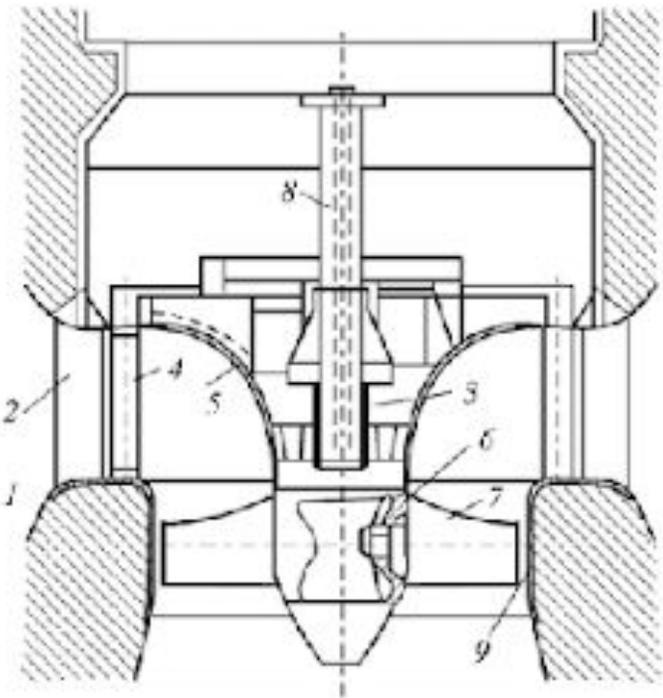
1 — водоприемное отверстие; 2 — турбинный водовод; 3 — спиральная камера; 4 — рабочее колесо; 5 — отсасывающая труба; 6 — сопло

**Гидравлическая турбина** - турбина, в которой в качестве рабочего тела используется вода

**Активная гидравлическая турбина**  
Гидравлическая турбина, в которой используется кинетическая энергия потока

**Реактивная гидравлическая турбина**  
Гидравлическая турбина, в которой используется кинетическая и потенциальная энергия потока

# РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ ПРОПЕЛЛЕРНЫЕ ТУРБИНЫ



1 – спиральная камера; 2 – статор; 3 – подшипник турбины с резиновым вкладышем; 4 – лопатка направляющего аппарата; 5 – крышка турбины; 6 – корпус и втулка рабочего колеса; 7 – лопасть рабочего колеса; 8 – вал турбины; 9 – камера рабочего колеса

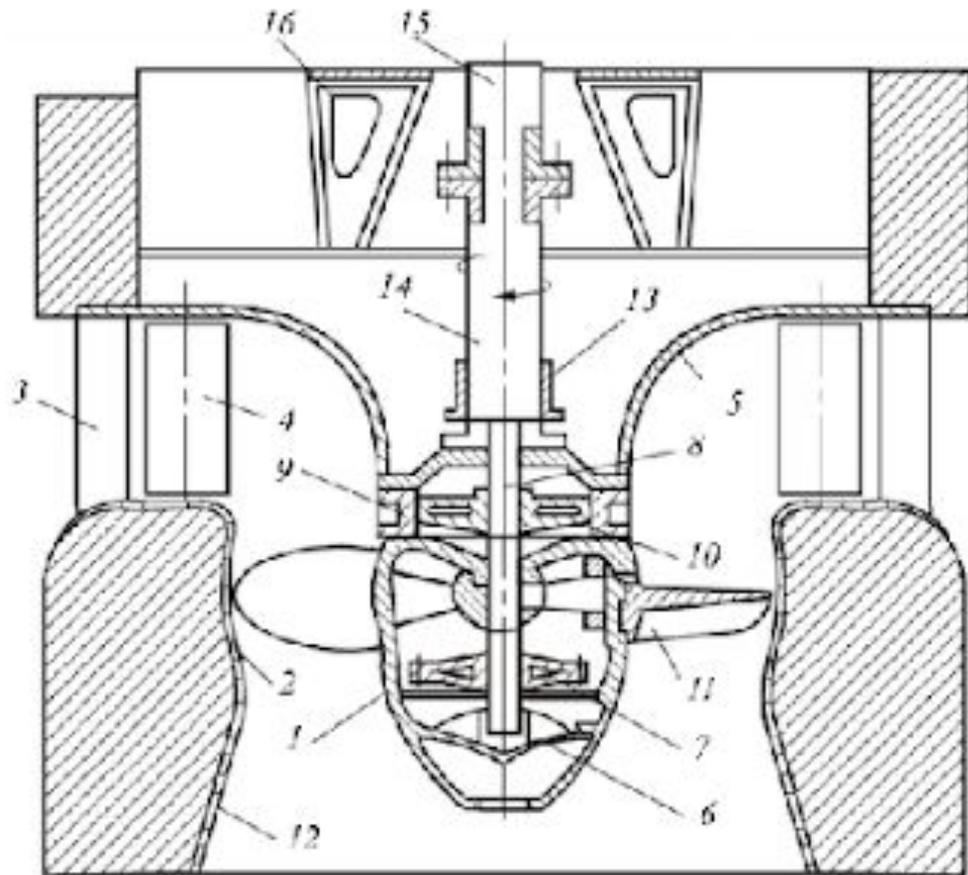
- Пропеллерная гидравлическая турбина Осевая или диагональная гидравлическая турбина с жестко закрепленными лопастями рабочего колеса



