

# Лекция 4.

## 1. Структурные схемы устройств преобразования энергии первичных источников в электрическую по схеме возобновляемые источники – электроэнергия.

1. По данным Мирового Энергетического совета, представившего варианты прогноза ввода новых возобновляемых источников энергии, к 2020 году их доля в общем балансе производства электроэнергии составит 8...12% (см. табл.).

### Прогноз вклада ВИЭ в общее энергопотребление

№ п/п	Вид нетрадиционных энергоресурсов	Вариант прогноза и вклад возобновляемых источников энергии			
		минимальный		максимальный	
		млн т н.э.	%	млн т н.э.	%
1	Современная биомасса	243	45	561	42
2	Солнечная энергия	109	20	355	26
3	Ветровая, геотермальная энергия, малые ГЭС, твердые бытовые отходы	187	35	429	32
	ВСЕГО	539	100	1345	100
	Доля общего первичного энергопотребления, %	3...4		8...12	

По оценке Американского общества инженеров-электриков, если к 1980 году доля производимой в мире электроэнергии на основе возобновляемых источников составляла 1%, в 2003г. – 5%, то к 2020 г. она составит 13%, а в 2060г. – 33%. Российская Федерация располагает значительными возобновляемыми энергоресурсами, что иллюстрируется таблицей

### Ресурсы НВИЭ России

№ п/п	Возобновляемые энергоресурсы	Потенциал нетрадиционных источников энергии, т условного топлива		
		Валовый, млрд т	Технический, млрд т	Экономический, млн т
1	Гидроэнергоресурсы для малых ГЭС	0,36	0,125	65...70
2	Геотермальная энергия	180000	20000	115...150
3	Энергия биомассы	10	0,05...0,07	35...50
4	Энергия ветра	26	2	12...15
5	Солнечная энергия	2300	2,3	13...15
6	Низкопотенциальное тепло	0,525	0,105	30...35
ВСЕГО		183000	25000	270...335

Потребность расширения использования возобновляемых источников энергии и местных энергоресурсов для России актуальна в связи с тем, что порядка 20 млн человек, проживающих на 70% территории страны, не имеют централизованного энергоснабжения. Россия обладает значительными ресурсами растительной биомассы. Так отходы лесопереработки составляют более 53 млн м<sup>3</sup>, что почти полностью покрывает потребность в древесине на топливные нужды (57 млн м<sup>3</sup>). Кроме того, в городах образуются твердые бытовые отходы (более 400 кг/чел в год), 50% которых составляет органическая часть. В целом, доступные для производства энергии ресурсы растительной биомассы эквивалентны 400 млн т у.т., а по некоторым расчетам – до 1 млрд т у.т.

Немаловажным стимулом развития нетрадиционной энергетики является рост цен на 1 кВтч электроэнергии, произведенной различными способами (см. таблицу).

Наряду с устойчивой тенденцией роста капитальных вложений в традиционную энергетику в настоящее время наблюдается существенное снижение удельных капитальных вложений в нетрадиционной энергетике. Так за период с 1980 по 1998гг. удельные капиталовложения на тепловых электростанциях повысились с 750 долл/кВт до 1000...1100 долл/кВт, на атомных электростанциях – с 1500долл/кВт до 2200 долл/кВт. За этот же период капитальные вложения в ветроустановки снизились с 4000 долл/кВт до 900 долл/кВт, стоимость фото-

электрических модулей – с 50000 долл/кВт до 4000...5000 долл/кВт.

Кроме того, следует учитывать и тот факт, что крупная тепловая электрическая станция строится 6...8 лет, гидроэлектростанция – 10...12 лет, а ветростанция мощностью 50 МВт – за 5...6 месяцев (за рубежом).

**Усредненные максимальные и минимальные цены на электроэнергию  
от разных источников [17]**

№ п/п	Тип источника энергии	Цена, цент/кВтч	
		Максимальная	Минимальная
1	Микро- и малые ГЭС	4	3
2	Ветроэлектростанции	5	4
3	Геотермальные станции	6	5
4	ТЭС на отходах деревопереработки (древесная биомасса)	7	6
5	ТЭС на продуктах газификации биомассы	9	8
6	ТЭС на биогазе свалок твердых бы- товых отходов (ТБО)	8	4,5
7	ТЭС на твердых бытовых отходах (ТБО)	7	4,5
8	Солнечные термодинамические электростанции	10	8
9	Фотоэлектрические электростанции	28	20
10	Тепловые электрические станции (ТЭС) на угле	8	5,2
11	Экологически чистые ТЭС	9	7
12	ТЭС на газе	6,5	5
13	Газотурбинные (ГТ) электростанции с комбинированным циклом	5	3,7
14	Атомные электростанции	8	4

**Факторы**, стимулирующие использование возобновляемых источников энергии:

- обеспечение энергетической безопасности (смягчение зависимости от импорта нефти);
- экологические аспекты производства энергии (выбросы парниковых газов);
- сохранение запасов собственных энергоресурсов (для неэнергетического использования);
- расширение рынков сбыта;
- обеспечение электроснабжения удаленных районов;
- предотвращение или снижение ограничений на потребление энергии;
- развитие собственной промышленности.

