

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

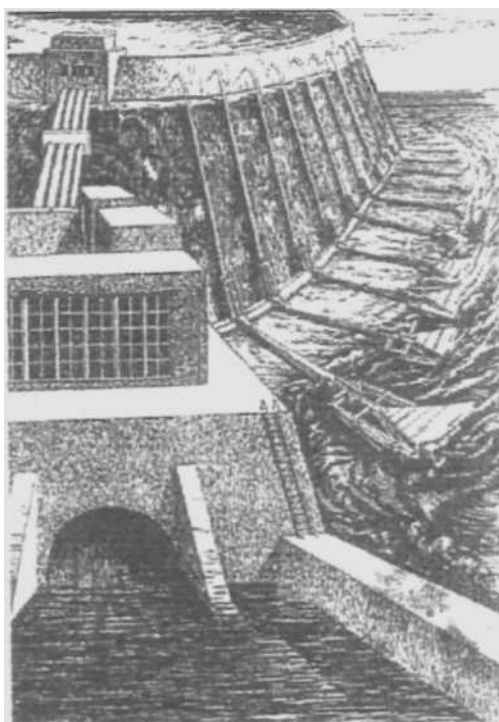
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
(ННГАСУ)**

**Факультет инженерно-экологических систем и сооружений**

**Кафедра теплогазоснабжения**

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения  
теплоты в системах теплоснабжения: энергия воды океанов, морей  
и рек**

Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей  
140104.65 Промышленная теплоэнергетика и 270109.65 Теплогазоснабжение и  
вентиляция



Нижегород  
ННГАСУ  
2013

УДК 621.311.23/26:620.9(0.75.8)

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения теплоты в системах теплоснабжения: энергия воды океанов, морей и рек [Текст]:** Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика и 270109.65 Теплогазоснабжение и вентиляция. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет: сост. Г.М. Климов. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2013. – 43 с.: ил.

В методической разработке приведена информация об основных реализуемых направлениях использования энергии воды океанов, морей и рек. При получении теплоты на базе различных видов энергии воды в основном реализуют ступенчатый метод, включающий первоначально получение электроэнергии, а затем на её основе – тепловой энергии. Приводимая информация предназначена для использования студентами указанных специальностей (140104.65 и 270109.65) при написании рефератов по выбранной конкретной теме данного направления.

Рис. 23. Табл. 3. Библиография 8 назв.

Составитель: Г,М. Климов

Рецензент – доцент каф. ТГС Е.Н. Цой

Компьютерный набор – Т.В. гр. 379, Соловьева Ю.Е. гр. 379, Милюхина С.С. гр. 306

## Содержание

	<b>Стр.</b>
1. Энергия воды мирового океана (основные сведения) .....	4
1.1. Энергия океана: основные сведения об использовании энергии приливов .....	5
1.1.1. Луна в рабочей упряжке .....	6
1.2. Использование энергии приливов и морских течений .....	11
1.2.1. Дополнительные сведения об использовании энергии приливов.....	11
1.2.2. Мощность приливных течений и приливного подъёма воды .....	13
1.2.3. Энергия океанских течений .....	15
1.2.4. Использование энергии океанских течений.....	15
1.2.4.1. Общая характеристика технических решений .....	16
1.2.4.2. Энергия океанских течений .....	20
1.3. Энергия разности солёности .....	24
1.4. Энергия водорослей .....	25
1.5. В свободной струе .....	28
Приложение А (справочное) Энергия прилива .....	32
ПА.1 Немного истории .....	32
ПА.2 Предпосылки для использования энергии прилива .....	33
ПА.3 Советский метод строительства ПЭС.....	34
Приложение Б (справочное) Возможности бесплотинных ГЭС .....	38

## 1. Энергия воды мирового океана (основные сведения)

Океаны покрывают более 70% поверхности земли, что составляет примерно 360 млн. км<sup>2</sup>. Основная доля энергии, поступающей в Мировой океан - результат поглощения им солнечного излучения. Энергия поступает в океан также в результате гравитационного взаимодействия космических тел и водных масс планеты, создающей приливы, и поступления теплоты из глубины планеты. Большая часть поверхности океана постоянно свободна ото льда и хорошо поглощает солнечное излучение. В океанской воде примерно 65% солнечного излучения поглощается первым метром водной толщи и до 90% – десятиметровым водным слоем. В дневное время в низких широтах вода прогревается примерно на 10 м и более за счёт процессов теплопроводности и турбулентного перемешивания (твёрдая поверхность суши прогревается более чем на 0,5 м).

Запасенная океаном теплота частично в виде длинноволнового излучения ( $\lambda > 10$  мкм) переизлучается, а частично передается в атмосферу 70° с.ш. и теплопроводным пограничным слоем и вследствие испарения. Относительная роль этих процессов различна для разных районов планеты, но на широтах от 70° с.ш. и 70° ю.ш. характеризуется примерно одинаковыми значениями: длинноволновое излучение в атмосферу и космическое пространство 41%; передача теплоты атмосфере за счёт теплопроводности 5%; потери на испарение 54%.

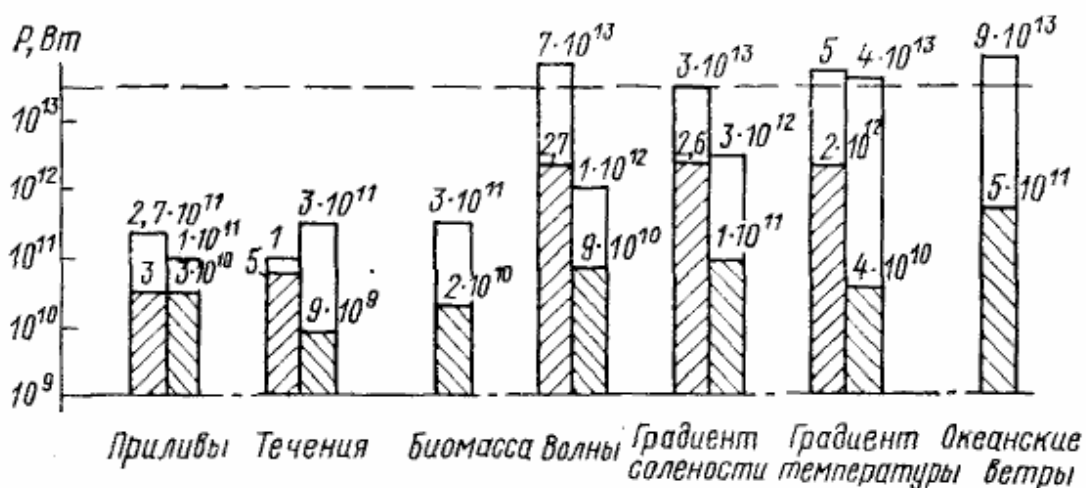


Рис 1. Распределение океанских источников энергии по мощности (правые - по оценкам 1977 г., левые - по оценкам 1982 г.)

За счёт движения воздушных и водных масс запасенная океаном энергия переносится по всей планете, причём между экватором и 70° с.ш. в среднем 40% теплоты переносится океанскими течениями, а на 20° с.ш. вклад океана в перенос энергии составляет до 74%. Ежегодно с поверхности океана испаряется слой воды толщиной

примерно 1 м (около  $340 \cdot 10^{12}$  т) и около  $36 \cdot 10^{12}$  т воды возвращается со стоком рек, ледников и т.п.

Примерно 2/3 суммарного солнечного излучения испытывают в океане и на поверхности суши различные изменения: преобразуется в тепло 43%; расходуется на испарение, образование осадков 22%; сообщения энергии рекам, ветру, волнам, различным видам течений в океане 0,2%. Примерно 0,02% всей энергии воспринятого солнечного излучения идёт на образование продукции фотосинтеза и частично на образование ископаемого топлива.

Соизмерим с этой величиной поток энергии, поступающей из недр Земли в виде приливной энергии. Выделить из указанных потоков те, что непосредственно имеют отношение только к океану, достаточно трудно. Для энергетики важны не абсолютные величины мощностей различных источников, а лишь их часть, которую можно преобразовать в требуемые для хозяйственной энергетики виды энергии.

В нашем индустриальном обществе от энергии зависит все. С ее помощью движутся автомобили, улетают в космос ракеты. С ее помощью можно поджарить хлеб, обогреть жилище и привести в действие кондиционеры, осветить улицы, вывести в море корабли.

Мир наполнен энергией, которая может быть использована для совершения работы разного характера. Энергия может находиться в людях и животных, камнях и растениях, в ископаемом топливе, деревьях и воздухе, в реках и озерах. Однако самыми большими резервуарами накопленной энергии являются океаны – огромные пространства непрерывно перемещающихся водных потоков, покрывающих около 71% всей земной поверхности.

### **1.1. Энергия океана: основные сведения об использовании энергии приливов.**

Известно, что запасы энергии в Мировом океане колоссальны. Так, тепловая (внутренняя) энергия, соответствующая перегреву поверхностных вод океана по сравнению с донными, скажем, на 20 градусов, имеет величину порядка  $10^{26}$  Дж. Кинетическая энергия океанских течений оценивается величиной порядка  $10^{18}$  Дж. Однако пока люди умеют утилизировать лишь ничтожные доли этой энергии, да и то ценой больших и медленно окупающихся капиталовложений.

**Энергия океана - ещё не тронутая кладовая ресурсов энергии.** К этому огромному источнику природных энергетических ресурсов все чаще обращается внимание ученых, изобретателей, инженеров. На тихоокеанском научном конгрессе – крупнейшем форуме Международной тихоокеанской ассоциации, проходившем в СССР, в Хабаровске, в августе 1979 г., обсуждались возможные направления использования энергетических ресурсов океана.

В числе основных установок, использующих энергию океана, в настоящее время рассматриваются приливные электростанции (ПЭС), волновые электростанции (ВолЭС) и электростанции морских течений (ЭСМТ). Здесь происходит преобразование механической формы энергии океана в электрическую. Отдельное направление составляют энергоустановки, использующие наличие температурного градиента между верхними и нижними слоями мирового океана, – так называемые гидротермальные электростанции (ГиТЭС), а также гидротермальные энергоустановки, использующие температурный градиент между водой океана и воздушными массами в северных районах. Существуют два важных направления извлечения энергии океана: биологические ресурсы и продукты их переработки, а также использование эффектов взаимодействия растворов солей различных концентраций. Однако эти направления – предмет самостоятельного исследования, и относятся они не к области физико-технических проблем энергетики, а к области биологических и физико-химических дисциплин. Рассмотрим основные возможные направления энергетического использования ресурсов океана.

**Наиболее очевидным способом использования океанской энергии представляется постройка приливных электростанций (ПЭС).**

*Приливные электростанции* – новое направление энергопроизводства, находящееся еще в стадии опытно-экспериментального исследования. Потенциально энергия приливов – это значительные по ресурсам запасы. Предполагают, что только часть мощности приливов, которая рассеивается на трение и вихревое движение масс воды, составляет около 1 млрд. кВт, что соответствует энергетическому потенциалу почти всех рек мира. Под приливной электростанцией (ПЭС) понимается электростанция, которая использует обе фазы этого уникального явления – прилив и отлив. Чередуемость приливов и отливов происходит ежесуточно через 6 ч 12 мин, что отличает характер поступления энергии приливов от солнечной энергии и энергии ветра в особенности, приход которых носит ярко выраженный вероятностный характер. Однако вплоть до настоящего времени энергия приливов еще не служит человеку.

### **1.1.1. Луна в рабочей упряжке**

«Дыханием океана» называют проливную волну, дважды в сутки с точностью часового механизма обегаящую вокруг земного шара навстречу его вращению.

По расчетам, максимальная величина прилива должна иметь в открытом океане около 0,77 метра. Однако в открытом океане на глубоком месте измерить такое колебание уровня его поверхности практически невозможно. Поэтому величину прилива расстояние от наинизшего положения воды до самого высокого ее уровня – измеряют вблизи островов. Расположенные в открытом океане одинокие скалы не очень искажают величину и форму приливной волны. Измеренная на острове Святой Елены в

Атлантическом океане величина прилива оказалась равной 1,1 метра, на Гавайских островах в Тихом океане – 1 метру, на Маскаренских островах Индийского океана – 0,8 метра.

Приближаясь к берегу, в зависимости от его очертаний и рельефа дна приливная волна нередко вырастает в десятки раз. В Магеллановом проливе она достигает 13,5 метров, в Ла-Манше – 12,3 метра, в Бристольском заливе (Англия) превышает 14 метров. На нашем Дальнем Востоке, в одном из заливов Охотского моря – губе Пенжинской приливы достигают 12,3 метра.

Волны прилива врываются в устья впадающих в океаны рек и нередко пробегают по их руслам сотни километров. «Идет бар», – говорят в таких случаях жители прибрежных мест и спешат укрепить челноки в безопасных местах. И, действительно, по руслу со скоростью летящей во весь опор лошади движется двухметровой высоты зелёная стена воды с клочьями белой пены на гребне. Грохот и шум сопровождают её.

Энергия приливов и отливов – один из немногих видов энергии, не обязанных своим происхождением теплу солнечных лучей. Подъём волны вызывается силой тяготения Луны и Солнца. Эта сила в каждой точке океана в шесть миллионов раз меньше силы тяжести, но суммированная по всей его поверхности составляет колоссальную величину. Из 0,77 метра теоретической величины прилива 0,53 сантиметра вызывается влиянием Луны и 0,24 сантиметра влиянием Солнца.

Энергия приливов – возобновляемый вид энергии. Она не иссякнет, по крайней мере, до тех пор, пока не замедлится заторможенное бегущей навстречу волной Прилива вращение Земли и она не станет всегда повернутой к Луне одной стороной.

8 000 000 миллионов киловатт – такова мощность приливной волны на земном шаре. Она более чем в сто тысяч раз превосходит мощность всех гидроэлектростанций земного шара.

Энергетические ресурсы приливов у берегов нашей страны составляют 72 миллиарда киловатт-часов в год.