Самые дешевые и простые. Хорошо подходят для небольших ГЭС

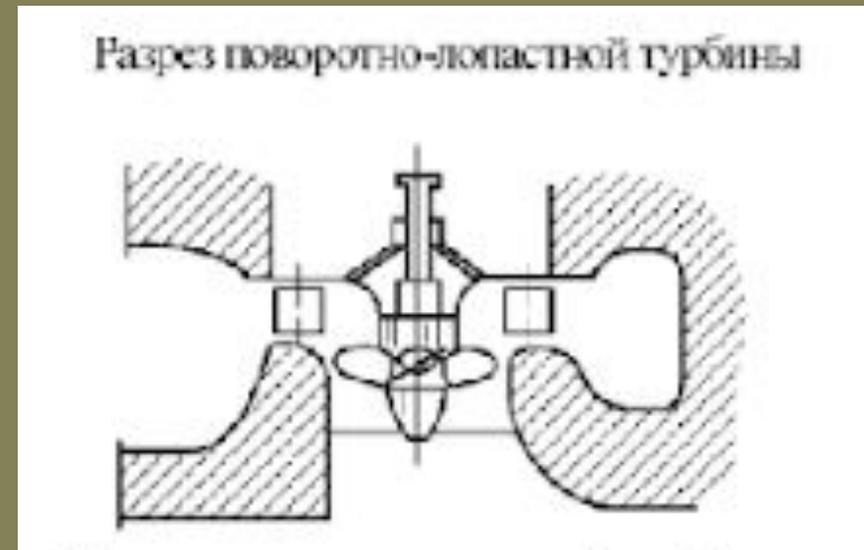
# РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ

## ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНЫЕ ТУРБИНЫ



1 – корпус рабочего колеса; 2 – камеры рабочего колеса; 3 – статор; 4 – лопатка направляющего аппарата; 5 – крышка турбины; 6 – днище; 7 – крестовина; 8 – штек; 9 – цилиндр сервомотора; 10 – поршень сервомотора; 11 – лопасть рабочего колеса; 12 – обшивочка конуса отсасывающей трубы; 14 – вал турбины; 15 – вал гидрогенератора; 16 – опора подпятника

- Поворотно-лопастная гидравлическая турбина  
Осевая или диагональная гидравлическая турбина с поворотными лопастями рабочего колеса



- Угол поворота лопастей регулируется таким образом, чтобы при различных мощностях турбины ее КПД был максимальным. Поворот лопастей осуществляется автоматически, с использованием масла под давлением

# РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ ПОВОРОТНО-ЛОПАСТНЫЕ ТУРБИНЫ

- Жидкость в пропеллерной и поворотно-лопастной турбинах имеет осевой направление



- Поворотно-лопастные турбины наилучшие показатели по КПД, но не могут применяться на высоконапорных ГЭС



# РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫЕ ТУРБИНЫ

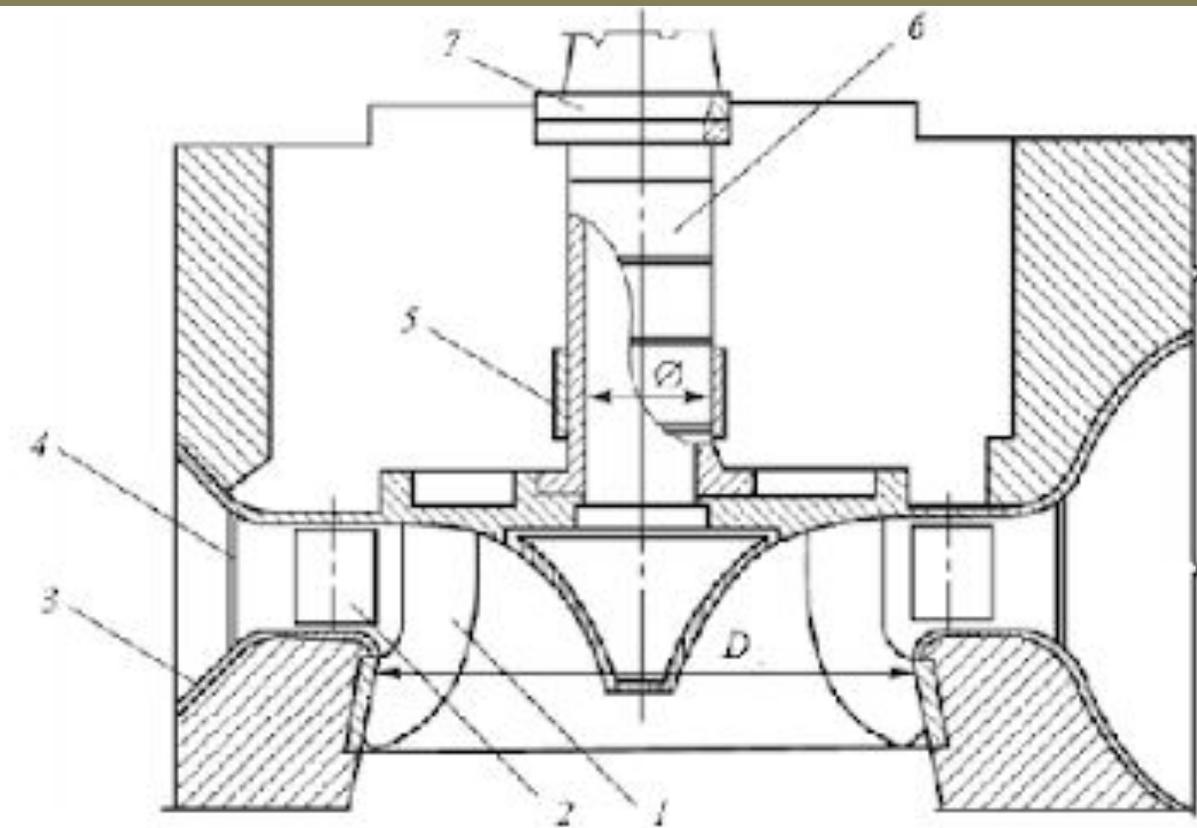


Рис. 4.14а. Радиально-осевая турбина:

1 – лопастка рабочего колеса; 2 – лопатка направляющего аппарата; 3 – облицовка спирали; 4 – статор; 5 – подшипник; 6 – вал; 7 – муфта

- Радиально-осевая гидравлическая турбина  
Гидравлическая турбина, в рабочем колесе которой вода движется по криволинейным поверхностям вращения, изменяющим направление потока от радиального к осевому

