

13. Использование энергии приливов и морских течений

13.1. Общие 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 приливных 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 еще 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). Из мест, которые давно привлекают внимание гидростроителей, следует назвать эстуарий реки Северн в Великобритании и залив Фанди на восточном побережье Северной

Америки на границе между США и Канадой. Характеристики мест возможного строительства ПЭС в России приведены в таблице 13.1.1.

Таблица 13.1.1

Основные места концентрации приливной энергии в России

Масторасположение	Средняя высота прилива, м	Площадь бассейна, км ²	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, приливная энергия оказывается весьма надежной формой возобновляемой энергии.

При ее преобразовании 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;
- изменение 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.

13.2. Мощность приливных течений и приливного подъема воды

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

Соотношения, позволяющие оценить мощность приливных течений, подобны тем, которые используются в ветроэнергетике, при этом следует иметь в виду, что плотность воды во много раз выше плотности воздуха, а скорости течения воды сравнительно низки.

Плотность мощности потока воды, Вт/м², равна

$$q = \rho \frac{V^3}{2}. \quad (13.2.1)$$

В случае приливного или речного течения при скорости, например, 3 м/с $q = 1000 \cdot \frac{3^3}{2} = 13500$ Вт /м². Только часть полной энергии потока может быть преобразована в полезную. Как и для ветра, это значение η не может превышать 60%. На практике оказывается, что η можно довести максимум до 40%.

Скорости приливных течений изменяются во времени примерно как

$$V = V_0 \sin \frac{2\pi t}{\tau}, \quad (13.2.2)$$

где τ – период естественного прилива, 12 ч 25 мин для полусуточного;

V_0 – максимальная скорость течения, м/с.

Таким образом, электрическая мощность, снимаемая с 1 м² площади поперечного сечения потока (с учетом 40%-ной эффективности преобразования энергии потока в электрическую), в среднем равняется

$$\bar{q} \approx 0,1\rho V^3. \quad (13.2.3)$$

При максимальной скорости около 5 м/с, встречающейся в проливах

между островами, $\bar{q} \approx 14 \text{ кВт/м}^2$. Перекрыв площадь 1000 м^2 , 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. 13.2.1. 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 энергии еще более дороги.

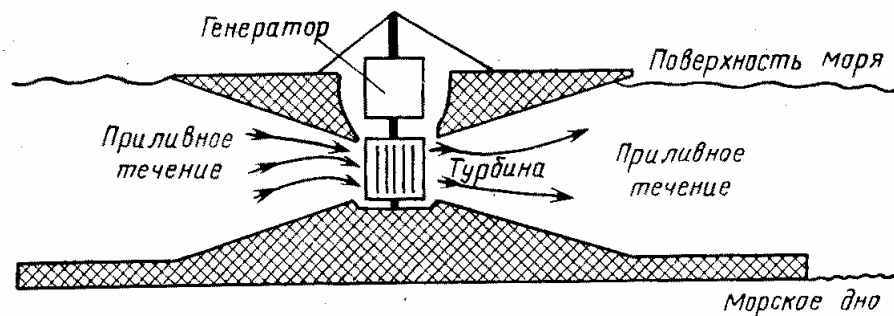


Рис. 13.2.1. Схема электростанции на приливном течении.

Основы теории приливной энергетики достаточно просты. Предположим, что бассейн ПЭС наполняется при высокой воде и опустошается через турбины при малой воде (рис. 13.2.2). Пусть бассейн имеет постоянную площадь A , остающуюся покрытой водой при малой воде. Допустим, что поступившая в бассейн вода имеет массу ρAR , сосредоточенную в центре тяжести на высоте $\frac{R}{2}$ 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 $\frac{R}{2}$. В этом случае энергия прилива

$$E = (\rho AR) \frac{gR}{2}. \quad (13.2.4)$$

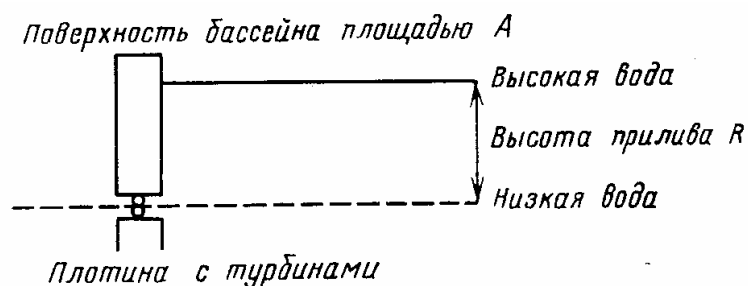


Рис. 13.2.2. Схема извлечения приливной энергии.