Рассмотрим принцип работы и технологические особенности энергетических установок на нетрадиционных возобновляемых источниках энергии.

### **Гелиоэнергетика.**

Огромный энергетический потенциал Солнца (ежегодно на Землю попадает энергия эквивалентная 50 трлн. т у.т.) распределяется с плотностью порядка 150...250 Вт/м<sup>2</sup>. Для использования энергии применяют три основные технологии:

- гелиоустановки горячего водоснабжения и отопления с помощью солнечных коллекторов, дающих низкотемпературное тепло. Применяются для обогрева, кондиционирования, опреснения морской воды, технологических процессов в сельском хозяйстве по переработке продуктов питания, кормов и т.д.;

- солнечные электростанции, на которых с помощью системы ориентированных на солнце отражателей (параболоидов или параболических цилиндров), в фокусе которых размещаются емкости или трубы с теплоносителем, нагреваемым до кипения, пар которого используется в паросиловом цикле, рассмотренном выше. Для получения энергии в темное время суток станция дополняется газовой тепловой электрической станцией;

- фотоэлектрические станции, где происходит прямое преобразование солнечной энергии в электрическую в батареях фотоэлементов.

Наиболее перспективными направлениями на текущий момент являются коллекторные гелиоустановки и станции на фотоэлементах, обладающих КПД в 20...25%.

Конструкция фотоэлемента представлена на рис. 9, характеристика солнечного элемента – на рис. 10. Принцип действия заключается в следующем. При облучении элемента световым потоком генерируется постоянный ток, часть которого протекает от положительного контакта к отрицательному через  $p-n$  переход, преодолевая потенциал запрещенной зоны  $E_g$ , часть (которой обычно пренебрегают) – через шунтирующее сопротивление, часть (большая) – через нагрузку.