Конечно, не может быть и речи о том, чтобы надеяться использовать всю энергию приливов; она слишком раздроблена по всем океанам. В этом отношении её принято сравнивать с золотом, растворённым в морской воде: общее количество его огромно, но невозможно перекачать через цеха фабрики всю воду океанов. И точно также невозможно представить себе устройства для улавливания этой энергии, охватывающие две трети поверхности нашей планеты, покрытые зыбким зеркалом океана. Но там, где энергия приливной волны концентрируется условиями побережья и рельефом морского дна, как стекло линзы концентрирует параллельный луч света, – в таких местах, как залив Фэнди на восточном берегу Северной Америки, где прилив достигает рекордной на земном шаре величины – 18 метров, как наша губа Пенжинская или побережье Ла-

Манша – могут быть построены электростанции огромной мощности.

Надо сразу же сказать: идея эта не нова. Мысли использовать энергию приливов для работы мельниц высказывались еще в XI веке. Были попытки и практического претворения этой мысли. В Англии, в Будбридже работает древнее колесо, вращающее четыре мельничных жернова. Устройство этой гидроэнергетической установки очень просто, даже примитивно, но все позднейшие проекты по существу повторяют её принцип. Во время прилива вода заполняет бассейн, во время отлива вытекая, она вращает колесо. Мощность этого колеса всего около 12 лошадиных сил, продолжительность работы не более 6 часов в сутки.

Современные проекты гидросиловых установок, использующих силу прилива, отличаются в первую очередь тем, что в них используются обе фазы – и прилив и отлив. Во время прилива вода проходит сквозь турбины в бассейн, вращая их роторы, во время отлива – из бассейна в море, вращая те же турбины. (см. рис. 2)

**Чередование приливов и отливов требует от гидротурбины ПЭС возможности работать при переменных направлениях вращения.** В процессе каждой из двух фаз этого движения меняется напор перед гидротурбиной. Значит, чтобы при малых напорах ПЭС передавала в энергосистему приемлемую по величине мощность, необходимо компенсировать снижение напора увеличением расходов воды. А это удорожает стоимость строительства из-за необходимости увеличивать объёмы запасов воды во время прилива и соответственно стоимость земляных работ при создании аккумулирующих ёмкостей ПЭС.

Кроме того, при переходе от прилива к отливу в течении определенного времени напор перед турбиной снижается практически до нуля. Включение турбины ПЭС происходит при достижении минимально необходимого рабочего напора – несколько более полуметра.

**Однако широкая рассредоточенность приливной энергии по территории планеты, строгая цикличность поступления и, что особенно важно, полное отсутствие в процессе работы загрязнения окружающей среды ставят этот вид возобновляемого источника энергии в число потенциально перспективных к освоению.**

Эффективность применения ПЭС для целей электроснабжения возрастает в зонах с повышенной высотой приливов. Эти зоны находятся, как правило, в малоосвоенных районах северного и южного полушарий, где отсутствуют местные виды энергоресурсов, а транспортировка топлива обходится достаточно дорого. **Наибольшие приливы на территории РФ наблюдаются в устье реки Кулой при её впадении в Мезенский залив Белого моря (10 м) и в районе мыса Астрономического в Охотском море (11 м).** Таким образом, наиболее благоприятные по гидрологическим характеристикам



зоны для сооружения ПЭС находятся в удаленных районах с дефицитом топливных ресурсов.

В настоящее время в РФ вступила в опытно-промышленное использование Кислогубская ПЭС на Белом море. Проект станции, разработанный институтом «Гидропроект» в 1960 г. предусматривал установку трёх турбин мощностью по 400 кВт и диаметром рабочего колеса 3,3 м. Годовая выработка электроэнергии составляла по проекту около 3,9 млн кВт ч, расход бетона на 1 кВт установленной мощности – 1,6 м<sup>3</sup>/кВт, металла – 465 кг/кВт, а общая стоимость комплекса ПЭС достигала 1,5 млн. руб.

Затем проект был в значительной мере переработан. Станция была сконструирована в виде наплавной железобетонной конструкции, представляющей коробку размером 36~18,3 м и высотой 15,3 м. При такой конструкции существенно сокращались строительные работы. Корпус станции был смонтирован в доке и в августе 1969 г. был отбуксирован к месту установки, где естественный рельеф местности создавал в устье залива перепады высоты воды во время прилива и отлива. Наплавная конструкция ПЭС минимально воздействовала на окружающую среду при строительстве станции. Установленная мощность станции – 400 кВт, диаметр рабочего колеса обратимой турбины – 3,3 м, скорость вращения рабочего колеса – 69 об/мин. Обратимая гидравлическая турбина соединена через мультипликатор с синхронным генератором переменного тока, работающим при скорости вращения 600 об/мин. Для Кислогубской ПЭС удельные капитальные затраты составили около 7330 руб. на 1 кВт, хотя мощность этой станции мала, что ведет к увеличению удельной стоимости. Так что снижение удельных капитальных затрат в строительстве ПЭС – главное, что предусматривается на пути их внедрения, тем более что **процесс производства электроэнергии на ПЭС является экологически «чистым».**

Советский инженер Бернштейн разработал удобный способ постройки блоков ПЭС, буксируемых на плаву в нужные места, и рассчитал рентабельную процедуру включения ПЭС в энергосети в часы их максимальной нагрузки потребителями. Его идеи проверены на ПЭС, построенной в 1968 году в Кислой Губе около Мурманска; своей очереди ждет ПЭС на 6 млн. кВт в Мезенском заливе на Баренцевом море.

Однако и эта схема неизбежно должна иметь периоды, когда оба уровня находятся в равновесии и выработка энергии станцией прекращается. Чтобы избежать этих «мертвых» периодов, предлагается сооружать целую серию бассейнов с разными уровнями воды, включать в систему насосные установки и т. д.

По одной из таких непрерывно действующих схем построена гидростанция в устье Сены во Франции. Она состоит всего из двух бассейнов, причем оба имеют возможность сообщаться с морем. Турбина установлена в плотине, разделяющей бассейны. В момент прилива вода впускается в один из бассейнов – назовем его верхним – и двери в него

закрываются. Набранная вода перетекает, приводя во вращение ротор турбины, в нижний бассейн, ворота которого открываются во время отлива. Отработавшая вода выбрасывается в море и ворота снова закрываются. Во время прилива снова открываются впускные ворота первого бассейна и цикл снова повторяется.

Проектируются такие станции и на некоторых побережьях нашей страны.

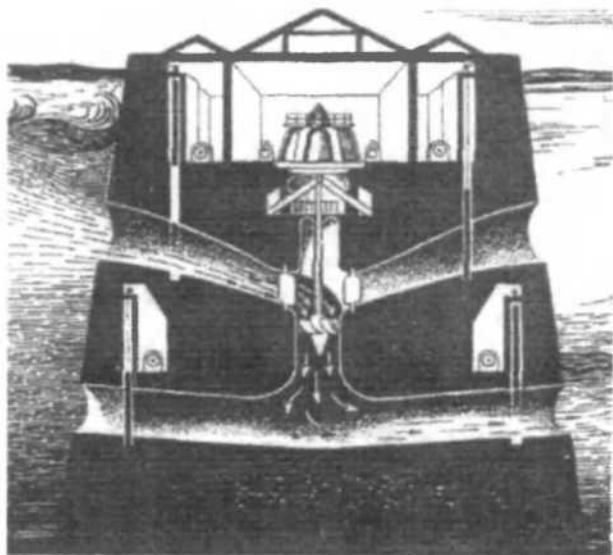


Рис. 2

Приливная электростанция. Вряд ли целесообразно рассказывать, в какие периоды открываются те или иные затворы – в этом можно разобраться без труда. В современных приливных электростанциях турбогенератор устанавливают в горизонтальных капсулах. Впрочем, может быть и это техническое решение не будет окончательным.

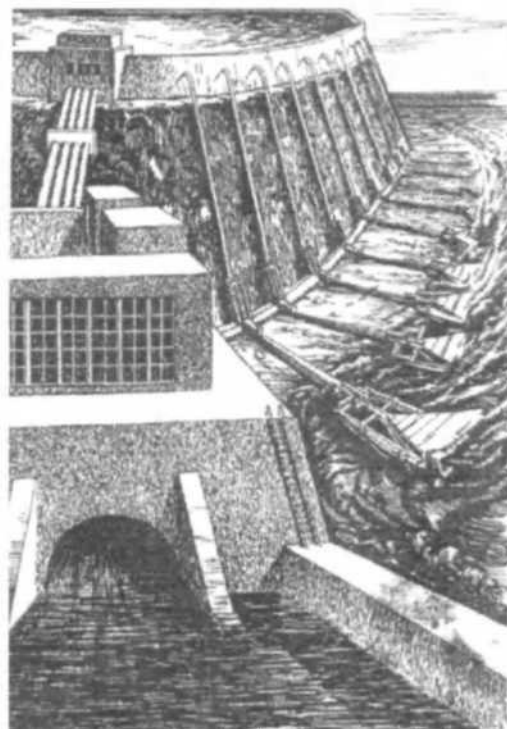


Рис. 3

Может быть, примерно так будет выглядеть электростанция, использующая энергию прибоя. Волны, ударя в концентраторы энергии, будут взбрасывать струи воды в водохранилище, а оттуда обратно в море она будет проходить через роторы турбины.

Первая приливная электростанция в нашей стране будет построена на Кольском полуострове, в районе ее мощность не превысит 1000 киловатт. На Кольском полуострове, в районе наиболее мощных приливов, достигающих высоты в 7 метров, вероятно сооружение ещё одной электростанции.

Мощность её составит уже 400 тысяч киловатт, а за год она сможет вырабатывать до 1 миллиарда киловатт-часов. Плотина этой станции проектируется длиной более 4 километров.

Инженер Бернштейн составил ряд интересных проектов приливных станций и для других пунктов побережья нашей страны. Самый интересный и грандиознейший из них может быть осуществлен в Белом море. По этому проекту надлежит перегородить плотиной длиной более 100 километров весь Мезенский залив. Мощность электростанции, которая может быть здесь сооружена, должна составить 25 миллионов

киловатт.

Конечно, сооружение этой станции, главным образом её гигантской плотины, дело не простое. Но и оно рано или поздно окажется по силам нашему народу РФ.

Конечно, всё это только начало. Использование энергии приливов и отливов – энергии постоянно возобновляемой – дело более отдалённого будущего. Оно станет по настоящему успешным только тогда, когда будут открыты принципиально новые методы получения энергии приливов и отливов, отличные от тех, которые применяются для использования энергии рек, а ведь именно эти методы, лишь слегка модернизированные, и переносятся сегодня из речных плотин в плотины приливно-отливных гидростанций.

Совершенно на ином принципе основаны так называемые «таранные волновые станции», см. рис. 3.

Они представляют собой широкие диффузоры, открытые навстречу ударам прибоя постепенно сужающиеся и переходящие в тонкую и длинную трубу. При ударе волны часть её попадает во внутренний сужающийся участок диффузора и приобретает значительную скорость, которой оказывается достаточно, чтобы вода взлетела по трубе, на значительную высоту и излилась в расположенный там бассейн. Принцип действия этого устройства в значительной мере подобен действию водяного тарана, служит оно, как и водяной таран, для накачивания воды в расположенные выше бассейны. А, уже выливаясь из этих бассейнов, вода и приведет в действие обычные водяные турбины.

Этот проект интереснее и разработаннее всех других, но не при их помощи будут решены эти задачи. Принцип устройства электростанций, использующих энергию волн и приливов, может быть, ещё даже неизвестен. Надо искать его!

## **1.2. Использование энергии приливов и морских течений**

### **1.2.1. Дополнительные сведения об использовании энергии приливов**

Приливные колебания уровня в огромных океанах планеты вполне предсказуемы. Основные периоды этих колебаний – суточные продолжительностью около 24 ч и полусуточные – около 12 ч 25 мин. Разность уровней между последовательными самым высоким и самым низким уровнями воды – высота прилива  $R$ . Диапазон изменения этой величины составляет 0,5-10 м. Первая цифра наиболее характерна, вторая достигается и даже превосходится лишь в некоторых особенных местах вблизи побережья континентов. Во время приливов и отливов перемещение водных масс образует приливные течения, скорость которых в прибрежных проливах и между островами может достигать примерно 5 м/с.

Поднятую на максимальную высоту во время прилива воду можно отделить от моря дамбой или плотиной в бассейне площадью  $A$ . Места с большими высотами приливов обладают большими потенциалами приливной энергии. Однако не только этот фактор

важен для развития приливной энергетики: надо принимать во внимание и капитальные затраты, и будущую прибыль от создания соответствующих электростанций (ПЭС).

Энергия приливных течений может быть преобразована подобно тому, как это делается с энергией ветра. Преобразование энергии приливов использовалось для приведения в действие сравнительно маломощных устройств ещё в средневековой Англии и в Китае. Из современных ПЭС наиболее хорошо известны крупномасштабная электростанция Ранс мощностью 240 МВт, расположенная в эстуарии реки Ла Ранс, впадающей в залив Сен Мало (Бретань, Франция), и небольшая опытная станция мощностью 400 кВт в Кислой губе на побережье Баренцева моря (Россия). Характеристики мест возможного строительства ПЭС в России приведены в **таблице 1.1.**

**Таблица 1.1. Основные места концентрации приливной энергии в России**

Месторасположение	Средняя высота прилива, м	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>	Потенциал	
			Средняя мощность, ГВт	Годовая выработка, ТВт-ч
Мезенский залив	6,0	2330,0	15,2	50,0
Пенжинская губа	6,2	20530,0	87,4	190,0
Тугурский залив	4,7	1800,0	10,3	27,6

Высота, ход и периодичность приливов в большинстве прибрежных районов хорошо описаны и проанализированы благодаря потребностям навигации и океанографии. Поведение приливов может быть предсказано достаточно точно, с погрешностью менее 4%. Таким образом, **приливно́я энергия оказы́вается весьма надёжной формой возобновляемой энергии.**

При её преобразовании в электроэнергию возникают и определенные неудобства:

- несовпадение основных периодов возникновения приливов (12 ч 25 мин и 24 ч 50 мин), связанных с движением Луны, с привычным для человека периодом солнечных суток (24 ч), в связи, с чем оптимум приливной генерации находится не в фазе с потребностями в энергии;

- изменения высоты прилива и мощности приливного течения с периодом в две недели, что приводит к колебаниям выработки энергии;

- необходимость создания потоков воды с большим расходом при сравнительно малом перепаде высот, что заставляет использовать большое число турбин, работающих параллельно;

- очень высокие капитальные затраты на сооружение большинства предполагаемых ПЭС;

- потенциальные экологические нарушения и изменение режимов эстуариев и морских районов.

