

ЛЕКЦИЯ (13 ноября 2020 г)

Дисциплина: «Введение в профессиональную деятельность»

Студенту необходимо:

- 1. Проработать материал лекции.**
- 2. Ответить на контрольные вопросы.**
- 3. Разместить выполненное задание в личном кабинете студента для проверки.**

Приливные электростанции. Схемы и режимы работы приливных электростанций

Сила притяжения Луны и Солнца приводит в движение огромные массы вод в Мировом океане. Каждые 6 ч 12 мин повышение уровня воды сменяется его понижением. Высота приливной волны на просторах океана составляет в среднем около 2 м — это двойная амплитуда, т.е. разность между максимальным уровнем воды в прилив и минимальным — в отлив. Разные глубины океана, острова, континенты, фиорды, устья рек существенно влияют на высоту приливной волны и для разных точек побережий она оказывается различной. Так, наибольшая амплитуда прилива (19,6 м) наблюдается в заливе Фанди на атлантическом побережье Канады. На побережье Охотского моря она составляет до 11 м, на Белом море 6,9 м, на Кольском побережье 4,2 м.

Приливной вал, заходящий в устья рек, называется борой. На Амазонке бора обрывистой водной стенкой высотой 5 — 6 м проходит, снижаясь по пути, на 300 км вверх от устья реки.

В каждый момент времени в одной и той же точке побережья высота прилива определяется взаимным расположением Земли, Луны и Солнца (рис.1). При нахождении Солнца, Земли и Луны на одной прямой (новолуние и полнолуние) приливообразующие силы Луны и Солнца складываются и происходит наибольший по амплитуде сизигийный прилив. Когда Луна и Солнце находятся по отношению к Земле под углом 90° , приливообразующая сила Солнца вычитается из силы лунного прилива. При этом наблюдается наименьший по амплитуде квадратурный прилив (первая и последняя четверти Луны). Прилив, вызванный Солнцем, в 2,17 раза меньше лунного из-за большого расстояния между Землей и Солнцем. Период лунного прилива 24 ч 50 мин, солнечного 24 ч. Амплитуда квадратурного прилива примерно в 2 раза меньше амплитуды сизигийного. Продолжительность цикла смены фаз постоянна и равна одному синодическому (лунному) месяцу — 29,53 сут.

Энергия прилива прямо пропорциональна квадрату его амплитуды. Таким образом, для установки, утилизирующей энергию прилива, характерен неравномерный режим работы в течение синодического месяца и примерно одинаковый режим работы в каждом из этих месяцев в течение любого года.

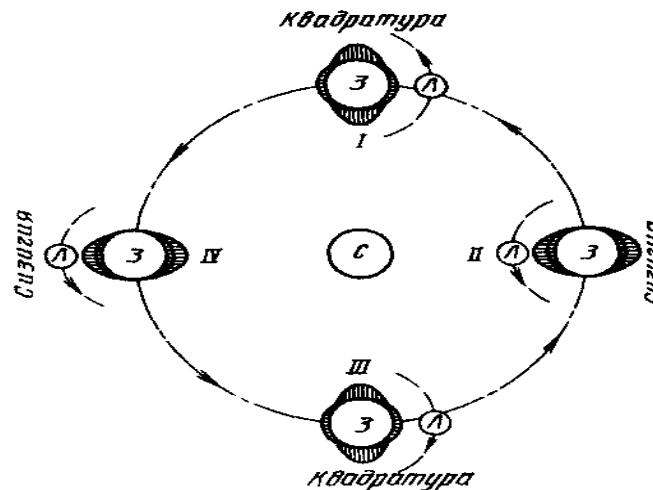


Рис.1. Графическое изображение сложения лунного и солнечного прилива в зависимости от положения Земли — Луны — Солнца:

I — первая четверть Луны; II — полнолуние; III - последняя четверть Луны; IV- новолуние; Л — Луна; З — Земля; С — Солнце

Изменение уровня воды в море вследствие приливов и отливов описывается мареограммой $h = h(t)$, имеющей вид синусоиды с периодом 12 ч 24 мин, т.е. смены прилива и отлива происходят через каждые 6 ч 12 мин. На рис. 26.2 показаны суточные колебания уровней воды в море (мареограмма) в бухте Сен-Мало во Франции.