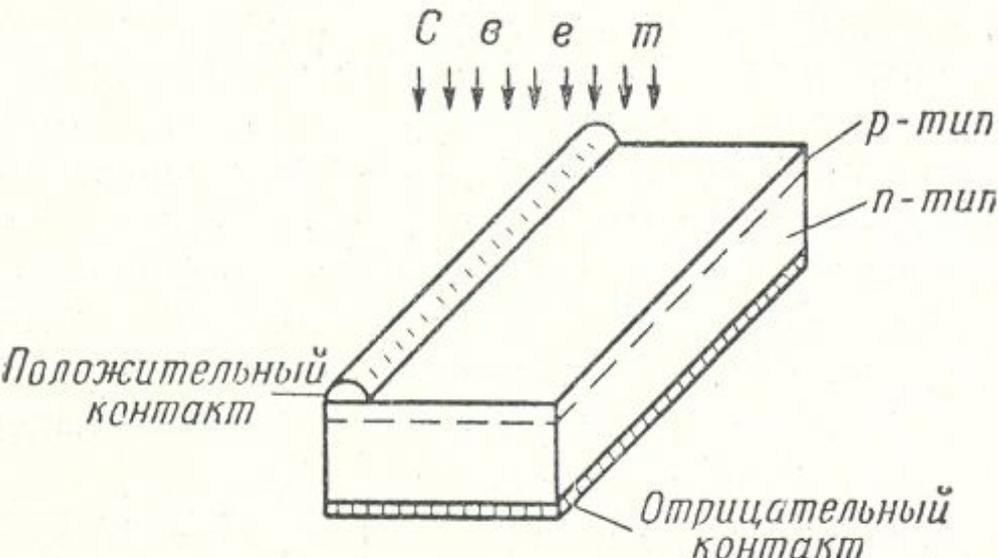


Рис. 9. Конструкция солнечного элемента

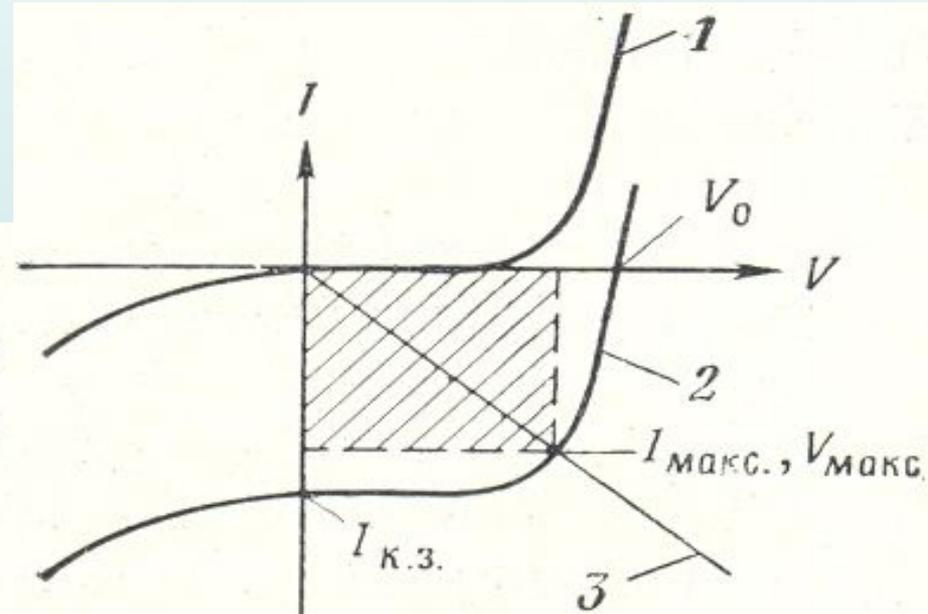


Рис. 10. Характеристика солнечного элемента

1- при отсутствии освещения; 2- при наличии освещения; 3- линия нагрузки

На рис. 10 представлены типичные вольтамперные характеристики фотоэлемента при отсутствии и наличии освещения. Обе они идентичны по виду, но смещены друг относительно друга параллельно оси абсцисс. Величина этого смещения, называемая световым током, пропорциональна интенсивности падающего света. Оптимальной нагрузкой солнечного элемента при заданном освещении является такая, которая отвечает требованию максимальной

выходной мощности прибора. Последняя в свою очередь определяется максимальной площадью вписанного между характеристиками прямоугольника.

**Коэффициент полезного действия** преобразования зависит от многих факторов (материала полупроводникового элемента, ширины запрещенной зоны, потерь на отражение светового потока и пр.), но определяется всегда по формуле

$$\eta = P_{\text{вых}} / P_{\text{св}},$$

где  $P_{\text{вых}}$  – мощность потребленной электрической энергии,  $P_{\text{св}}$  – мощность светового потока, которая может быть определена

$$P_{\text{св}} = \int_0^{\infty} N(\lambda) \frac{hc}{\lambda} d\lambda, \quad ,$$

где  $N(\lambda)d\lambda$  – количество фотонов;  $hc/\lambda$  – энергия фотона.

Кривые КПД фотоэлемента в зависимости от материала полупроводникового элемента, его температуры в функции потенциала запрещенной зоны приведены на рис. 11.

Зависимость полезно используемой части солнечной энергии от ширины запрещенной зоны полупроводника на примере кремния показана на рис. 12, а КПД – на рис. 13.