### 1.2.2. Мощность приливных течений и приливного подъёма воды

Вблизи побережья и между островами приливы могут создавать достаточно сильные течения, пригодные для преобразования их энергии в другие виды энергии. Устройства для преобразования энергии приливных течений будут практически сходны с аналогичными устройствами, приводимыми в действие течениями рек.

$$\text{Плотность мощности потока воды, Вт/м}^3, \text{ равна } q = 0,5\rho \cdot V^3 \quad (2.1)$$

В случае приливного или речного течения при скорости, например, 3 м/с  $q = 1000 \cdot 3^3 : 2 = 13500 \text{ Вт/м}^2$ . Только часть полной энергии потока может быть преобразована в полезную. Как и для ветра, это значение  $\eta$  не может превышать 60%. На практике оказывается, что  $\eta$  можно довести максимум до 40%.

Скорости приливных течений изменяются во времени примерно как

$$V = V_0 \sin 2\pi t : \tau, \quad (2.2)$$

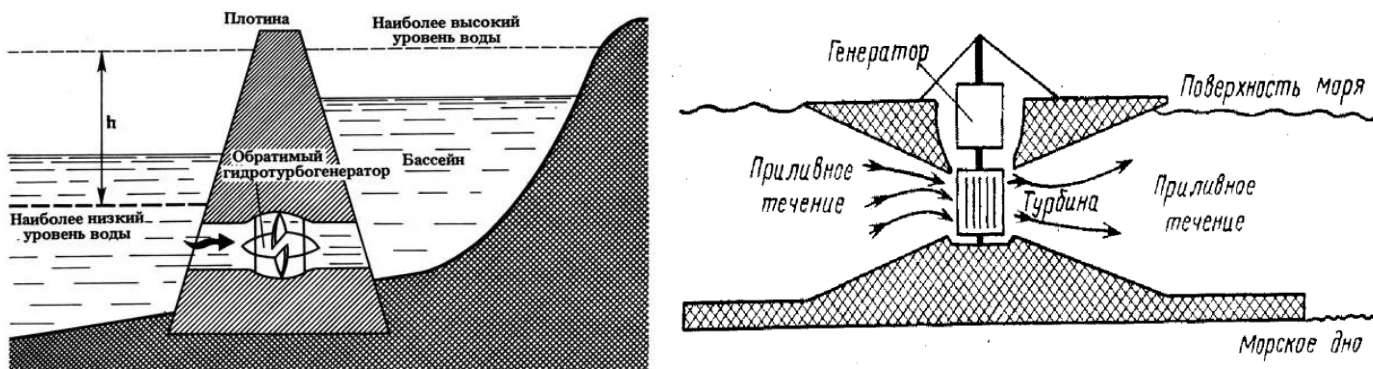
где  $\tau$  – период естественного прилива, 12 ч. 25 мин для полусуточного;

$V_0$  – максимальная скорость течения, м/с.

Таким образом, электрическая мощность, снимаемая с 1 м<sup>2</sup> площади поперечного сечения потока (с учетом 40%-ной эффективности преобразования энергии потока в электрическую), в среднем равняется  $\bar{q} \approx 0,1\rho V^3$  (2.3)

При максимальной скорости около 5 м/с, встречающейся в проливах между островами,  $\bar{q} \approx 14 \text{ кВт/м}^2$ . Перекрыв площадь 1000 м<sup>2</sup>, можно получить полную среднюю мощность электростанции около 14 МВт.

Уже разработан целый ряд современных устройств для преобразования энергии приливных течений, один из которых показан на рис. 2.1. Капитальные затраты на создание подобных устройств в расчете на 1 кВт установленной мощности достаточно высоки, поэтому их строительство целесообразно лишь в отдаленных районах с высокими скоростями приливных течений, где любые альтернативные источники еще более дороги.



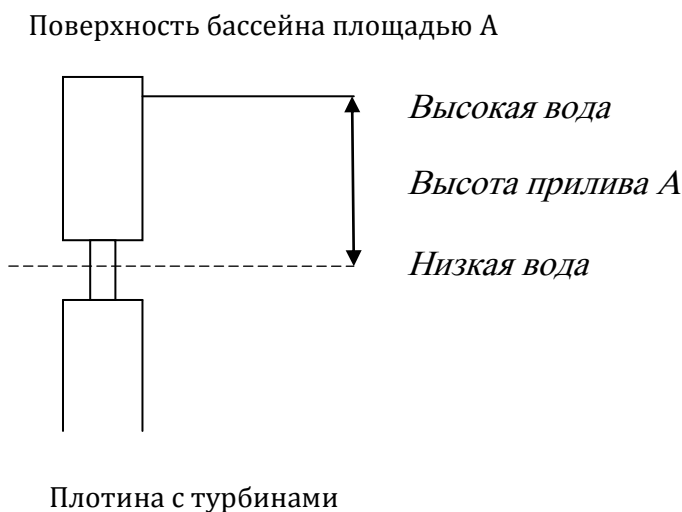
Упрощенная схема ПЭС Рис. 2.1. Схема электростанции на приливном течении.

Основы теории приливной энергетики достаточно просты. Предположим, что бассейн ПЭС наполняется при высокой воде и опустошается через турбины при малой

воде (рис. 2.2). Пусть бассейн имеет постоянную площадь  $A$ , оставшуюся покрытой водой при малой воде. Допустим, что поступившая в бассейн вода имеет массу  $\rho AR$ , сосредоточенную в центре тяжести на высоте  $R : 2$  от уровня малой воды, и что вся вода вытекает из бассейна при малой воде. Потенциально максимальную энергию от прилива можно получить, если вся вода падает с высоты  $R : 2$ . В этом случае энергия прилива  $E=0,5(\rho AR) gR$  (2.4)

Если энергия преобразуется в течение продолжительности периода прилива, то средняя потенциальная мощность за приливный период окажется равной:

$$E = \rho AR^2 g : 2\tau . \quad (2.5)$$



**Рис. 2.2. Схема извлечения приливной энергии.**

На практике в системе, использующей срабатывание запаса воды из заполняемого в прилив бассейна, несмотря на достаточно высокую эффективность преобразования получить максимальную мощность нельзя. Этому препятствуют следующие обстоятельства.

Генерирование электроэнергии не может быть обеспечено вплоть до условий малой воды, таким образом, часть потенциальной энергии прилива не может быть преобразована. Турбины ПЭС должны работать при низком напоре и при больших скоростях потоков — условия необычные для имеющейся обычной гидроэнергетической практики. Невозможно равномерно снабжать потребителей электроэнергией из-за изменения уровня воды в бассейне.

На рис. 2.2 показано, что ПЭС может работать как при опустошении бассейна, так и при его наполнении. Оптимальная станция, использующая реверсируемые гидроагрегаты, которые, кроме того, можно еще использовать и в насосном режиме для повышения уровня в бассейне, может перерабатывать до 90% потенциальной энергии прилива.

### 1.2.3. Энергия океанских течений

В состоянии подготовки к технической реализации находятся работы по использованию океанских течений для производства электроэнергии, которые проводятся в США в университете Турейна (штат Луизиана). В соответствии с разрабатываемым проектом предполагается установка в районах относительно сильных течений турбины с диаметром рабочего колеса 170 м и длиной ротора 80 м, изготовленной из алюминиевого сплава, с возможным сроком службы не менее 30 лет. Потоки воды течения вращают лопасти турбины, а через систему мультипликаторов, повышающих число оборотов, вращают и находящийся на её валу электрогенератор. По мнению авторов проекта, наибольшую проблему представит передача производимой электроэнергии по подводному кабелю на берег. Турбину намечается устанавливать в районах течений на якорю и поднимать на поверхность с глубины рабочего положения только для профилактического осмотра.

По выполненным оценкам, стоимость производимой электроэнергии на подобной электростанции ожидается в 1,8 раза ниже, чем на тепловых станциях, и в 1,4 раза ниже, чем на атомных. Готовится крупномасштабный эксперимент с модельной турбиной диаметром 10,7 м. Опытно-промышленная установка должна быть введена в строй в ближайшие годы.

### 1.2.4. Использование энергии океанских течений

Механическая мощность, которую можно извлечь из океанского течения, определяется тем же соотношением, которое используется для оценки этой величины в ветроэнергетике:  $P = 0,5 \eta A \rho V^3$  (3.1)

Коэффициент преобразования энергии, зависящий от типа турбины, для выполнения приближённых расчётов можно принять равным 0,6 для свободно вращающегося рабочего колеса и 0,75 для того же колеса в насадке. Строительство крупных ветровых турбин (диаметром до 200 м) практически невозможно из-за ограничений, связанных с прочностью материалов и массовыми характеристиками подобных устройств. Для турбин, работающих в морской среде, массовые ограничения менее существенны из-за действия на элементы конструкций силы Архимеда. Повышенная плотность воды позволяет, кроме того, уменьшить столь существенное для воздушных турбин воздействие вибраций, вызывающих усталостное разрушение материалов.

Важное достоинство океанских течений в качестве источников энергии по сравнению с ветровыми потоками – отсутствие резких изменений скорости (сравните с изменениями скорости при порывах ветра, при ураганах и т.п.). При достаточном

заглублении в толщу воды турбины ОГЭС надёжно защищены от волн и штормов на поверхности. Для эффективного использования течений в энергетике необходимо, чтобы они обладали определёнными характеристиками, в частности: \* требуются достаточно высокие скорости потоков, \* устойчивость по скорости и направлению, \* удобная для строительства и обслуживания география дна и побережья. Удаленность от побережья влечёт удорожание транспортировки энергии и обслуживания этих станций, как, впрочем, и любых других. Большие глубины требуют увеличения затрат на сооружение и обслуживание якорных систем, малые – создают помехи судоходству.

Именно географические факторы не позволяют сейчас говорить о строительстве ОГЭС в открытом океане, где несут свои воды наиболее мощные течения. При средних и малых глубинах, особенно в местах образования приливных течений, важную роль играет топография дна.

**В качестве недостатков преобразователей энергии океанских течений следует отметить необходимость создавать и обслуживать гигантские конструкции в морской воде, подверженность этих конструкций обрастанию и коррозии, трудности передачи энергии.**

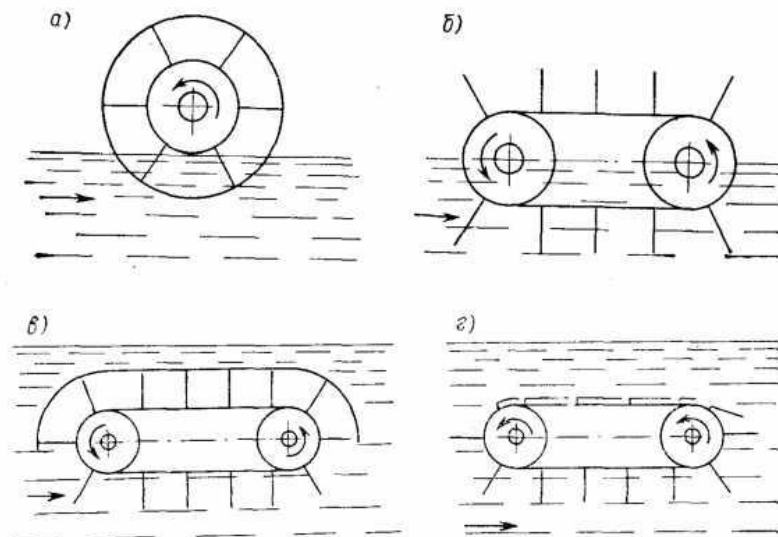
#### **1.2.4.1. Общая характеристика технических решений**

По аналогии с ВЭУ существующие преобразователи энергии течений можно условно разделить на две группы. К первой целесообразно отнести те из них, в основу которых положен принцип преобразования скоростного напора во вращательное движение турбин. Ко второй, менее многочисленной, группе относят преобразователи, основанные на других физических принципах (объемные насосы, упругие преобразователи и др.).

Для характеристики схем установки преобразователей можно выделить две основные схемы: сооружений, закрепляемых на морском дне, и сооружений, плавающих в толще воды и заякоренных к дну.

Родоначальником устройств первой группы по праву считают водяное колесо (рис.4.1,а). В совершенствовании водяного колеса наблюдаются две основные тенденции. Одна – собственно улучшение показателей колеса (за счёт оптимизации конструкции ферм, лопастей, механизмов передачи энергии, расположения по отношению к потоку, применения современных материалов и т.п.), другая – принципиальное изменение представлений о колесе.





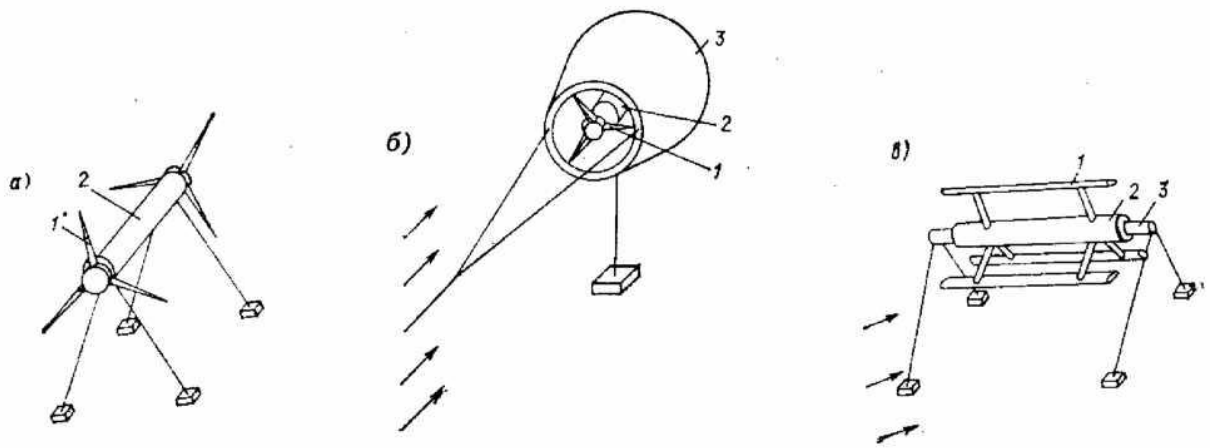
**Рис. 4.1. Эволюция водяного колеса:**

а – колесо-прототип; б – ленточное колесо на плавучем основании;

в – ленточное колесо в толще потока; г – ленточное колесо со складными лопастями.