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

$$E = \frac{\rho A R^2 g}{2\tau}. \quad (13.2.5)$$

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. 13.2.2 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.

13.3. Использование энергии океанских течений

Механическая мощность, которую можно извлечь из океанского течения, определяется тем же соотношением, которое используется для оценки этой величины в ветроэнергетике:

$$P = \eta A \rho \frac{V^3}{2}. \quad (13.3.1)$$

Коэффициент преобразования энергии, зависящий от типа турбины, для выполнения приближенных расчетов 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 надежно защищены от волн и штормов на поверхности. Для эффективного использования течений в энергетике необходимо, чтобы они обладали определенными 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 влечет 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 судо-

ходству. 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.

13.4. 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. 13.4.1, а). В совершенствовании водяного колеса наблюдаются две основные тенденции. Одна – собственно улучшение показателей колеса (за счет оптимизации конструкции ферм, лопастей, механизмов передачи энергии, расположения по отношению к потоку, применения современных материалов и т.п.), другая – принципиальное изменение представлений о колесе.

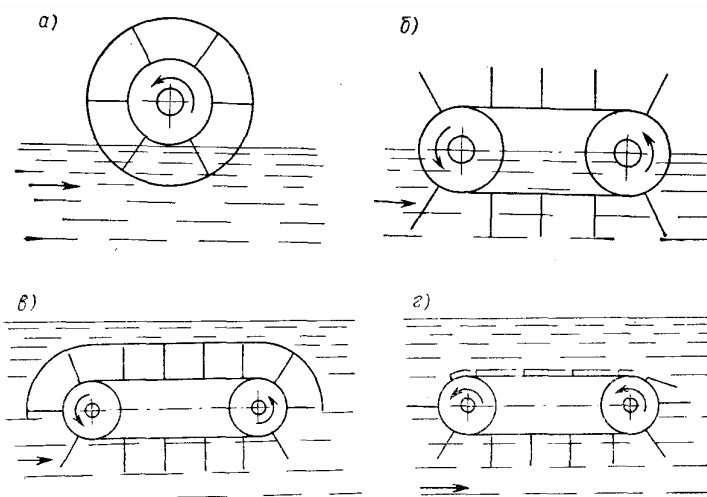


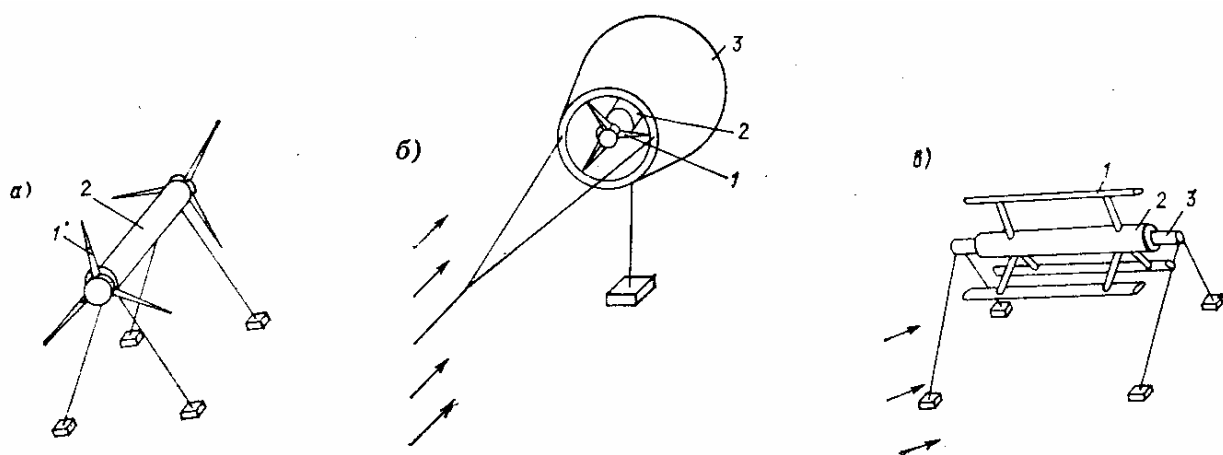
Рис. 13.4.1. Эволюция водяного колеса: а – колесо-прототип; б – ленточное колесо на плавучем основании; в – ленточное колесо в толще потока; г – ленточное колесо со складными лопастями.