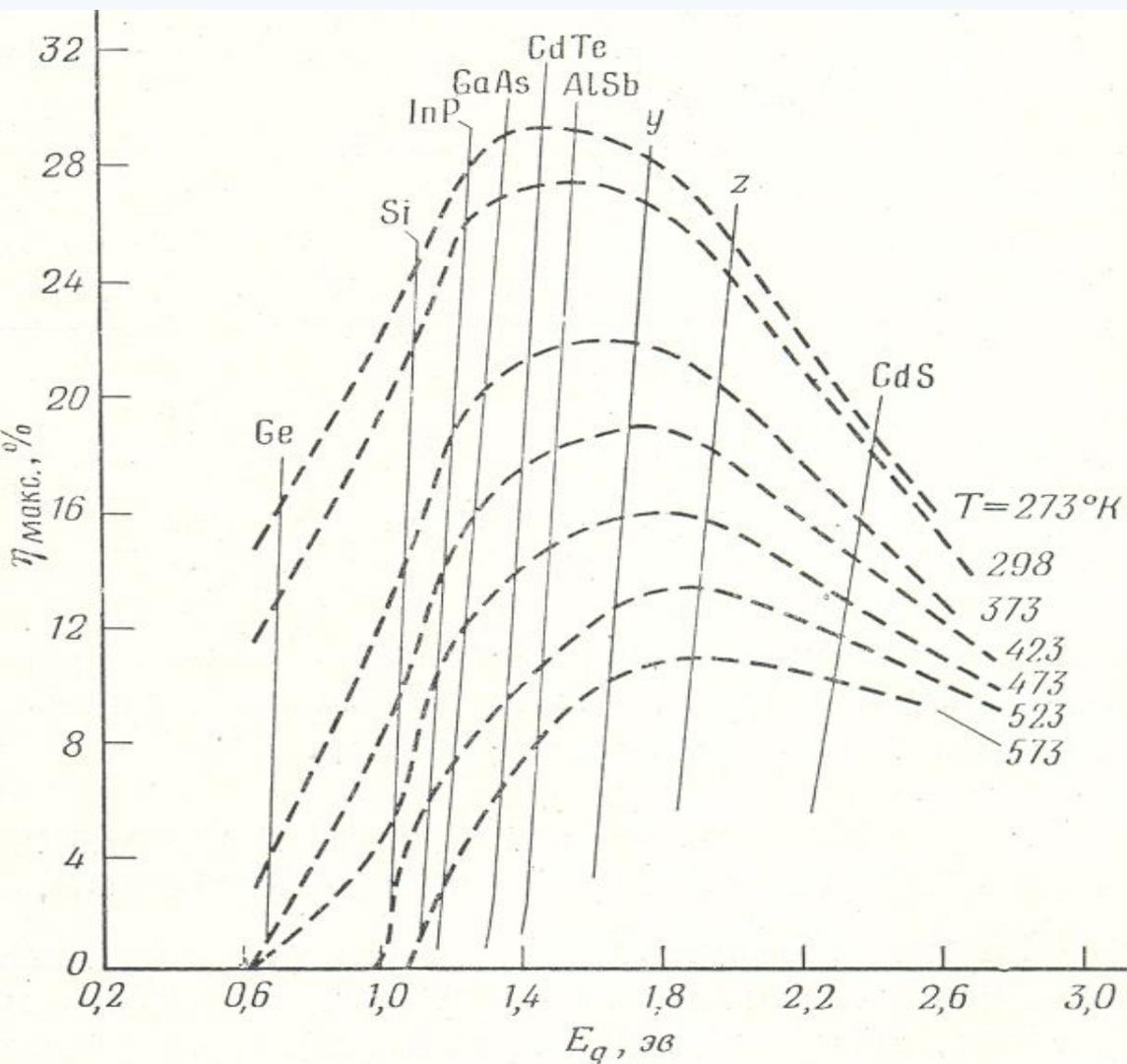


Рис. 11. Зависимости  $\eta=f(E_g)$  при различных температурах и материалах полупроводников

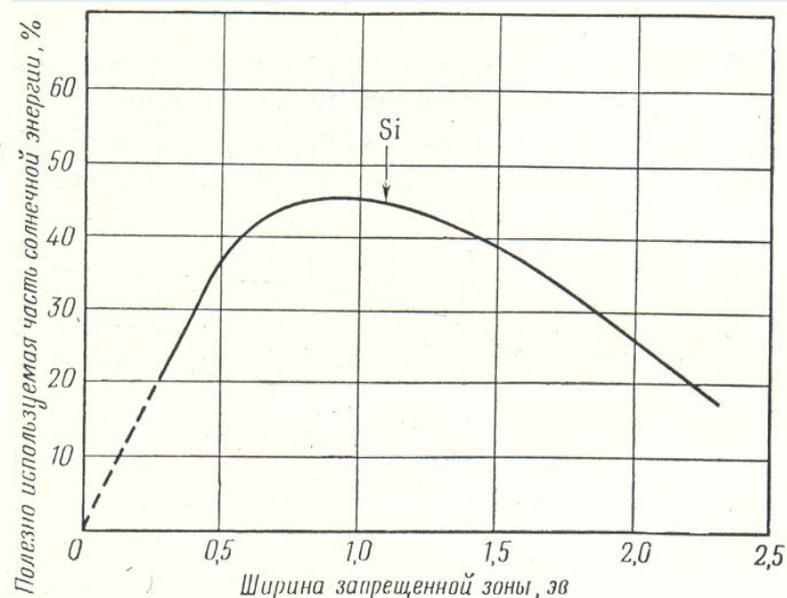


Рис. 12. Зависимость полезно используемой части солнечной энергии от ширины запрещенной зоны полупроводника