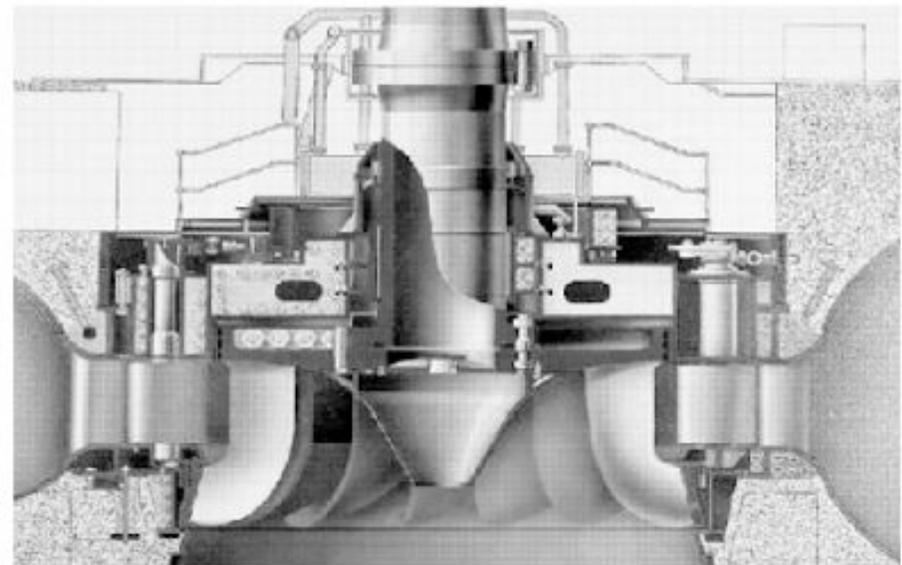


Рис. 4.14б. Радиально-осевая турбина Братской ГЭС

# РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ РАДИАЛЬНО-ОСЕВЫЕ ТУРБИНЫ

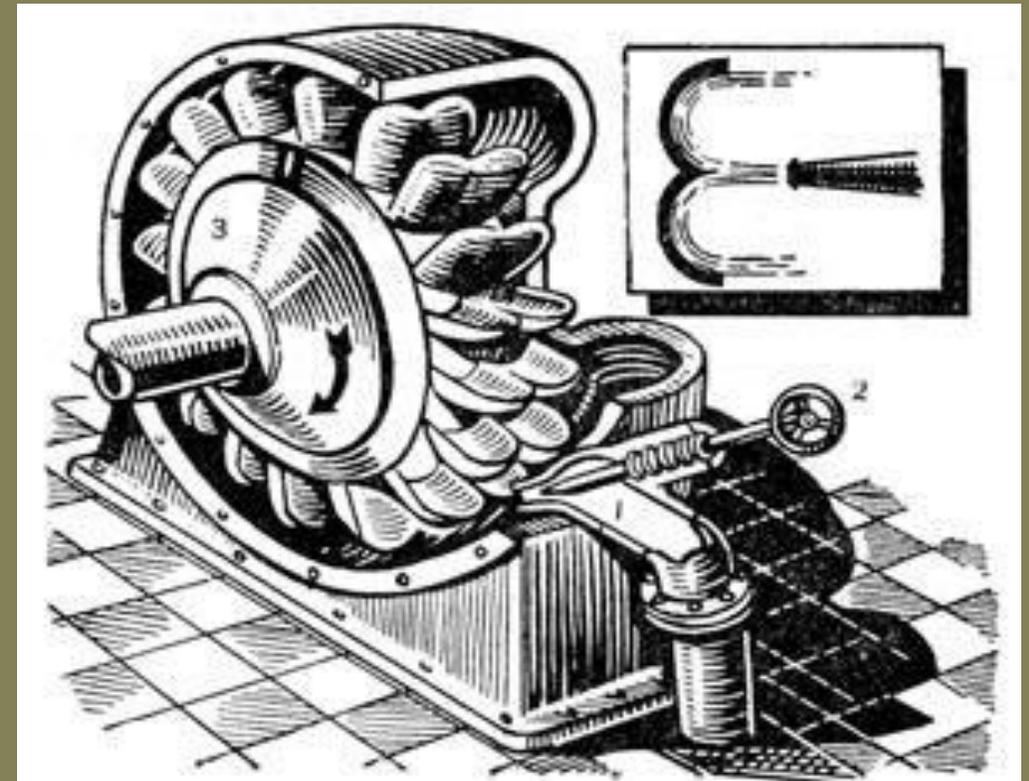


- Радиально-осевые турбины самые крупные по параметрам мощности и напора

# АКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ



Ковшовая гидравлическая турбина - активная гидравлическая турбина, лопасти рабочего колеса которой имеют форму ковша