Ленточное колесо (рис. 4.1, б) оказывается более компактным, требует меньше материалов, менее подвержено воздействию атмосферы. Подобное устройство может быть установлено в потоке на понтонах с таким расчётом, чтобы нижние лопасти входили в воду, а верхние оставались «сухими». Эффективность преобразования скоростного напора повышается за счёт того, что сразу несколько лопастей оказываются под воздействием потока. Однако, простое увеличение числа лопастей ленточного колеса не приведет к существенному увеличению момента на валах. На базе ленточного колеса созданы устройства, полностью погружаемые в толщу потоков (рис. 4.1, в, г). Для таких устройств предлагается несколько способов уменьшения сопротивления движению ленты во время холостого хода. Это и сооружение воздушной камеры над колесом, и применение различных вариантов механизмов складывания лопастей.

Наибольшие надежды гидроэнергетики, занимающиеся разработкой преобразователей энергии океанских течений, связывают с агрегатами, с помощью которых могут быть получены значительные единичные мощности. В качестве вариантов таких устройств рассматриваются рабочее колесо в виде свободного пропеллера, пропеллера в насадке, водяной аналог турбины Дарье, системы с управляемым крылом (рис. 4.2, а–в). Во всех конструкциях, так же как и у перспективных ветровых турбин, главный преобразующий элемент – крыловой профиль, обтекание которого потоком создает гидродинамическую силу, заставляющую турбины вращаться.



**Рис. 4.2. Варианты схем перспективных турбин для ОГЭС:**

а – свободный ротор; б – ротор в насадке; в – ротор, устанавливаемый поперёк потока.

Наилучшими показателями обладает турбина, выполненная в виде рабочего колеса с горизонтальной осью в насадке. Это объясняется тем, что такое рабочее колесо меньше возмущает поток, не так сильно, как свободное, вовлекая жидкость во вращательное движение. Насадок как бы отделяет возмущенную часть потока от невозмущенной и в тоже время обеспечивает некоторую концентрацию энергии. Форму насадка выбирают из такого расчёта, чтобы обеспечить плавное безотрывное течение потока на подходе к турбине, сделать всю систему устойчивой на потоке, максимально снизить завихрённость потока на выходе из неё.

Увеличения мощности одного такого агрегата можно достигнуть за счёт удлинения крыла. По сравнению с ветровыми преобразователями океанские турбины в этом плане имеют преимущество: критический размер крыла, при котором в нём достигается предел прочности материалов для такой турбины выше. Но есть ограничения и в воде: при слишком большой длине крыла на смену изгибающим моментам, создаваемым под воздействием силы тяжести, приходят моменты создаваемые силой давления потока.

Другое ограничение диаметра рабочего колеса связано с технологическими трудностями при постройке и установке столь громоздких сооружений в океане. Специалисты сходятся во мнении, что диаметр турбин в насадках вряд ли превысит 200 м (по габаритам подобное сооружение напоминает крытый стадион на 20 тысяч зрителей). Накопленный к настоящему времени опыт строительства эксплуатационных платформ для добычи нефти и газа водоизмещением в сотни тысяч тонн показывает, что такие объекты могут быть созданы.

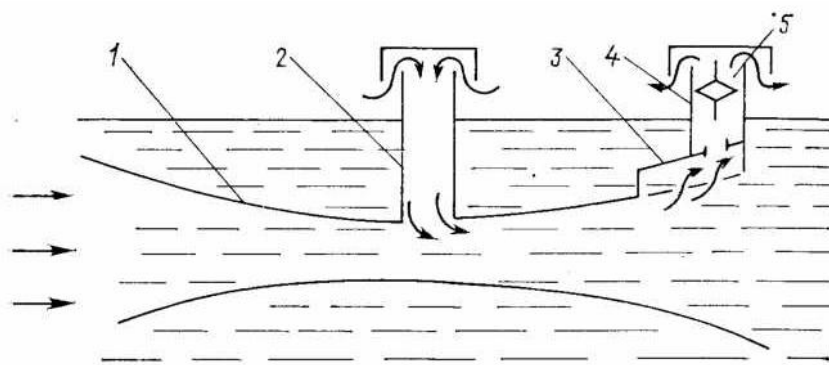
Рассмотрим преобразователи энергии потоков, относящиеся по нашей

классификации ко второй группе, и, прежде всего, **устройства типа объёмного насоса**. На рис. 4.3 изображена одна из схем такого устройства, в основе которого – неподвижно закреплённое в потоке сопло Вентури. В пережатом сечении сопла из-за увеличения скорости жидкости происходит падение статического давления, которое может быть использовано, например, для засасывания воздуха с поверхности. В выходном сечении уже сжатый воздух вытесняется из потока в напорную камеру, откуда поступает в воздухопровод турбины, соединенной с электрогенератором. При умеренных степенях пережатия потока работа такого устройства может быть описана с помощью уравнения Бернулли. В этом случае перепад давлений, который создаётся насосом:

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 0,5\rho v^2[(A_1 : A_2)^2 - 1] \quad (4.1)$$

где  $A_1 : A_2$  - отношение площадей входного и минимального сечений конфузора.

Производительность такого насоса зависит от расхода жидкости через сечение насоса и может быть доведена примерно до 20% объёмного расхода. Эжекционные свойства сильно зависят от способа ввода в поток подсосываемого газа.



**Рис. 4.3. Схема объёмного насоса:**

1-профилированный корпус; 2-шахта воздухозаборника;

3-воздухозборник; 4-выхлопная шахта; 5-воздушная турбина с электрогенератором.

Перечень различных вариантов преобразователей можно продолжить, но важно отметить, что со временем могут быть открыты как более эффективные способы преобразования энергии потоков в океане, так и новые гидродинамические явления, которые потребуют принципиально новых разработок. Уже сейчас можно обратить внимание на энергию океанских противотечений, скрытых толщей поверхностных вод и часто лишь достаточно тонкими пограничными слоями отделенных от поверхностных: энергию различных вихрей, возникающих в открытом океане под воздействием метеорологических возмущений и крупномасштабной гидродинамической неустойчивости в океанах. Известны даже постоянно действующие вихри. Один из них находится в 400 км от Огасавары (Япония) в Тихом океане. Он представляет собой водоворот диаметром около 200 км, поднимающийся с глубины 3 км почти до самой поверхности. Примечательна одна из особенностей водоворота – примерно через каждые 100 дней он изменяет направление вращения на обратное. По оценкам японских ученых

удельные энергетические характеристики этого водоворота значительно выше, чем у ряда океанских течений.

### **1.2.4.2. Энергия океанских течений**

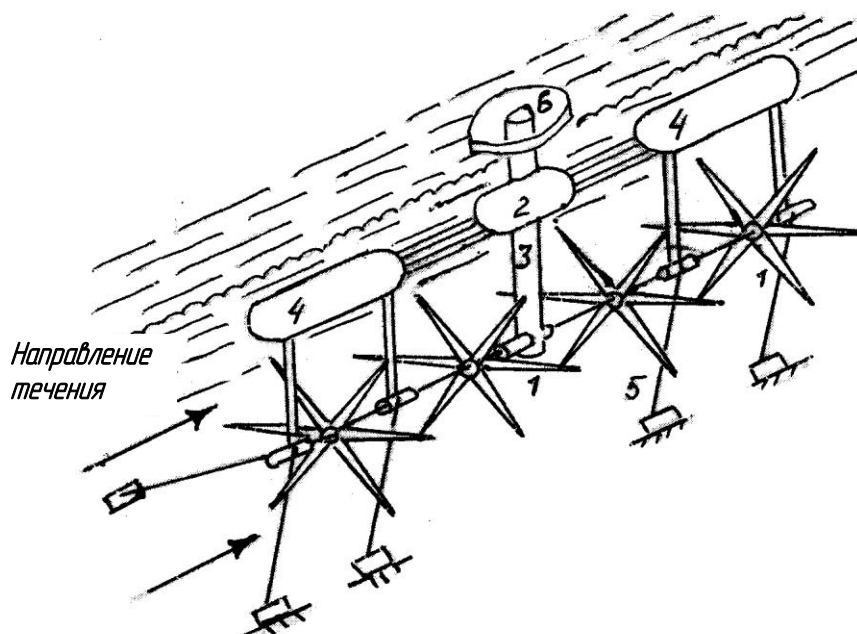
В океанских просторах непрерывно перемещаются огромные массы воды: это широко известные Гольфстрим, Куроисио, пассатные течения и противотечения, их ответвления и многие другие менее известные водные потоки. Эти «реки в океане» имеют порой протяженность многие тысячи километров при ширине в десятки, а то и сотни километров и глубине до 300 - 500 м. Каждое переносит десятки миллионов кубических метров воды в секунду. Перенос воды, например, Гольфстримом у Флориды в 22 раза больше суммарного расхода воды всех больших и малых рек земного шара; севернее же (на параллели 38° с. ш.) расход этого течения превышает расход всех рек мира в 60 раз.

Энергия океанских течений колоссальна. Простейшие расчёты показывают, что при перемещении лишь 1 млн. м воды в секунду со скоростью 1 м/с она эквивалентна примерно 10000 МВт. Заманчиво и то, что большинству мощных течений присуще постоянство режима вне зависимости от погодных условий, времени суток и года. С энергетической же точки зрения можно сказать, что течения бесполезно рассеивают примерно 3 млрд. кВт.

Изучение океанских течений с точки зрения возможностей использования их энергетического потенциала началось сравнительно недавно – практически с начала 70-х годов прошлого века. Уже имеется ряд предложений.

Прежде всего, водяные турбины, способные утилизировать энергию течений с малыми скоростями и приводящие в действие электрогенераторы. Это могут быть, например, огромные водяные колёса наподобие гигантских ветряных мельниц. На одном валу может быть размещено не одно (рис. 2), а несколько таких колес-ступеней (пропеллеров). При скоростях 1,4 – 2 м/с, имеющих место на глубинах не более 50 м, максимально возможная теоретически мощность может быть на уровне 1,6 – 2,2 кВт/м площади, «ометаемой» лопастями водяного колеса. При больших глубинах скорости потока, а соответственно и мощности уменьшаются. Таким образом, даже турбины с диаметром колеса около 10 м способны в одном агрегате развивать мощности не более 150 – 180 кВт.

По современным масштабам это очень мало. Нужны десятки и сотни тысяч киловатт. Мощности в 30 – 60 тыс. кВт способны обеспечить турбины с диаметром колеса 140 – 160 м. Расчёты показывают, что эти громадные «водяные колёса» будут вращаться очень медленно, со скоростью 0,5 – 1 об/мин. При этом мелкие рыбы и морские животные смогут свободно проходить через них, во избежание же аварии при возможных контактах с крупными рыбами около лопастей турбины должна быть поставлена защитная сетка.



**Рис. 2** Возможная схема одного из вариантов - электростанция на энергии течений: 1

– рабочие колёса; 2 – генераторное помещение; 3 – шахта с передачей от рабочего вала к генератору; 4 – поплавковая камера, поддерживающая установку; 5 – якорные устройства; 6 – платформа и шахта обслуживания.

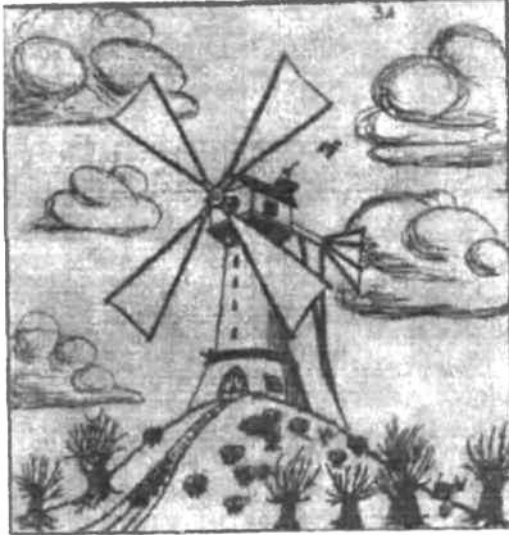
Проект такой турбины разработан. Рабочее колесо диаметром 170 м предполагается изготовить из алюминия. Сама установка должна размещаться в потоке воды на якорях в стороне от морских путей. Передача электроэнергии на берег по подводным кабелям. Двести таких энергетических установок способны иметь мощность до 10 млн. кВт.

Может быть, для утилизации энергии океанских течений следовало бы более детально изучить возможности существующих низконапорных гидроагрегатов, например, прямоточных горизонтально-осевых и горизонтальных капсульных? Хотя они и более сложны, чем пропеллерные, но достаточно освоены на реках. А турбины с вертикальной осью наподобие ковшовых – для течений со значительной скоростью, направление которых меняется? Возможны и другие варианты устройств для преобразования энергии океанских течений, порой весьма оригинальные. Например, системы, основанные на использовании подобия парашютов, прикреплённых к бесконечному тросу и перемещающих его за счёт энергии течения. Трос же, в свою очередь, служит для привода электрогенератора.

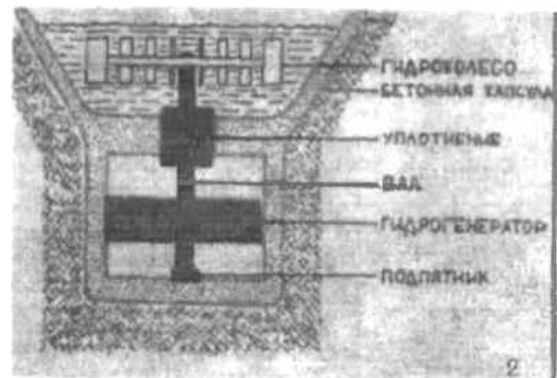
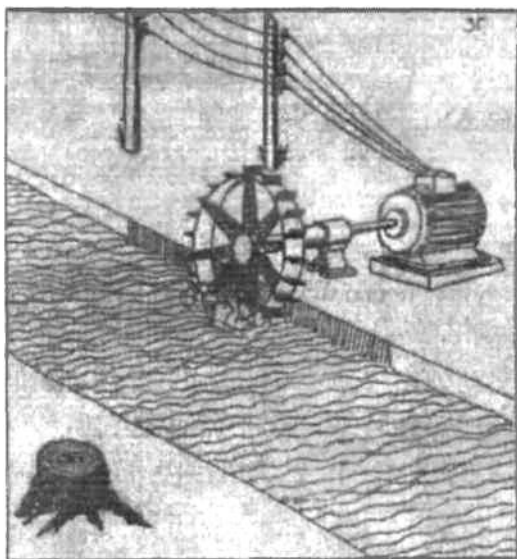
В Японии начаты разработки систем, основанных на совершенно другом принципе. В них движущаяся морская вода выполняет роль проводника электрического тока, пересекающего магнитное поле перпендикулярно направлению его силовых линий. При этом на стенках канала, ограничивающего поток воды, возникает разность потенциалов. Проблема заключается в том, чтобы создать достаточно сильное для выработки электроэнергии магнитное поле. Она может быть решена, если использовать

сверхпроводящий электромагнит, охлаждаемый жидким гелием. Испытания небольшой экспериментальной установки такого типа были проведены в Японии 1-, конце 1978 г. Идея, конечно, заманчивая.