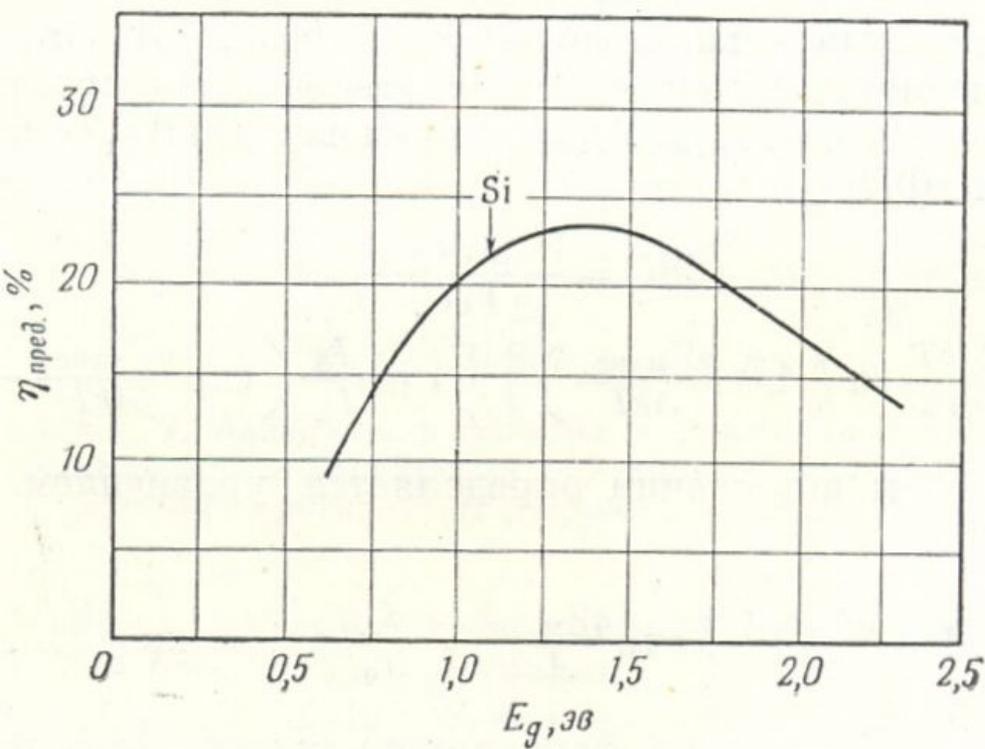


Рис. 13. Зависимость предельного КПД от  $E_g$

щую среду. В качестве генератора в установке может применять электрическая машина переменного или постоянного тока, соединяющаяся через редуктор с винтом.

При использовании машины постоянного тока возникает проблема стабилизации выходного напряжения при изменении скорости вращения винта. Кроме того, поскольку основными потребителями энергии являются потребители на переменном токе, то в комплект установки необходимо включать преобразователь постоянно-переменного тока.

При использовании в качестве генераторов переменного тока синхронных или асинхронных машин возникает проблема стабилизации частоты питающей сети при изменении скорости ветра.

**Ветроэнергетические установки** могут быть выполнены на базе ветроколеса с лопастями (или винта) и карусельного типа с вертикальным расположением оси вращения. Последние в силу тихоходности требуют либо установки редуктора с большим передаточным числом, либо применения специальных низкооборотных многополюсных генераторов.

Основные проблемы применения – сохранение работоспособности в диапазоне скоростей ветра от 1...2 м/с до 25 м/с и выше, а также шумовые нагрузки на окружающую