Ленточное колесо (рис. 13.2.1, б) оказывается более компактным, требует меньше материалов, менее подвержено воздействию атмосферы. Подобное устройство может быть установлено в потоке на понтонах с таким расчетом, чтобы нижние лопасти входили в воду, а верхние оставались «сухими». Эффективность преобразования скоростного напора повышается за счет 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. 13.4.1, 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 энергетики 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. 13.4.2, а–в). Во всех этих конструкциях, так же как и у перспективных ветровых турбин, главный преобразующий элемент – крыловой профиль, обтекание которого потоком создает гидродинамическую силу, заставляющую турбины вращаться.



13.4.2. Варианты схем перспективных турбин для ОГЭС: а – свободный ротор; б – ротор в насадке; в – ротор, устанавливаемый поперек 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 то же время обеспечивает некоторую концентрацию энергии. Форму насадка выбирают из такого расчета, чтобы обеспечить плавное безотрывное течение потока на подходе к турбине, сделать всю систему устойчивой на потоке, максимально снизить завихренность потока на выходе из нее.

Увеличения мощности одного такого агрегата можно достигнуть за счет удлинения крыла. По сравнению с ветровыми преобразователями океанские турбины в этом плане имеют преимущество: критический размер крыла, при котором в нем 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 объемного насоса. На рис. 13.4.3 изображена одна из схем такого устройства, в основе которого – неподвижно закрепленное 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 по ступает 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 создается насосом,

$$\Delta p = p_1 - p_2 = 0,5 \rho v^2 \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right], \quad (13.4.1)$$

где $\frac{A_1}{A_2}$ – отношение площадей входного и минимального сечений конфузора.

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

МОГО газа.

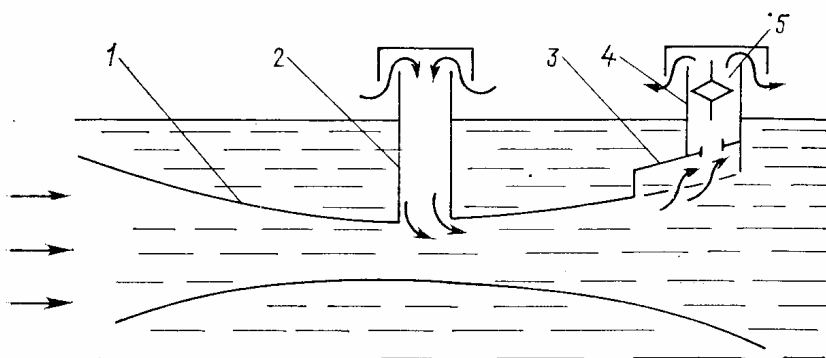


Рис. 13.2.3. Схема объемного насоса: 1 – профилированный корпус; 2 – шахта воздухозаборника; 3 – воздухосорборник; 4 – выхлопная шахта; 5 – воздушная турбина с электрогенератором.

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.

Литература

1. Бернштейн. Л.Б. и др. Приливные электростанции.
2. Коробков В.А. Преобразование энергии океана. – Л.: Судостроение, 1986. – 280 с.
3. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. – М. Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.
4. <http://acre.murdoch.edu.au/> – The Australian Renewable Energy Website.

Содержание

13. Использование энергии приливов и морских течений.....	1
13.1. Общие сведения об использовании энергии приливов	1
13.2. Мощность приливных течений и приливного подъема воды	3
13.3. Использование энергии океанских течений.....	6
13.4. Общая характеристика технических решений.....	7
Литература	12