Но как поддерживать сверхнизкие температуры в мощных установках? И насколько это будет экономично?



От ветряных мельниц – к подводным гидроагрегатам 100 – 1000 МВт.



Безредукторный гидроагрегат с гидрогенератором, расположенным в камере под дном реки

Очевидно, что трудности в проектировании тихоходных безредукторных генераторов резко уменьшаются, если их разместить в воде. Поэтому для создания нетрадиционных источников электроэнергии промышленного значения необходимо использовать энергию водяных потоков рек, морских течений, приливов и отливов. Опоры погруженных тихоходных гидрогенераторов могут выполняться на базе обычных подпятников гидрогенераторов, так как давление на опоры в воде уменьшается за счет силы Архимеда. В этом случае вполне реально создавать тихоходные гидрогенераторы на 2 – 10 об/мин с мощностью в 100 – 1000 МВт. Можно предложить несколько конструктивных исполнений тихоходных безредукторных гидрогенераторов. Одна из компоновок

гидроагрегата, использующего течение реки, показана на рис. 2. Гидроколесо жестко соединено с валом гидрогенератора. Гидрогенератор помещен в камеру, которая бетонной капсулой и уплотнениями изолирована от воды и находится под дном реки. Полюсы ротора крепятся на крестовине. Статор состоит из сегментов. Зазор между ротором и статором регулируется после сборки агрегата.

Гидроколесо вантовой конструкции находится над генератором, вся конструкция опирается на подпятник и центрируется направляющим подшипником. Пустотами в крестовине генератора и в гидроколесе можно регулировать давление на опоры. При использовании приливов, отливов и морских течений предпочтительной компоновкой гидроагрегата может быть подводная конструкция на платформе (рис. 3).

Сегодня сооружение гидроколес диаметром 50 м – вполне разрешимая задача. Ведь даже наши предки умели сооружать из дерева водяные колеса диаметром до 30м.

### **Источники к разделам 1 и 2**

1. Федеральный закон «Об энергосбережении»/ 3 апреля 1996 года/№ 28-ФЗ.
2. Делягин, Г. Н. Теплогенерирующие установки : Учеб. для вузов / Г. Н. Делягин, В.И. Лебедев, Б.А. Пермяков. – М. : Стройиздат, 1986. – 559 с. : ил.
3. Вершинский, Н.В. Энергия океана / Н.В. Вершинский. – М.: Наука, 1986. – 152с. : ил.
4. Энергия океана [Электронный ресурс]/ к. физ.-мат. наук А.Н. Русецкий. – Режим доступа : <http://ocean-power.narod.ru/ResumeProjectRus.htm>.
5. Коробков, В. А. Преобразование энергии океана / В. А. Коробков. – Л. : Судостроение, 1986. – 279 с. : ил.
6. Приливные электростанции / под ред. Л.Б.Бернштейна. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 296 с. : ил.
7. Энергоэффективность [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.energoeffectivnost.ru/index/html>.
8. Тематически-информационный журнал [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.temator.ru>

### 1.3. Энергия разности солёности

В океане есть ещё одна потенциальная возможность выработки электроэнергии – использование разности солёности воды в местах впадения рек, в частности, явления осмоса. Сущность данного явления в том, что некоторые разновидности естественных и искусственных тонких перегородок, или, как их называют, мембран, разделяющих водный раствор каких-либо веществ и чистую воду, обладают способностью самопроизвольно «пропускать» в сторону раствора и не пропускать растворённое вещество. Таким образом, вода как бы всасывается в сторону раствора через перегородку, именуемую в данном случае полупроницаемой. Свойствами полупроницаемости обладает большинство тканей живых организмов, Полупроницаемые мембраны можно сделать из коллодия, желатины, целлюлозы и др.

Самопроизвольный переход воды в раствор, отделённый от нее полупроницаемой перегородкой, и называется осмосом. В рассматриваемом нами случае раствором является морская вода, а пресная поступает из рек. Осмос – явление очень сложное и ещё недостаточно изученное; единого мнения о механизме работы полупроницаемых мембран нет. Однако некоторые количественные характеристики осмоса найдены. Численно это явление можно характеризовать, введя понятие об осмотическом давлении раствора, создающем осмотический потенциал между солёной и пресной водой. Осмотическое давление зависит от конкретных растворённых веществ, их концентрации, ряда других факторов и может быть достаточно велико. Для морской воды, содержащей в среднем 3,5% солей, оно составляет около 24 кгс/см (240 м водяного столба). В результате, по оценочным расчётам зарубежных учёных, «осмотическая мощность» стоков пресной воды в Мировой океан примерно 2,6 млрд. кВт. Теоретически, например, шесть крупнейших рек США могут обеспечить мощность 70 млн. кВт. Как же можно в принципе использовать разность солёности в энергетических целях? Предлагаются различные пути:

1. Прямое использование осмотического эффекта с помощью механических средств.
2. Применение веществ, которые при контакте с пресной водой расширяются и сжимаются в контакте с солёной водой, или же наоборот.
3. Утилизация того очень небольшого количества тепла, которое выделяется при смешивании пресной и солёной воды.

Есть и другие предложения, но в отношении изучения реальных перспектив использования разности солёности воды в энергетических целях сделано пока очень мало, хотя и имеются сведения о пуске первых экспериментальных установок. Наиболее ясным представляется механический метр. Для его осуществления с помощью мощных плотин



высотой до 200 м должен быть создан промежуточный бассейн между рекой и морем. Речная вода через гидротурбины электрогенераторов падает ниже уровня Моря, а затем, используя осмотическое давление, через полупроницаемые мембраны уходит в море.

Естественно, имеется множество проблем. Для их решения потребуется новая техника, в частности, не очень дорогие полупроницаемые мембраны с высокой пропускной способностью. Мембраны, имеющиеся в настоящее время, обеспечивают проницаемость в пределах 0,4 – 19 кг/м в час, чему соответствует мощность 0,0002 – 0,007 кВт/м . Для пропуска больших количеств пресной воды при сооружении электростанций в устьях крупных рек потребуется огромная площадь мембран. Мембраны должны быть прочными и долговечными. Сооружение гигантских плотин в море, рациональное размещение мембран, защита их от обрастания – тоже очень серьёзные проблемы. А каково будет воздействие таких сооружений на естественный комплекс «река – море» с экологической точки зрения?

Должно быть решено множество различных принципиальных вопросов, а предполагаемая стоимость строительства введена в разумные пределы, прежде чем разность солёности обеспечит промышленную выработку электроэнергии.

#### **1.4. Энергия водорослей**

Солнечная энергия, попадая в океан, не только просто аккумулируется его водами, но и становится жизненной основой для многочисленных живых организмов, и прежде всего водорослей. Человечество издавна использует водоросли для различных целей – в качестве пищи, для производства удобрений, лекарственных веществ и т. д. Поля водорослей занимают в морях и океанах огромные пространства. Но это не только органическая масса, но и своеобразная кладовая трансформированной солнечной энергии. Использовать эту энергию – такова идея проектов создания искусственных морских ферм многоцелевого, в том числе и энергетического, назначения. Такие фермы могли бы давать исходный материал не только для получения продуктов питания, промышленности, но и для получения топлива.

Сразу же возникают вопросы. А какие виды водорослей наиболее пригодны для искусственного культивирования в указанных целях? В каких районах Мирового океана можно заниматься их выращиванием? Что будет представлять собой такая морская ферма? Какие виды топлива можно получить? И какова эффективность морских ферм с энергетической точки зрения?

Естественно, что наиболее подходящими для промышленного использования будут водоросли самые крупные и быстрорастущие, такие, например, как ламинария, макроцистис, эклония. Особенность в том, что они предпочитают температуру воды, меньшую чем 20°C, что особенно перспективно для умеренных и субарктических широт.

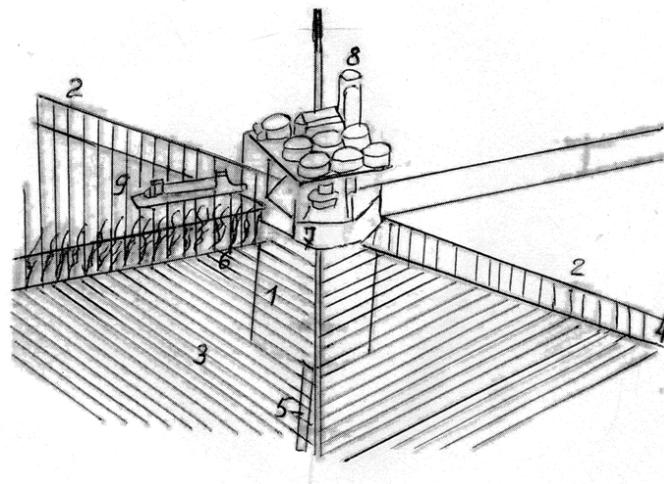
Что же может представлять собой конструкция морской фермы, на которой будут расти водоросли? В 1974 г. у побережья США в экспериментальном порядке для этой цели был испробован плот размером около 173x173 м, сплетённый в виде сетки из тросов, погружённый на глубину 12 м и закреплённый на якорях. К тросам была прикреплена водоросль макроцистис. Результаты этого предварительного эксперимента, продолжавшегося 1,5 года, с точки зрения приживаемости водорослей были достаточно успешными.

Более мощная ферма со всем необходимым оборудованием выглядит сложнее (рис. 4). В нужном положении ферму поддерживает достаточно заглублённая плавучая конструкция, расположенная в центре. От неё отходит система крепления тросов для выращивания водорослей, доходящая до глубины 15 – 25 м. Над средней частью на платформе, удалённой от поверхности воды, расположены ёмкости для собранного урожая, оборудование для его переработки, устройства, необходимые для управления всеми процессами, жилые помещения.

Из водорослей может быть получено газообразное топливо – метан или же жидкие вещества, похожие на нефть. По данным, опубликованным в зарубежной печати, общее количество энергии, содержащейся в водорослях, соответствует 25% того, что при равной массе заключено в нефти. А хорошо организованная ферма может дать до 25 кВт-ч в год энергии, запасённой в растениях, с каждого квадратного метра ее площади. По другим данным, ферма площадью 40000 га способна дать энергию городу с населением 50000 человек. В принципе можно ожидать, что расходы на производство энергии с помощью морских ферм будут относительно небольшими, так как выращивание водорослей – дело простое.

Теперь о проблемах, стоящих на пути создания морских ферм. Прежде всего, должны быть решены вопросы, касающиеся оптимального режима работы ферм. По данным американских исследователей, ключевой момент выращивания водорослей в открытом океане – искусственная подача питательных веществ. Её можно осуществлять перекачкой воды со значительных, порядка 300 м, глубин либо с перерабатывающих установок самой фермы, либо с берега, используя морской транспорт. Морские фермы, имеющие своим главным направлением энергетическое использование водорослей, по всей видимости,

должны быть комплексными, т. е. следует предусмотреть также сбор и переработку других морских организмов: рыб, моллюсков, а может быть планктона. Существенны проблемы, касающиеся способов быстрого и качественного сбора урожая с очень больших площадей. Здесь, безусловно, нужна механизация.



**Рис. 4. Схема морской фермы:**

1 – основная плавучая конструкция; 2 – поплавки; 3 – полипропиленовые тросы, поддерживающие растения; 4 – поддерживающие конструкции и система подачи питательных веществ; 5 – водоподъемная труба; 6 – водоросли; 7 – насос для перекачки глубинной воды; 8 – технологические установки, жилые помещения, устройства контроля и управления; 9 – корабль для сбора водорослей.

А как часто следует снимать урожай? Есть мнения, что листья водоросли микроцистис, например, можно собирать четыре раз в год без ущерба для растения. А где перерабатывать урожай? Здесь же, на месте, или же отправлять на береговые установки? Если на месте, то потребуются собственная довольно мощная энергетическая база и все технологическое оборудование. Отсюда и претензии к возможной конструкции фермы, которая будет достаточно сложной. Переработка сырья на берегу значительно упростит плавучие сооружения, но потребует специального флота.

Может быть, такие фермы будут более эффективны в комплексе с океанскими энергетическими установками других типов? А как вся система будет себя вести в штормовых условиях? Какова будет ее надёжность? И наконец, какие технологические процессы будут наиболее эффективны при переработке водорослей на топливо? Ведь здесь возможны различные варианты. Например, получение метана с помощью бактерий или же жидкого топлива в процессах с нагреванием водорослей.

Как видим, проблема в целом должна решаться совместными усилиями специалистов многих направлений: океанологами, биологами, энергетиками, технологами и др.

## 1.5. В свободной струе

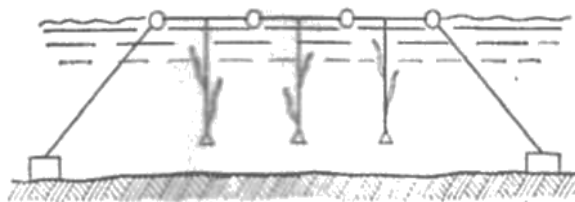
**Плотина – самая дорогая часть гидроэлектростанции.** Сооружение ее возможно только силами мощных организаций. **Между тем, плотина вовсе не обязательная часть гидроэлектростанции. Небольшие ГЭС, могут обходиться и без плотины. Единственное условие для сооружения такой ГЭС – наличие реки со скоростью течения воды не меньше 1,5–2 метров в секунду.**

Пригодными для таких электростанций типами двигателей считались до последнего времени гидроротор и горизонтальная пропеллерная турбина. Гидроротор представляет собой цилиндр со сдвинутыми стенками, располагаемый перпендикулярно к направлению течения воды. Вода, проходя сложный путь между стенками гидроротора, вращает его. Коэффициент полезного действия этого двигателя не превышает 18 процентов.