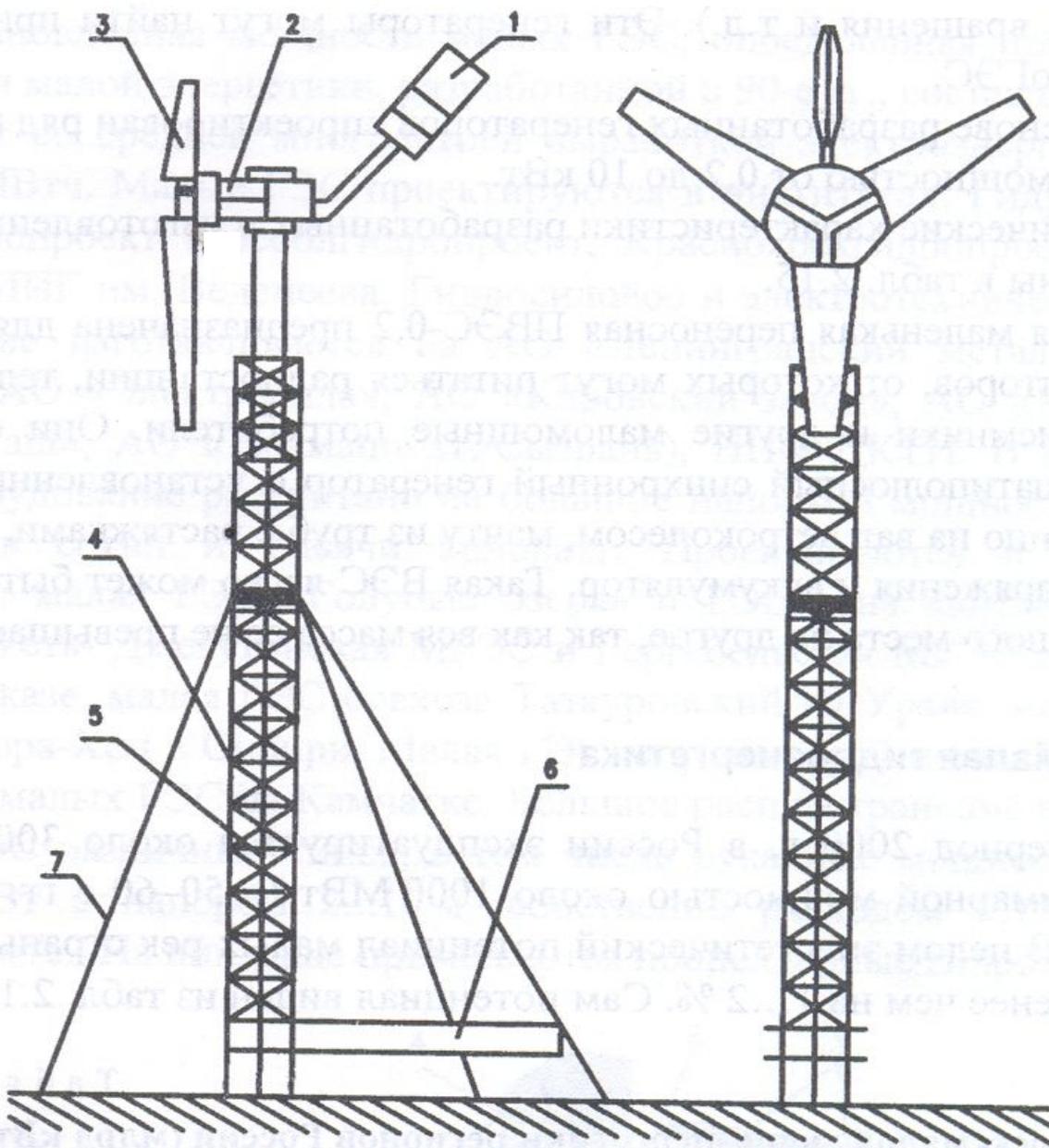


Рис. 14. Конструкция ветроустановки  
 1- стабилизатор; 2- генератор; 3- лопасть винта; 4- мачта; 5- кабель; 6- падающая мачта; 7- растяжка

Применение трехфазного асинхронного генератора ведомого сетью позволяет решить эту проблему.

Одна ветроустановка мощностью 1 МВт при среднегодовой скорости ветра 6 м/с позволяет сэкономить 1 тыс. т у.т. в год.

На рис. 14 приведена конструкция трехлопастной винтовой ветроустановки.

### Гидроэнергетика.

Нетрадиционная гидроэнергетика, рассчитанная в отличие от малых и микроГЭС на большие мощности, связана с использованием энергии приливов, волн и течений. Максимальная высота приливов в благоприятных по условиям местах достигает 10 м.

Приливные электростанции располагаются в створе плотины и пропускают через свои турбины воды приливного и отливного потоков.

На рис. 15 приведена конструкция приливной электростанции мощностью 450 кВт. В теле плотины установлены 2 турбины, приводимые во вращение потоком воды, направляемой в водохранилище во время прилива и обратно – во время отлива. Перепад воды составляет 8 метров.

Разрабатываются также приливные электростанции поплавкового типа, в которых используется потенциальная энергия воды, поднимающая поплавки.