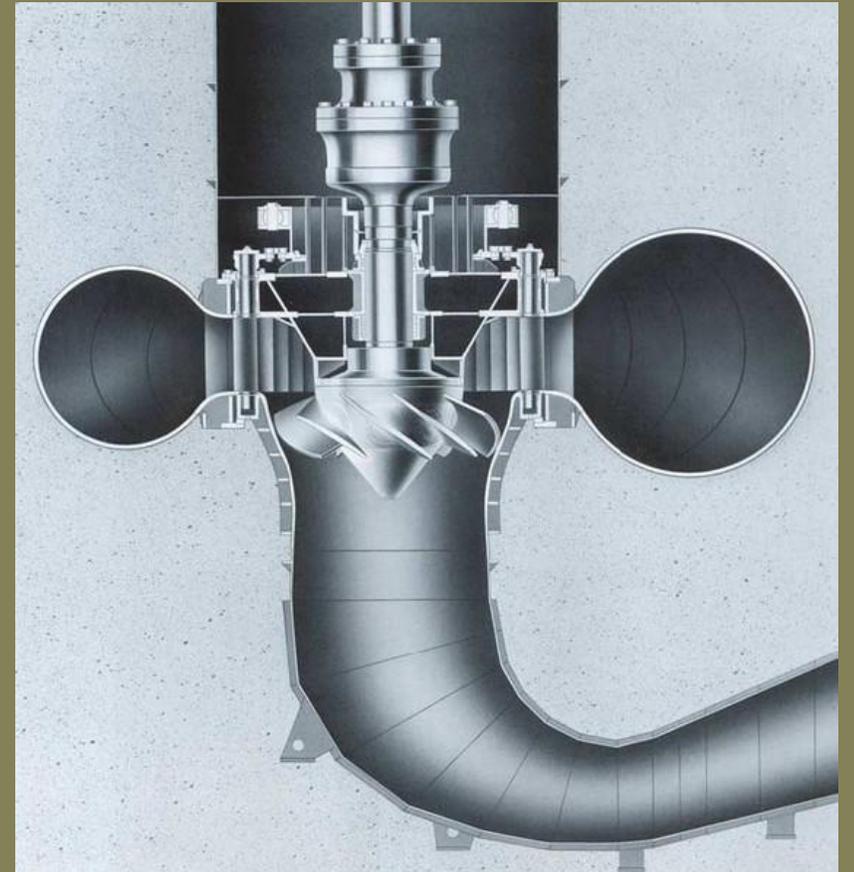


# РЕАКТИВНЫЕ ТУРБИНЫ ДИАГОНАЛЬНЫЕ

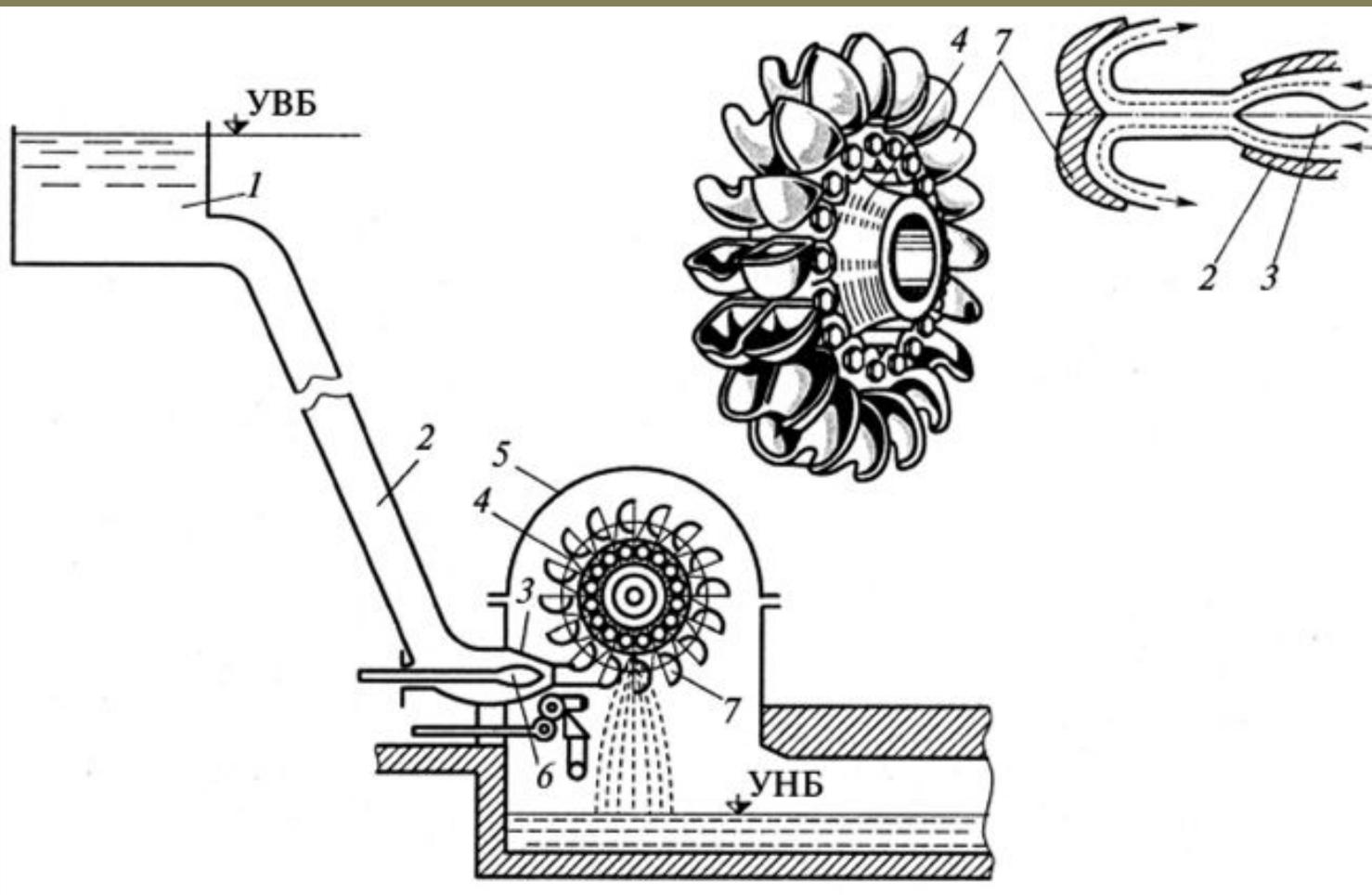
**Диагональная гидравлическая турбина** Гидравлическая турбина, в рабочем колесе которой вода движется по поверхностям, близким к коническим



У диагональной турбины наклон лопастей составляет 30-60 градусов. При этом лопасти могут поворачиваться как у поворотно-лопастной турбины. Данные турбины могут быть использованы при высоких напорах 30-150м. Эффективны при значительных изменениях напоров и расходов



# СХЕМА КОВШОВОЙ ТУРБИНЫ



- 1 — бассейн верхнего уровня (бьефа);
- 2 — турбинный трубопровод;
- 3 — сопло;
- 4 — рабочее колесо; 5 — кожух;
- 6 — регулировочная игла;
- 7 — лопасти (ковши)

В *ковшовой активной* турбине потенциальная энергия гидростатического давления в суживающейся насадке — сопле — полностью превращается в кинетическую энергию движения воды. Рабочее колесо турбины выполнено в виде диска, по окружности которого расположены ковшеобразные лопасти (7). Вода, огибая поверхности лопастей, меняет направление движения. При этом возникают центробежные силы, действующие на поверхности лопастей, и энергия движения воды преобразуется в энергию вращения колеса турбины.

Если скорость движения воды, вытекающей из турбины, равна нулю, то вся кинетическая энергия воды, не считая потерь, превращается в механическую энергию турбины.