Значительно больше – в 3–4 раза этот коэффициент у горизонтальной пропеллерной турбины, расположенной внутри поставленного горизонтально диффузора. Однако и тот и другой тип гидравлического двигателя не нашли распространения в бесплотинных ГЭС. Это и понятно. Заполняющий своими лопастями большую площадь сечения потока гидроротор, однако, позволяет полезно использовать лишь незначительную часть его мощности. А имеющая высокую экономичность пропеллерная турбина захватывает слишком небольшое сечение потока. В случае же увеличения диаметра ее рабочего колеса, она становится громоздкой, неудобной.

**Большой энтузиаст бесплотинной энергетики, смелый ученый, Б.Б. Кажинский предложил новый тип гидравлического двигателя, соединяющего в себе достоинство обоих вышеописанных устройств и лишенный их недостатков. Это гидродвигатель с рабочим колесом в форме «архимедова винта».**

Возьмите обыкновенный шуруп покрупнее, чтобы была отчетливо видна его нарезка. Поверните его так, чтобы витки нарезки с одной стороны винта образовали сплошную стенку. Это будет при некотором наклоне оси винта к линии вашего взгляда. Под таким же углом поставлен к потоку «архимедов винт» нового гидродвигателя. Этой «стенкой» витков он и опущен в воду



**Рис. 6. Простейшая установка для выращивания ламинарии**

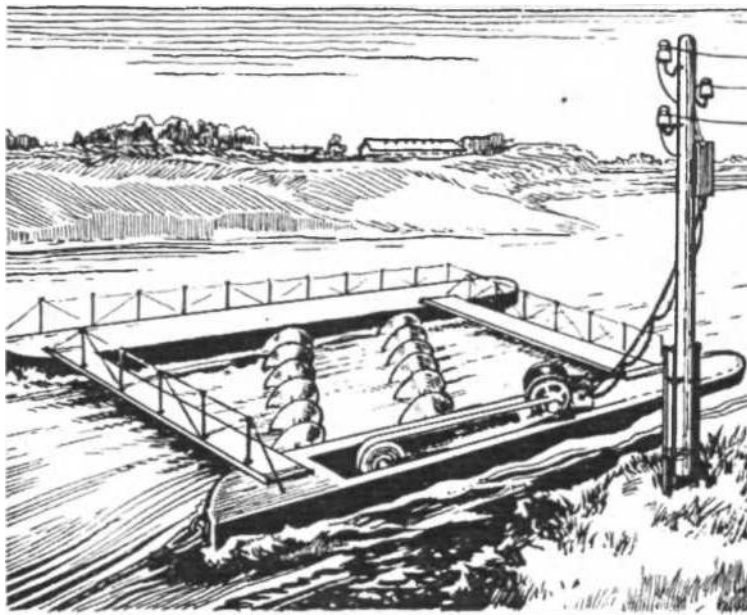


Схема плавучей электростанции Б.Б.Кажинского

Гидродвигатель нового типа заслоняет своим селением большую площадь потока, как и гидротортор, и имеет коэффициент полезного действия, приближающийся к КПД горизонтальной пропеллерной турбины.

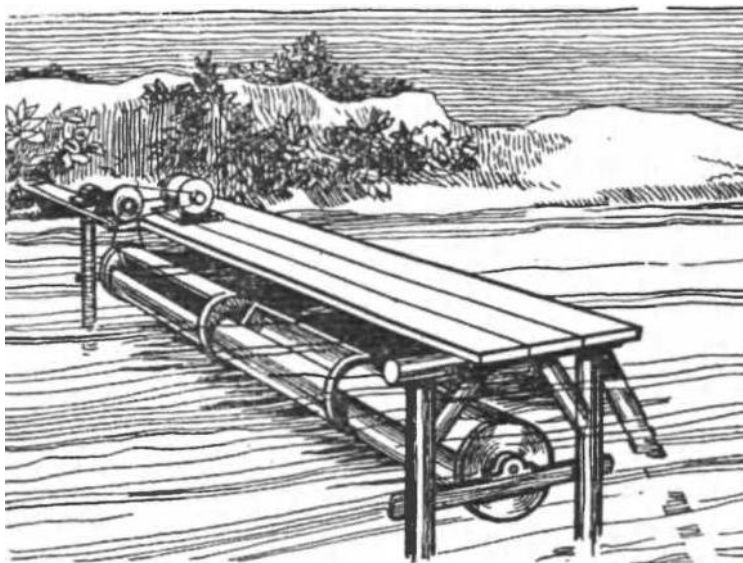
По сделанному Б.Б.Кажинским расчёту гидродвигатель нового типа, расположенный на реке со скоростью течения воды 2 метра в секунду и имеющий мощность порядка 50–60 киловатт, должен иметь «архимедов винт» диаметром в 3 и длиной в 25 метров. При конструктивном оформлении такой станции целесообразно разделить «винт» на две части – в 11 и 14 метров – и расположить их друг за другом в одной раме. Бесплотинная ГЭС Б. Б. Кажинского может работать и в зимних условиях, для этого ее надо покрыть тепляком, а воздух под ним подогревать небольшими электронагревателями, потребляющими энергию той же ГЭС.

**Интересен гидродвигатель бесплотинной станции, предложенный в 1955 году изобретателем М. И. Логиным.** Его гидросиловая установка представляет собой деревянный понтон, закрепленный на якорях и канатах в русле реки. Лопатки двигателя закрепляются на длинных тягах, концы которых соединены с мотылевыми подшипниками коленчатого вала. Эти лопатки все одновременно на каждой тяге погружаются в воду, перемещаются под её давлением и все одновременно извлекаются из воды. Пока извлеченные из воды лопатки движутся в обратном направлении, рабочее движение под водой совершают лопатки другой тяги. Всего таких тяг на двигателе должно быть не менее трёх.

Бесплотинные гидроэлектростанции М. И. Логина построены и дают ток.

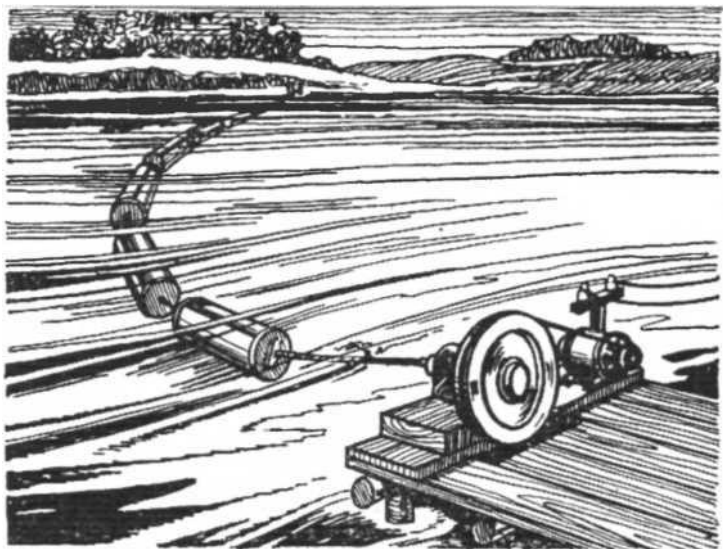
**Однако наиболее перспективны бесплотинные электростанции, предложенные инженером Б. С. Блиновым.** Сначала это был воздушный змей.

Совершенно неожиданно Блинову пришла в голову идея. А что, если опустить этот змей в воду? Ведь вода и воздух – с точки зрения газодинамики – очень сходные среды. И сходны по принципу действия многие механизмы, предназначенные для работы в этих средах: винт судна и пропеллер самолета, вентилятор и пропеллерный насос и т. д. Начались опыты... Из консервных банок, из жести он смастерил странные цилиндрические устройства. Были они очень разные: узкие и длинные, наоборот, – приземистые и широкие, всяких соотношений. Вставив в раму, протаскивал их в наполненной водой ванне. Цилиндрики – их называли вингроторами – вращались током воды. И поставили себе цель, создать маломощную переносную гидроэлектростанцию для геологов. Выглядела эта электростанция в первом варианте очень просто. Жестяная банка вингротора опускается с рамой прямо с берега в поток воды. Гибкий валик передает вращение вингротора находящемуся на суше электрогенератору. Вся установка такой походной электростанции занимает несколько минут. И в палатках геологов вспыхивает пара электрических лампочек. Гибкий валик... Может быть, с него-то все и началось! А почему бы не соединить несколько вингроторов гибким валиком, почему не нанизать их на стальной трос, который растянуть на всю ширину потока? Тут мощность можно снять уже не в несколько десятков ватт, а целые киловатты! Да и десятки киловатт, пожалуй, не предел для такого типа гидроэлектростанции. Так был побежден главный недостаток вингротора – малая мощность. Эта победа и была по существу изобретением, ибо вингроторы как тип гидравлической турбины существовали и до Блинова.



Роторная ГЭС. Что ж, осветить палатку геологов она вполне способна

На выставке достижений народного хозяйства СССР в Москве показана работа гирляндной электростанции Блинова. Как эта ГЭС отлична от всех других гидроэлектростанций. Она не требует никаких подготовительных работ для своей установки. Ей не нужна ни плотина, ни водохранилище, ни турбинное здание. Просто с обеих сторон потока воды – реки, крупного ручья – закрепляются концы стального троса и гроздь вингродоров погружается в воду, к самому дну потока. Она не мешает судоходству. Ей не страшен ни ледоход, ни сплав леса. Гирляндная электростанция по существу не нуждается в обслуживании. При работе, вингродоры самоустанавливаются на некотором расстоянии от дна, так что повредить себя ударами о камни они не могут. Гирляндные электростанции можно изготовить на заводах с применением совершеннейшей техники. Но главное – их можно сделать и в школьной мастерской или колхозной кузнице. Единственная покупная деталь в этом случае – электрогенератор. Но их выпуск у нас налажен широко, стоят они недорого... Уже немало таких сверкающих гирлянд крутятся в струях рек Карелии, Сибири, Камчатки и Алтая, рождая электрический ток и для колхозного молокозавода, и для походной лаборатории геологов, и просто для бытовых нужд наших людей. Они появились и за рубежом.



А это – вингродорная электростанция Б. С. Блинова. Гирлянда роторов при работе сама устанавливается на небольшом расстоянии от дна потока, так что не мешает проходу над ней судов.

## Приложение А (справочное)

### Энергия прилива \*

Прилив, дважды в лунные сутки обегая земной шар, приводит в движение гигантские массы океана и поднимает уровень воды у некоторых берегов до 10 и даже 15 м.

На Земле имеется 117 участков морского побережья, где можно построить приливные электростанции (ПЭС) и получить 1,5 трлн. кВт·ч электроэнергии. Однако обосновать целесообразность строительства ПЭС можно пока только для 17 створов с общей мощностью 50 млн.кВт и выработкой 125 млрд. кВт·ч в год. Это в 60 раз меньше, чем современное электропотребление на планете. Но энергия прилива обладает рядом свойств, делающих её весьма ценным компонентом в современных крупных энергосистемах. Важно и то, что места наибольшей концентрации приливной энергии в большинстве случаев совпадают с регионами сосредоточенного энергопотребления. Однако раскрытие этой возможности произошло не сразу, для неё энергетика созрела только в наше время.

#### ПА.1 Немного истории

Наблюдая из окон своего дома могучую волну прилива в заливе Пассамакводди, канадский инженер Декстер Купер еще в двадцатые годы нашего столетия сделал проект мощной по тем временам (230 тыс. кВт) приливной электростанции «Кводди». Этой идеей он увлек своего соседа, будущего президента США Ф. Рузвельта, и в 1935 г. строительство станции началось. Его вели за счет фонда борьбы с безработицей, основанного в годы великого кризиса, поэтому экономические соображения отошли в тот период на второй план. Но когда эксперты определили, что стоимость киловатт-часа Кводди обойдется в 5,5 раз дороже, чем у сопоставимой речной ГЭС, строительство было прекращено, а проект Кводди окрестили «дорогостоящим капризом».

Советские исследования, проводившиеся в 40-х гг. показали, что в фиаско проекта Кводди виновата не приливная энергия, а неправильные методы ее использования.

Как известно, возникновение приливов связано с взаимодействием Луны, Солнца и Земли. Так как их взаимное положение всё время меняется, соответственно будут меняться приливы, которые несут энергию. Но изменения эти строго периодичны и подчиняются законам небесной механики. Например, в течение суток ход приливной волны описывается синусоидой, поэтому и её энергия циклична.

\* Бернштейн, Л.Б. Используя силу прилива//Энергия: Экономика, техника, экология. – 1985. – №5.



Если какой-либо залив отсечь плотиной от моря и поставить турбину, то прилив будет вращать турбину в одном направлении, отлив – в другом, а между ними – пауза, пока не возникнет перепад уровней воды.

Кроме того, в течение месяца колеблется и сама величина прилива. Когда Луна и Солнце находятся на одной прямой с Землей (положение сизигии), то силы их воздействия суммируются и прилив достигает максимума. Это соответствует фазам полнолуния и новолуния. При убывании видимости лунного диска величина прилива тоже убывает, достигая наименьшего значения, когда Луна, Земля и Солнце образуют прямоугольный треугольник (положение квадратуры). Понятно, что прерывистую и пульсирующую энергию прилива изолированный потребитель в таком «сыром» виде принять не может. Вот и появились в первой половине этого века десятки проектов, в которых бассейн приливной электростанции делится плотинами на две или даже три части. При поочередном соединении турбин с морем и между собой обеспечивается непрерывная выработка энергии.

Однако анализ этих проектов показывает, что, несмотря на все их остроумие, авторам не удалось преодолеть внутримесячные колебания мощности ПЭС. Так что требуется ввод резервной дублирующей электростанции, т.е. снова приходится возвращаться к печально известному прототипу Кводди.

## **ПА.2 Предпосылки для использования энергии прилива**

**Более глубокое рассмотрение особенностей приливной энергии показывает, что под внешним покровом прерывистости и неравномерности скрыто весьма важное качество.**

Дело в том, что ввиду неизменности астрономических факторов, вызывающих прилив, среднемесячная его величина имеет практически постоянное значение, а потому приливная энергия, не изменяющаяся в сезонном и многолетнем цикле, в противоположность речной, не нуждается в таком регулировании и может стать важным источником энергоснабжения. Однако использование этого источника требует компенсации внутримесячных колебаний его мощности в период от полнолуния к новолунию и внутрисуточной прерывистости.