Запас энергии прилива в море достаточно высок, только технически возможная годовая выработка энергии на побережьях России оценивается в 200 — 250 млрд.кВт*ч. Схема использования энергии прилива выглядит следующим образом. Удобный залив или фиорд отделяется от моря плотиной и зданием приливной электростанции (ПЭС). Создается бассейн, уровень воды в котором изменяется во времени $Z=Z(t)$. Перепад между уровнем воды в бассейне Z и в море h - есть напор установки $H = Z - h$.

Расход установки в каждый момент времени составляет

$$P = -F \frac{dZ}{dt}$$

где F — площадь бассейна.

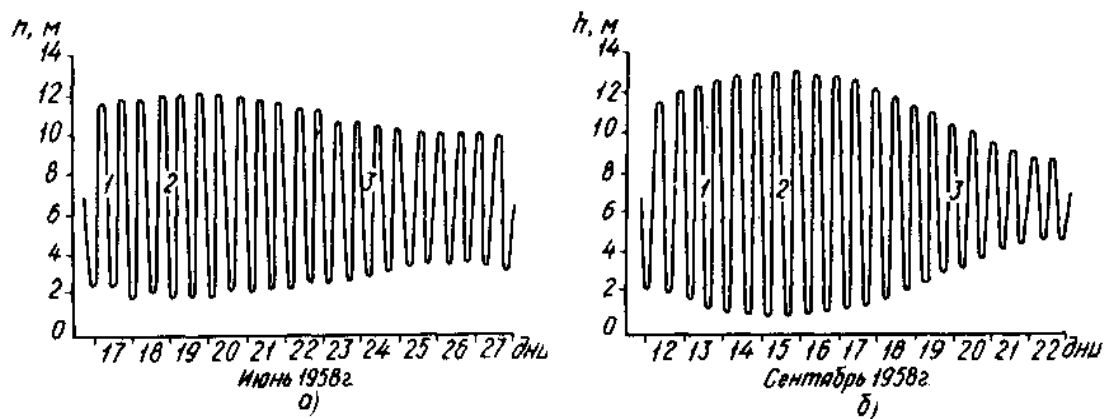


Рис.2. Суточные колебания уровней воды в бухте Сен-Мало:

а — в период летнего солнцестояния; б — в период осеннего равноденствия; 1 -новолуние; 2 — полнолуние; 3 — четверть

Потенциальная энергия бассейна $\mathcal{E}_\Pi$, кВт*ч, и соответствующая ей среднегодовая мощность N_Π , кВт, приближенно определяется по формулам

$$\mathcal{E}_\Pi = 2 \cdot 10^6 A_{cp}^2 Fk;$$

$$N_\Pi = \frac{\mathcal{E}_\Pi}{8760} = 225 A_{cp}^2 Fk;$$

где k — поправочный коэффициент ($k \leq 1$), учитывающий уменьшение площади бассейна при снижении уровня воды в нем.

Мощность, развиваемая установкой, с учетом плотности морской воды $\gamma = 1,026 \text{ т/м}^3$ и коэффициента полезного действия η

$$N = 10,05 QHh$$

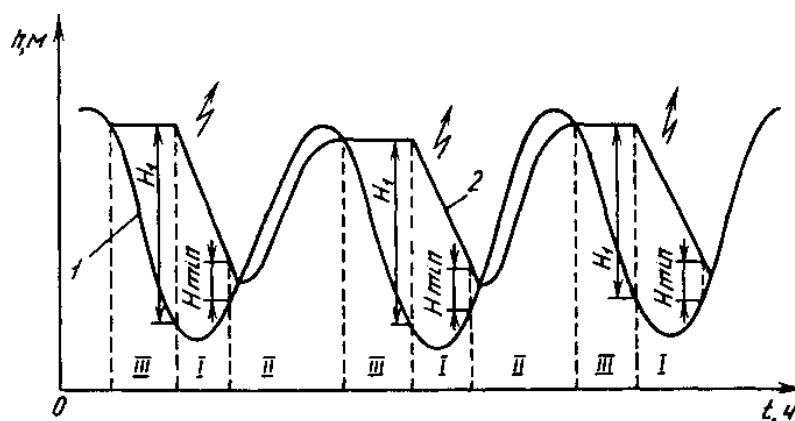


Рис.3. Схема работы односторонней ПЭС одностороннего действия:

1 — мареограмма; 2 — уровни воды в бассейне; I — III — периоды работы ПЭС.

В качестве энергетической установки может быть использована приливная гидроэлектростанция с быстроходными поворотно-лопастными турбинами.

Возможная схема односторонней работы односторонней ПЭС показана на рис.3. Здесь можно выделить три характерных периода:

I. Работа станции начинается при достаточно высоком начальном напоре H_1 ПЭС работает в прямом турбинном режиме при движении воды из бассейна в море. Одновременно с отливом происходит снижение уровня воды в бассейне, энергия передается в систему. Работа станции прекращается при снижении напора до $H_{\min}$ — технического минимума напора.

II. Выравнивание уровней в бассейне и в море, после чего открываются водосливы и в режиме холостого пуска во время прилива бассейн наполняется.

III. В момент выравнивания уровней в бассейне и в море затворы закрываются, бассейн отсекается от моря, уровень воды в море понижается (отлив) и накапливается начальный напор. Так работает опытная ПЭС Аннаполис в Канаде. Характерно, что энергия вырабатывается только в период I, все остальное время приливо-отливного цикла тратится на наполнение бассейна и накопление начального напора. Попытки удлинить период работы станции или сделать эту работу непрерывной привели к созданию многобассейновых схем со сложными режимами наполнения и опорожнения бассейнов. Эти схемы очень дороги, а главное, обеспечение непрерывности работы станции сопровождается резким снижением выработки электроэнергии. Дорогой оказалась и компенсация прерывистой работой ПЭС с помощью специально построенной ГАЭС.

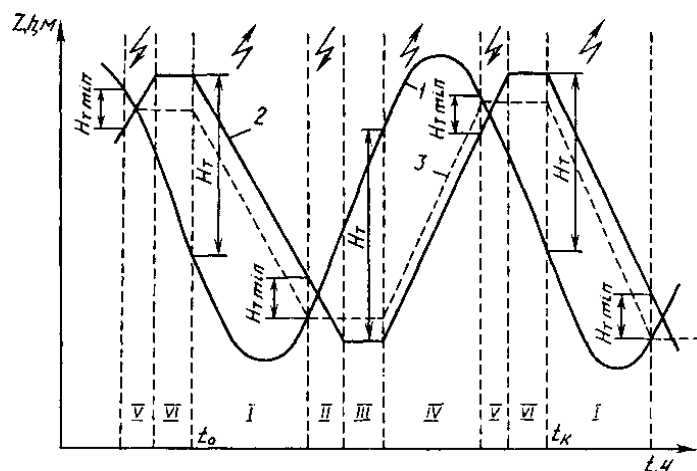


Рис.4. Схема работы одnobассейновой ПЭС двустороннего действия.

1 — мареограмма; 2 — уровни воды в бассейне при насосной подкачке; 3 — то же без насосной подкачки; I - VI - периоды работы ПЭС

В настоящее время основным типом установки, использующей энергию приливов, является одnobассейновая ПЭС двухстороннего действия, схема работы которой показана на рис. 4. За время одного цикла прилива-отлива, т.е. в течение 12 ч 24 мин, можно выделить шесть периодов: четыре рабочих и два периода простоя.

Рассмотрим работу ПЭС с момента t_0 начала работы станции в прямом турбинном режиме.