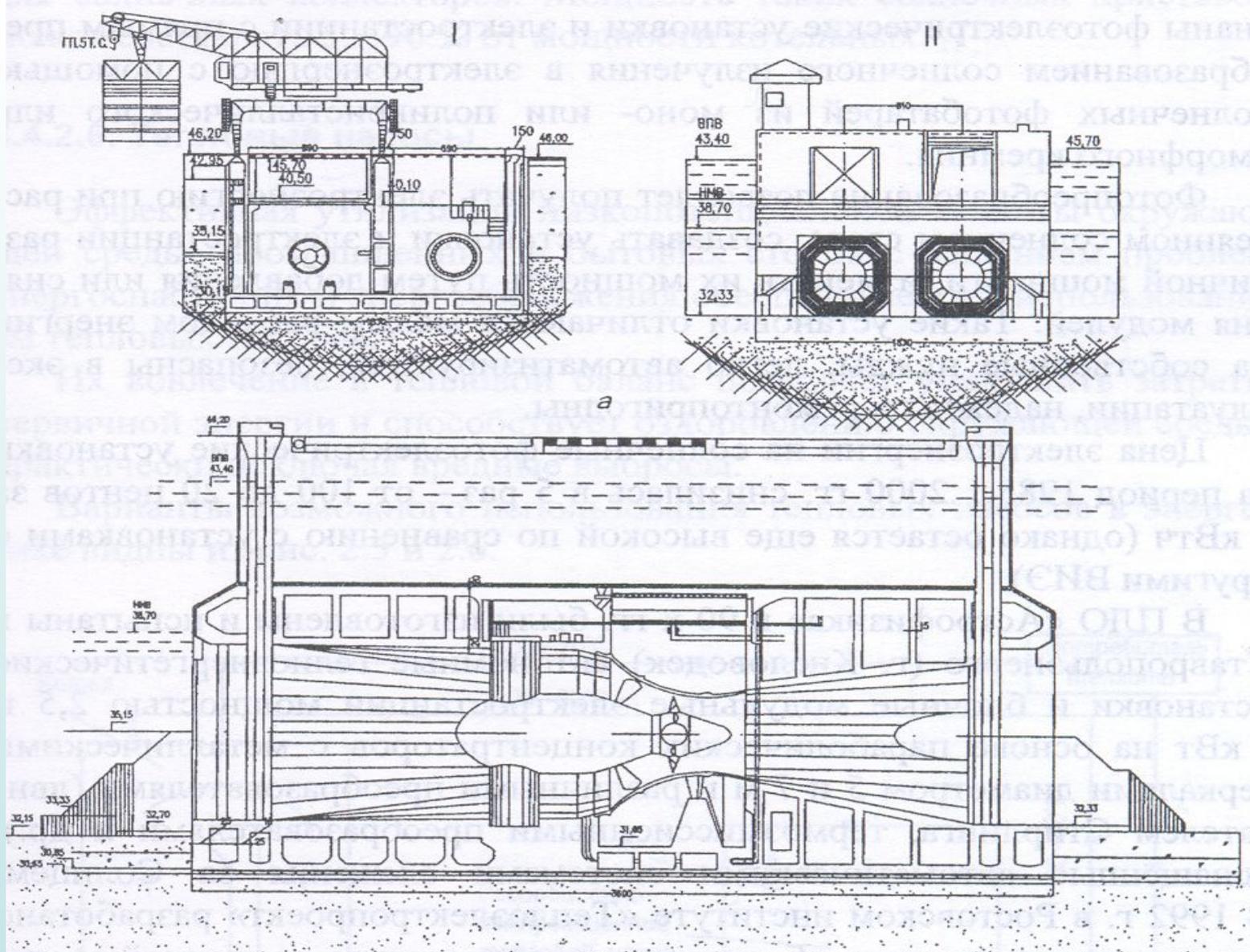
Волноприбойные электростанции строятся по поплавковому принципу, либо по поршнево-му, при котором колебания уровня воды в вертикальных колодцах используются в качестве «поршней», прогоняющих через турбину воздух, находящийся в этих колодцах.

Моретермальные станции используют тепловую энергию океана за счет перепада температур верхнего и глубинного слоев воды (температура воды на глубине первой сотни метров составляет до 20°C). Принцип работы такой станции был рассмотрен ранее.

Наиболее перспективными направлениями развития гидроэнергетики считают (кроме развития гидроаккумулирующих станций – ГАЭС) малые ГЭС (мощностью до 30 МВт) и микроГЭС (мощностью до 0,1 МВт).

Для малых ГЭС с гидроагрегатами, работающими при малых (до 2...5 м) и больших расходах воды могут найти применение наплавные микроГЭС. На рис. 15 приведена конструкция двухагрегатной наплавной микроГЭС мощностью 2×15 кВт на напряжение 380В частотой 50Гц. Диаметр рабочего колеса – 1800мм, размеры платформы - 9000×6500×300 мм.