На примере Кводди и других проектов многобассейновых ПЭС стало очевидно, **что решение этой задачи не может быть достигнуто при изолированной работе ПЭС. Но ситуация меняется, если ПЭС объединить с другими видами электростанций.** Так,

«межсизигийная» (внутримесячная) неравномерность компенсируется при объединении приливной и речной гидроэлектростанций с большим водохранилищем.

При этом, когда ПЭС будет иметь наибольшую мощность, речные ГЭС работают в пониженном режиме, экономя воду в водохранилищах, которая будет реализована позже, когда мощность ПЭС снизится. Понятно, что такая компенсация потребует дополнительной мощности ГЭС и увеличения объёма водохранилища.

Что касается второй части задачи – компенсации прерывистости приливной энергии в течение суток – то в этом, оказывается, нет необходимости. Ведь само потребление энергии в современном обществе происходит тоже не равномерно, а волнообразно: пики утром и вечером, спады – в обед и ночью. Следовательно, нужно совместить «волны» потребления с волнами приливной энергии. **Эта задача решается, если объединить ПЭС в единую систему не только с речными, но и с тепловыми электростанциями.** Предположим, что ночью нагрузка в сети упала и ТЭС имеет излишки мощности. В это время турбины ПЭС можно использовать как насос, если генераторы обратить в мотор и за счёт энергии незагруженных ТЭС качать воду из моря в бассейн выше уровня полной воды. К 6 часам утра подкачка бассейна закончится, и ПЭС перейдет в фазу ожидания. В 8 утра, когда мощности ТЭС окажется недостаточно для покрытия растущих нагрузок, гидроагрегат ПЭС переключится на прямую турбинную работу. За счёт использования воды, которая закачана в бассейн, ПЭС будет давать в сеть энергию до момента спада, когда ТЭС сами смогут удовлетворять потребителя. (см. Рис.1)

Поскольку такое участие ПЭС можно осуществить только в крупной энергосистеме, объединяющей мощные ТЭС и ГЭС с большими водохранилищами, очевидно, что приливную энергию надо брать в максимально возможном количестве, что может быть осуществлено при отсечении больших морских бухт и даже заливов и в таком виде, как дает ее природа, т. е. в простейших однобассейновых установках, которые, по сравнению с другими схемами, обеспечивают минимальные капиталовложения. Так формировалась наша модель использования приливной энергии.

### ПА.3 Советский метод строительства ПЭС

Стремясь преодолеть этот барьер, в СССР предложили конструкцию здания ПЭС, которую можно было осуществить наплавным способом. Сам по себе способ известен давно. Так возводятся подводные туннели, плавучие доки, маяки, но гидроэлектростанции, ввиду их массивности, этим методом никто ещё не строил.

Когда ажурная конструкция Кислогубской ПЭС, изготовленная и смонтированная с оборудованием вблизи Мурманска, в готовом виде была доставлена буксиром на



Рис.3. Здание ПЭС транспортируется к месту установки



Рис.2. Кислогубская ПЭС: общий вид

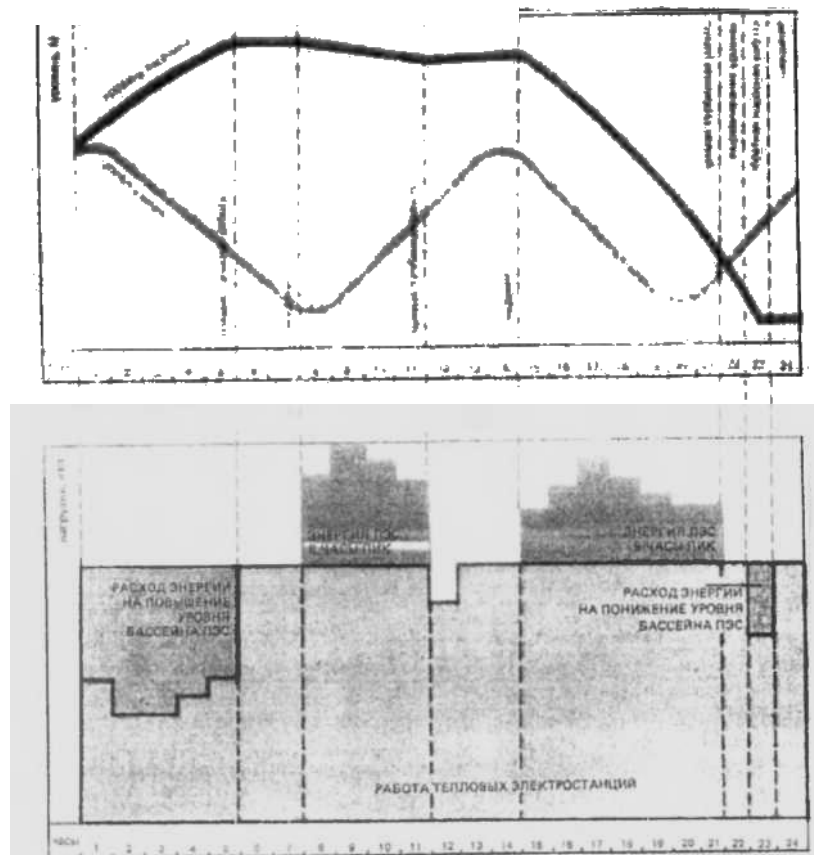


Рис.1. Графики возможной совместной работы ПЭС и ТЭС

расстояние 100 км и установлена на подводное основание(см. **Рис.3**). Вилсон, автор проекта английской ПЭС Северн, заявил, что это был впечатляющий скачок вперед, показавший, что можно обойтись без сложностей, связанных с возведением в море временных перемычек, которые при строительстве ПЭС Ране создали большие трудности. С учётом этого опыта были пересмотрены проекты ПЭС в Канаде и Великобритании. **Применение наплавного метода строительства ПЭС, который зарубежные специалисты назвали «советским», в сочетании с моделью, предусматривающей объединение ПЭС и ГЭС, позволило поднять мощность проектируемых ПЭС.**

## Океанические тепловые электростанции (ОТЭС)\*

Идея использования разности температур слоев морской воды для получения электроэнергии по замкнутому циклу возникла еще в 1881 г. В 1930 г. была предложена установка с открытым циклом, использующая тепло океана. С тех пор велись работы в обоих направлениях. Однако идея получила своё настоящее развитие только после 1973 г., когда в условиях роста энергопотребления, истощения традиционных энергоресурсов, увеличения цен на органическое топливо и принятия законов о защите окружающей среды, использование возобновляемых источников энергии привлекло к себе всеобщее внимание.

**ОТЭС используют для работы разность температур поверхностных и глубинных слоёв океана**, составляющую в некоторых районах 20–25 °С. Запасы тепловой энергии практически неограничены и оцениваются в  $21 \cdot 10^{16}$  Дж/год.

В ОТЭС с замкнутым термодинамическим циклом тёплая поверхностная вода с температурой 26–30 °С служит для испарения низкокипящей рабочей жидкости – аммиака, хладона и др. Пары жидкости приводят в действие турбогенератор. Холодная вода глубинных слоёв с температурой 4–7 °С используется для охлаждения конденсатора. В схемах с открытым циклом рабочим телом служит теплая поверхностная вода, испаряющаяся при пониженном давлении.

Использование тепла океана вошло в научно-технические программы многих стран (США, Япония, Франция, Швеция, Индия). В настоящее время разработка ТЭС находится в стадии проверки основных решений с помощью демонстрационных установок. Все действующие демонстрационные ОТЭС работают по замкнутому циклу.

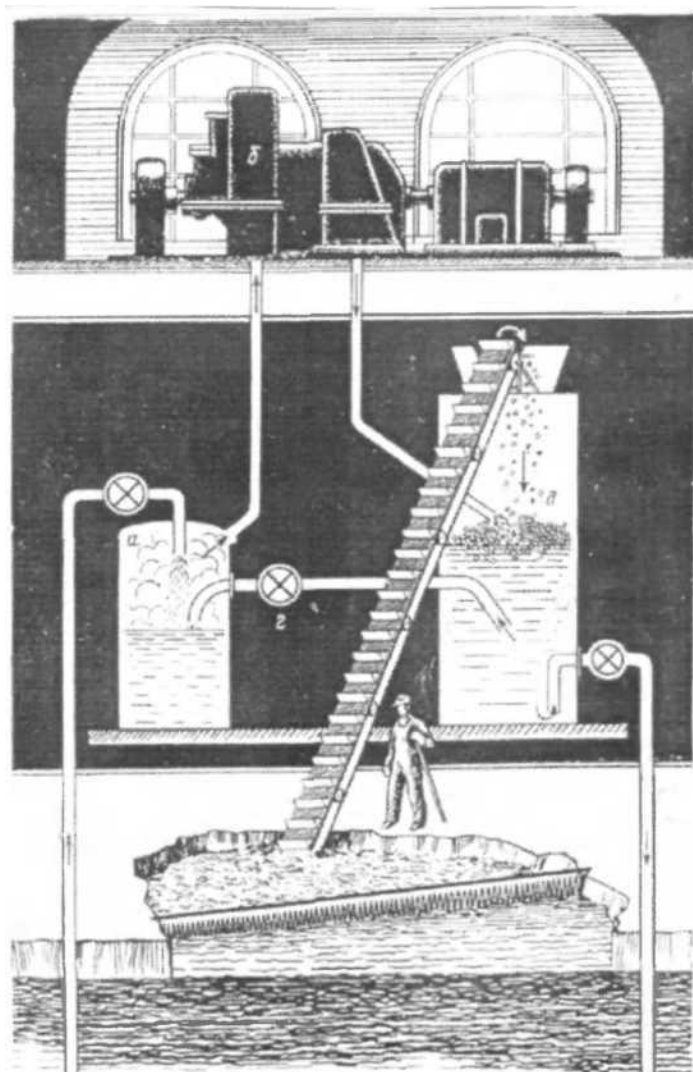
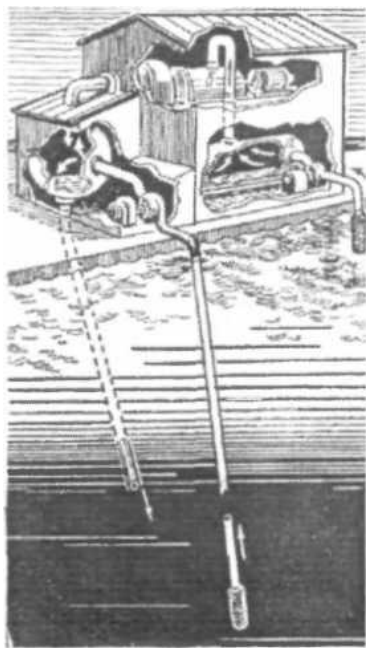
В 1979 г. в США вблизи Гавайских островов была испытана первая в мире опытная ОТЭС мощностью 50 кВт. В 1980 г. там же была построена ОТЭС мощностью 1 МВт, работавшая в течение девяти месяцев. Обе американские установки – плавучие, первая – смонтирована на барже, вторая на переоборудованном танкере. Наибольших успехов в развитии ОТЭС добилась Япония. В октябре 1981 г. на о. Науру в Тихом океане была пущена в эксплуатацию разработанная японскими фирмами опытная ОТЭС мощностью 100 кВт. Это первая в мире береговая станция. Установка работает по замкнутому циклу с использованием хладона. В её состав входят двухступенчатая активная осевая турбина, испаритель с омеднёнными титановыми трубками, конденсатор с титановыми трубками, полиэтиленовый трубопровод холодной воды длиной 945 м и внутренним диаметром 700 мм. При эксплуатации в течение года средняя мощность станции составила 100,5 кВт, расход на собственные нужды – 85,6 кВт. В сентябре 1982 г. завершено строительство гибридной ОТЭС с дизелем мощностью 50 кВт на о. Токуносима.

**Развитию ОТЭС в настоящее время препятствует наличие ряда серьёзных технологических проблем.** Важнейшая из них – борьба с коррозией и биологическим обрастанием оборудования и трубопроводов; создание конструкций трубопроводов холодной воды, платформ и подводных кабелей для ОТЭС, расположенных в океане; передача энергии станций на материк, что может быть решено путем прокладки подводного кабеля или в результате производства энергоёмких продуктов (аммиака, водорода, алюминия) непосредственно в океане. Часть этих проблем уже успешно решена, другие находятся в стадии разработки. **Согласно некоторым прогнозам к 2000 г. суммарная мощность промышленных ОТЭС составит примерно 10000 МВт.**

\* З. Е. Сигутина

Р. Л. Эйгенсон

(По материалам зарубежной печати)



Это электростанция, которая могла бы работать в тропическом океане. Тёплая вода с поверхности океана поступает в испаритель (а). Образовавшийся пар работает в паровой турбине (б) и конденсируется, охлаждаемый холодной водой, взятой из глубины океана, в струйном конденсаторе (в).

А этой электростанции место у Северного полюса. Кипит в «паровом котле» (а) бутан, нагреваемый водой, взятой из-под льда. Бутановый пар вращает турбину (б) и конденсируется на кусках льда (в), имеющих температуру окружающего воздуха 25–30 градусов ниже нуля. Жидкий бутан насосом (z) подаётся снова в «паровой котел»

## Приложение Б (справочное)

### Возможности бесплотинных ГЭС [5,1]

В настоящее время энергия течения реки преобразуется в электроэнергию, в основном, с помощью плотинных ГЭС (рис. 1, а). При этом затопляются наиболее ценные земли – поймы рек и омертвляется вода вследствие гибели зоопланктона в гидротурбинах. Энергия вырабатывается в одном месте и возвращается с помощью ЛЭП туда, откуда пришла вода. Эти ЛЭП дороги, теряют заметную часть энергии и занимают не меньшую площадь, чем зеркало водохранилища.

Имеется другой способ преобразования энергии рек [1] с помощью так называемых бесплотинных ГЭС (рис. 1, б). Они могут устанавливаться по всему руслу реки и её притокам. В этом случае жизнь в реке и судоходство сохраняется, исключаются затопления, а дорогостоящие ЛЭП заменяет разветвленная речная сеть.