Внутри сопла расположена регулировочная игла (6) перемещением которой меняется выходное сечение сопла, а следовательно, и расход воды.

## ПАРАМЕТРЫ ТУРБИН

Тип турбины	Напор, м	Мощность, МВт	Диаметр, м	Число лопастей турбины
Пропеллерная, П	1...80	До 150	0,35...9	3...10
Поворотно-лопастная, ПЛ	2...80	До 250	1...10	3...8
Радиально-осевая, РО	30...550	До 700	1...7,5	18...21
Ковшовая, К	300...1700	До 110	0,36...6	14...25

# НОМЕНКЛАТУРЫ ГИДРОТУРБИН

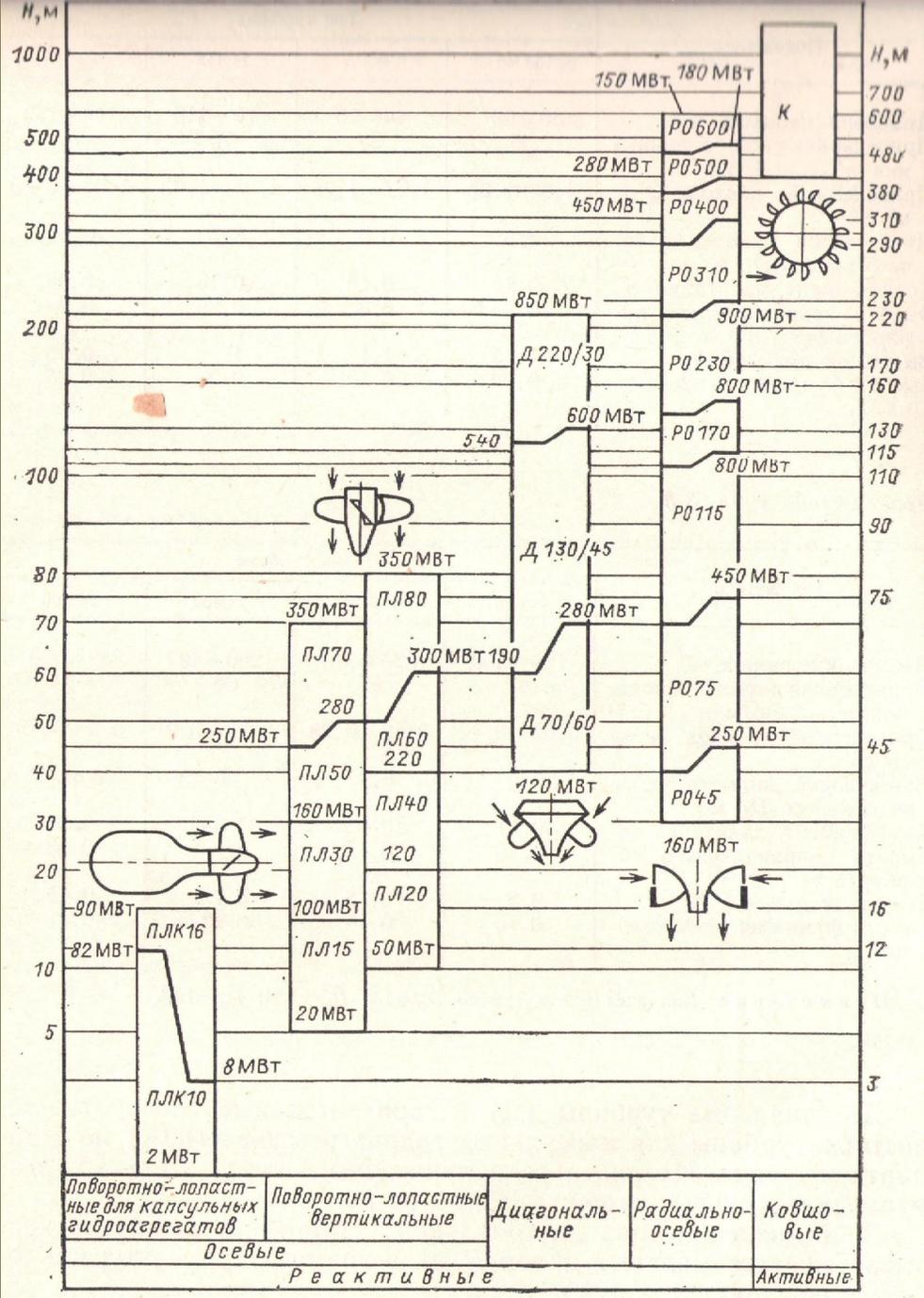
- Наиболее распространены поворотно лопастные (ПЛ) и радиально-осевые (РО). На них составлена номенклатура (ГОСТ 27528-87 Турбины гидравлические поворотно-лопастные, радиально-осевые. Типы. Основные параметры)