По экспертным оценкам экономический гидроэнергетический потенциал, пригодный для эксплуатации малыми и микроГЭС, составляет 35% от мирового гидроэкономического потенциала.



б

Рис. 15. Приливная электростанция мощностью 450 кВт.  
 а – поперечный разрез (I- вид со стороны водохранилища, II – вид со стороны моря); б – продольный разрез

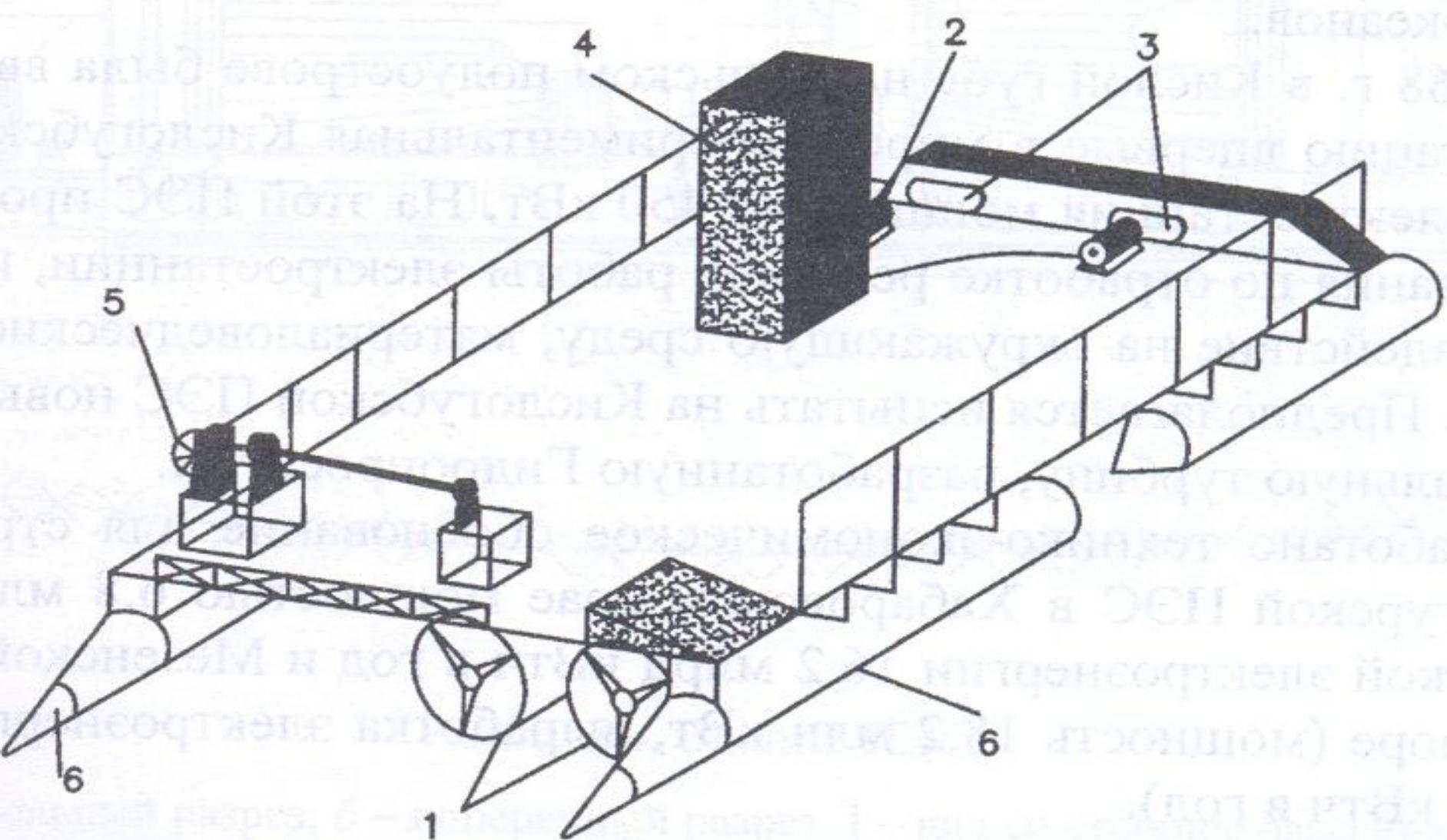


Рис. 15. Малая наплавная ГЭС мощностью 30 кВт

1 – турбина; 2 – генератор; 3 – редуктор; 4 – трансформатор; 5 – система подъёма и стопорения турбины; 6 - понтон