Турбина бесплотинной ГЭС состоит из элементов, которые закрепляются или на гибком тросе, передающем крутящий момент на генератор, расположенный на берегу (поперечные и плоско параллельные бесплотинные ГЭС), или на одном жестком вертикальном валу (торцовые БПГЭС). Турбины поперечных и торцевых БПГЭС имеют вид, изображенный на рисунке 2а, а плоскопараллельных – на рис.2б. Для обоих типов турбин снимается мощность пропорциональная кубу скорости течения, поэтому БПГЭС наиболее эффективны на быстрых горных реках, скорость течения которых превышает 1 м/с.

Наиболее эффективной является работа турбины в ядре потока, где скорость набегающей воды максимальна. В летнее время ось ядра потока располагается на одной пятой глубины реки (рис.3,а). В зимнее время максимальная скорость потока смещается на середину глубины и при этом же расходе воды превышает летнюю (рис.3,б). Конструкция и способ установки элементов турбины с гибким валом позволяют так распределить гидродинамические силы, что турбина устойчиво работает в ядре потока.

Торцевые турбины устанавливаются вертикально на дне (так же учитывается поле скоростей течения) и состоят из турбинных элементов разного диаметра, работающих на общий вал. КПД поперечных и торцевых станций равен 0,15–0,3 и приближается к 0,5 при достаточно большой единичной мощности. Например, с одной торцевой установки можно снимать до 60 кВт, а с поперечной роторной линии длиной 75 м до 300 кВт. Плоскопараллельные БПГЭС имеют низкий КПД-0,1–0,2, но при этом могут устанавливаться в узких и быстротечных потоках. Отметим, что максимально возможный КПД для турбомашин, работающих в сплошном потоке, равен 0,687 [2].

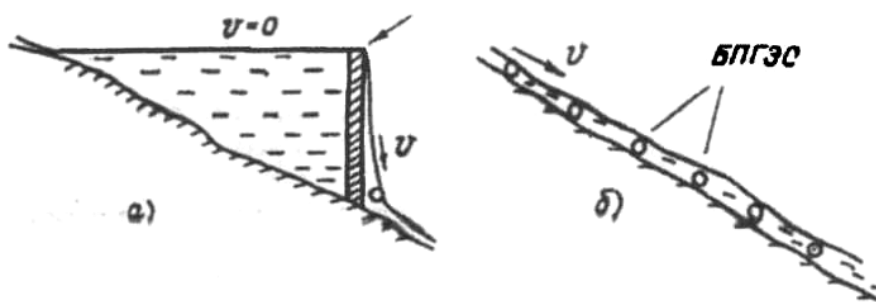


Рис. 1

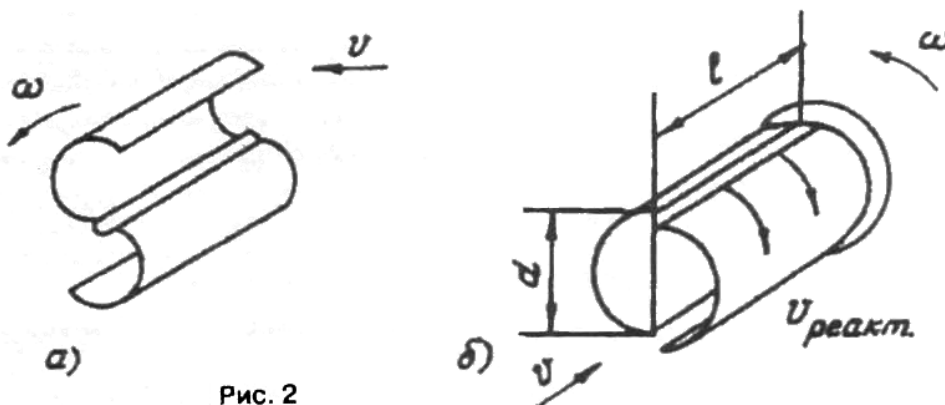


Рис. 2

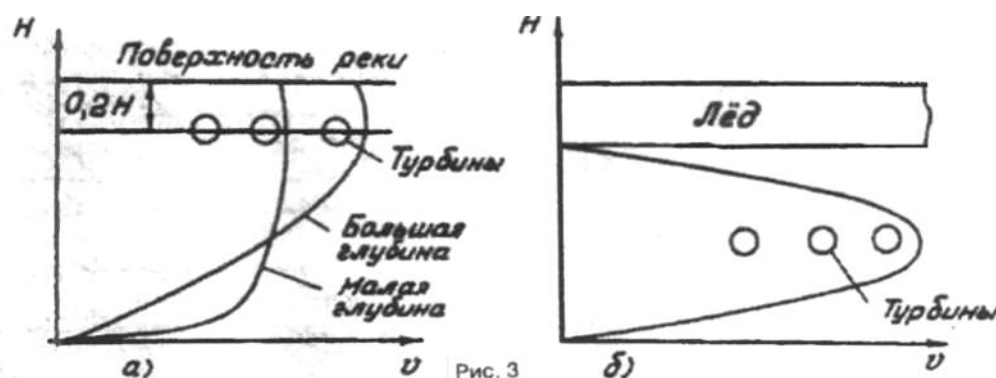


Рис. 3

Все БПГЭС не препятствуют движению по реке лодок, плотов, хотя требуют защиты от плавучих топляков и корней деревьев. А это предполагает регулярную чистку реки и сохранение её красоты и здоровья.

Возникает вопрос, а могут ли конкурировать БПГЭС с плотинными ГЭС по чисто экономическим показателям? Для этого рассмотрим пример:

В 1959 г. после завершения модельной обработки БПГЭС с гибким валом по согласованию с отделом энергетики и электрификации ЦК КПСС, куда было направлено заявление от Турочакского района Горно-Алтайской АО, было решено спроектировать и построить БПГЭС с тремя поперечными роторными линиями типа "Гирлянда". Техническое задание включало следующие данные: станция на р.Бия в 255 км от устья; ширина реки в створе 86-90 м; скорость течения в межень 2,5-3 м/с; активная ширина 80 м;

диаметр роторной линии 0,4 м; потребляемая мощность 250 кВт; мощность генератора 230 кВт; генератор ГСД-1506-16/Д-230-3757 стоимостью 2300 р. (новые цены); скорость вращения генератора 375 об/мин. Предварительные расчеты показали, что БПГЭС будет гораздо дешевле плотинной той же мощности (табл.1), и это подтвердилось на практике. Строительство БПГЭС требует в 75 раз меньше времени, и, кроме того, БПГЭС может быть легко демонтирована и перенесена в другое место реки без всякого ущерба окружающей природе.

**Таблица 1. Сравнение удельных стоимостей строительства  
ГЭС двух типов равной мощности 250 кВт**

Показатели	Плотинная Малая ГЭС	Бесплотинная ГЭС
Строительные работы, р./кВт	300	30
Материалоемкость, кг/кВт	4000	130
Монтаж ГЭС, ч/кВт	1100	15
Удельная стоимость материалов, р./кВт	900	15
Стоимость производства электроэнергии, коп./кВт.ч	0,2-0,8	0,4

**Расчеты, приведенные в табл.2,** показывают, что только из малых рек Алтая (даже не затрагивая Катунь) можно взять с помощью БПГЭС столько же энергии, как и с помощью плотинной ГЭС из Катунь, причём сделать это на малых реках плотинным способом не представляется возможным. К началу 1960-х годов в практической работе, как в летнее, так и в зимнее время, использовались различные БПГЭС мощностью от 2 кВт (переносные, для геологических партий и стойбищ) до 30 и 100 кВт - в Турочанском леспромхозе и 50 кВт - в поселке Верхбийск [5]. Причём поперечные роторы с профилировкой В.С.Бирюкова имели КПД 0,4, что близко к лучшим показателям современных ветростанций. Уже эта техника вполне позволяла извлекать из рек требуемое количество энергии.

Современные гидростроительная теория и практика увлекаются плотинным гигантизмом в ущерб природе и нравственности, подавляя всякие попытки реализации прогрессивных альтернативных вариантов. К сожалению, проекты БПГЭС оставлены в



стороне еще с 1962 года, что перечеркивает многолетнюю научную и практическую работу советских учёных и инженеров – Н.С.Симонова, Б.Б.Кажинского, Б.С.Блинова, Н.И.Логинова, В.Л.Иванова, Ф.С.Семячкова, Н.А.Кофмана, Э.Х.Гербштрейта, М.Д.Жаркова, Н.Б.Селезнева, Я.А.Воронина, А.А.Воронина, К.А.Угринского, Е.С.Бирюкова [1,5,6].

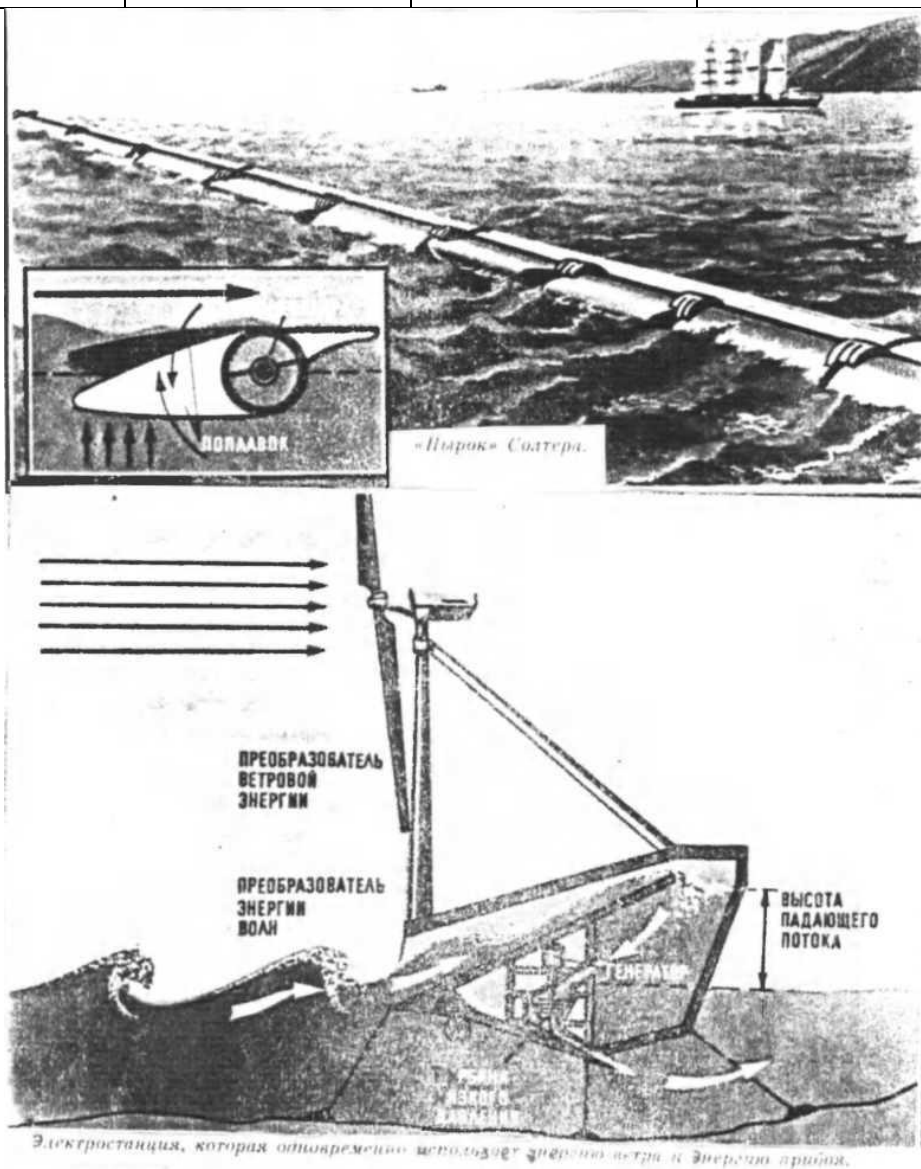
Преимущества БПГЭС очевидны, и они являются тем средством, с помощью которого можно использовать богатства малых рек Алтая и других районов страны.

**Таблица 2. Возможности бесплотинных ГЭС  
на реках Горного Алтая**

Река и главный населенный пункт	Основные характеристики [4]			Расчетная мощность, тыс. кВт, БПГЭС		
	Подпор, м	Расход, м/с	Длина, км	Поперечные	Торцевые	Плоскопараллельные
Аргут-пос.Аргут	9,6	9,2	163	212	424	636
Чуя-с.Бом	10	42	281	174	348	522
Кокса- с.Усть-Кокса	6,6	85	177	146	292	438
Урсул-с.Онгудай	9,3	18	97	24	48	72
Иша- с.Усть-Иша	1,1	35	169	10	20	30
Бия-г.Бийск	10,0	477	180	197	393	520
Лебедь - с.Усть-Лебедь	5,9	98	171	145	290	435
Песчанная-с.Точильное	5,8	34	225	65	130	195
Сарыкокша -д.Клы	13	50	100	115	230	345
Ануй - с.Старо-Тырышкино	3,6	37,7	328	66	132	198
Чары -с/х Чарышский	3,0	170	491	368	736	1105
ВСЕГО			1522	3044	4566	
Катунь			1600	3200	4000	

### Региональное распределение гидроэнергетических ресурсов.

Регион	Потенциальная мощность, тыс. Мвт	Доля всех ресурсов мира, %	Освоенная мощность, тыс. Мвт
Северная Америка	313	11	59
Южная Америка	577	20	5
Западная Европа	158	6	47
Африка	780	27	2
Средний Восток	21	1	-
Юго-Восточная Азия	455	16	2
Дальний Восток	42	1	19
Австралия	45	2	2
Россия, Китай и др.	466	16	16



Климов Геннадий Матвеевич

**Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии для получения  
теплоты в системах теплоснабжения: энергия воды океанов, морей и рек.**

Методическая разработка для студентов очной и заочной форм обучения  
специальностей 140104.65 Промышленная теплоэнергетика и 270109.65  
Теплогазоснабжение и вентиляция

Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60x90 1/8 Бумага газетная. Печать трафаретная.

Уч. изд.л. 4.8. Тираж 300 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

---

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»  
603950, Н.Новгород, Ильинская, 65.  
Полиграфцентр ННГАСУ, 603950, Н.Новгород, Ильинская, 65