Наименование основного параметра	Тип рабочего колеса							
	PO45	PO75	PO115	PO170	PO230	PO310	PO400	PO500 PO600
Относительный диаметр $D_2^*$	От 1,03 до 1,27	От 0,98 до 1,22	От 0,93 до 1,17	От 0,83 до 1,07	От 0,75 до 0,97	От 0,70 до 0,90	От 0,62 до 0,78	От 0,58 до 0,72
Относительная высота направляющего аппарата, $k_p^{**}$ , не менее	0,30	0,28	0,21	0,19	0,12	0,09	0,08	0,075
Оптимальная приведенная частота вращения, $n_{пр}^{opt}$ , об/мин	От 75 до 95	От 70 до 90	От 65 до 80	От 65 до 75	От 60 до 70	От 60 до 70	От 55 до 65	От 55 до 65
Приведенный расход максимальный по линии 5% запаса мощности, $Q_{max}^*$ , м <sup>3</sup> /с	От 1,20 до 1,80	От 1,10 до 1,50	От 0,90 до 1,25	От 0,60 до 1,00	От 0,40 до 0,70	От 0,30 до 0,50	От 0,25 до 0,40	От 0,15 до 0,35

Наименование основного параметра	Тип рабочего колеса							
	III15	III20	III30	III40	III50	III60	III70	III80
Число лопастей рабочих колес	От 3 до 4	От 4 до 5	От 5 до 6	От 6 до 7	От 6 до 9	От 7 до 9	8	8
Втулочное отношение $d_{в.}^*$	От 0,35 до 0,40	От 0,37 до 0,42	От 0,40 до 0,50	От 0,44 до 0,52	От 0,47 до 0,55	От 0,51 до 0,57	От 0,56 до 0,60	От 0,60 до 0,63
Относительная площадь направляющего аппарата $k_c^{**}$	От 0,40 до 0,43	От 0,38 до 0,41	От 0,37 до 0,40	От 0,35 до 0,38	От 0,35 до 0,38	От 0,32 до 0,38	От 0,32 до 0,35	От 0,32 до 0,35
Оптимальная приведенная частота вращения, $n_{пр}^{opt}$ , об/мин	От 145 до 180	От 130 до 160	От 120 до 140	От 110 до 130	От 105 до 120	От 100 до 115	От 95 до 115	От 95 до 115
Приведенный расход максимальный по условию обеспечения безкавитационной работы, $Q_{max}^*$ , м <sup>3</sup> /с	От 1,80 до 2,40	От 1,50 до 2,30	От 1,40 до 2,10	От 1,20 до 1,85	От 1,00 до 1,65	От 0,90 до 1,45	От 0,80 до 1,30	От 0,70 до 1,30

## ПРОЧИЕ РАЗНОВИДНОСТИ ТУРБИН

- **Осевая гидравлическая турбина** Гидравлическая турбина, в рабочем колесе которой вода движется по поверхностям, близким к цилиндрическим
- **Прямоточная гидравлическая турбина** Осевая гидравлическая турбина с осевым подводом и отводом воды
- **Капсульная гидравлическая турбина** Прямоточная гидравлическая турбина, являющаяся приводом генератора, заключенного в капсулу, обтекаемую водой
- **Вертикальная гидравлическая турбина** Гидравлическая турбина с вертикальным валом
- **Горизонтальная гидравлическая турбина** Гидравлическая турбина с горизонтальным валом



# ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБИН РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