- I. ПЭС начинает работать при достаточно большом начальном напоре, ее агрегаты работают в прямом турбинном режиме при движении воды из бассейна в море. Выдача энергии в систему продолжается до тех пор, пока напор установки не понизится до технического минимума напора H_{Tmin} . В конце периода целесообразно дополнительно к работающим турбинам открыть все водосливы для скорейшего снижения уровня воды в бассейне. При напоре $H < H_{Tmin}$ через турбины пропускается расход воды при отключенных генераторах.
- II. Происходит дальнейшее опорожнение бассейна через водосливы и через турбины, которые включаются в прямой насосный режим, забирая энергию из системы. В момент выравнивания уровней в бассейне и в море водосливы закрываются, а турбины в прямом насосном режиме продолжают сработку бассейна до тех пор, пока это выгодно.
- III. Прекращение работы насосов, период ожидания и накопления напора за счет повышения уровня воды в море.
- IV. Обратный турбинный режим при движении воды из моря в бассейн ПЭС выдает энергию в систему до тех пор, пока напор не понизится до H_{Tmin} . В конце этого периода дополнительно к работающим турбинам включаются все водосливы для скорейшего наполнения бассейна.
- V. Дополнительно к работающим водосливам турбины переводятся в обратный насосный режим, забирая энергию из системы. В момент выравнивая уровней воды в бассейне и в море водосливы закрываются, турбины продолжают работать в обратном насосном режиме до тех пор, пока работа насосов выгодна.
- VI. Прекращение работы насосов, период ожидания и накопления напора за счет снижения уровня воды в море. В этот момент заканчивается первый и начинается второй цикл работы ПЭС.

Использование насосных режимов связано с затратой энергии, но так как насосы работают на малых напорах, а сработка дополнительных призм воды в турбинном режиме происходит на значительно больших напорах, дополнительная выработка энергии оказывается больше, чем ее затраты. Работа насосов увеличивает выработку энергии ПЭС на 5 — 8%. Аналогичный эффект дает холостой сброс воды через водосливы во время

работы турбин. Например, в прямом турбинном режиме он позволяет увеличить напор и увеличить выработку в обратном турбинном режиме.

На рис. 4 штриховой линией показан режим ПЭС без использования работы насосов, когда агрегаты станции работают в турбинном режиме или стоят. Напоры при этом оказываются меньше, и соответственно уменьшается выработка электроэнергии.

Рассмотренные режимы работы ПЭС называются базисными. Они обеспечивают максимальную выработку электроэнергии. Недостатком этих режимов является то, что периоды выдачи мощности в систему чередуются с периодами потребления энергии и простоями. Режим потребления электроэнергии в системе характеризуется пиками и провалами нагрузки, время наступления которых определяется солнечным календарем, а ПЭС вырабатывает энергию по лунному календарю и в солнечном времени периоды ее работы ежедневно смещаются на 48 мин. Поэтому период выдачи мощности ПЭС не совпадает периодически с режимом потребления энергии в системе.

Используя работу агрегатов ПЭС в насосных режимах, можно обеспечить работу станции в солнечном времени и ежесуточное участие ее мощности в покрытии пика электрической нагрузки системы.

Однако работа ПЭС с обязательным участием в пиках нагрузки системы оказывается значительно сложнее. Расчет режимов сработки и наполнения бассейна принципиально возможен, так как мареограмма и графики нагрузки системы могут быть с достаточной точностью предсказаны на большой срок, однако выработка энергии ПЭС может оказаться даже меньше, чем ее потребление на работу насосов.

Из рис.3, рис.4 видно, что во время работы ПЭС уровень воды в бассейне не превышает уровня воды в море, поэтому приливные электростанции не создают дополнительных подтоплений и затоплений территорий и с этой точки зрения являются экологически чистыми. Холостые попуски из водосливов заканчиваются при полностью открытых затворах и при перепадах уровней, близких к нулю, что обеспечивает пропуск рыбы к нерестилищам на побережье и в реки, впадающие в бассейн ПЭС.

Выбор параметров ПЭС

Основными параметрами ПЭС являются её установленная мощность и пропускная способность водосливов.

Как правило, проектирование агрегата ведется применительно к конкретным условиям выбранного створа. Часто опытный агрегат в натуральную величину испытывают на небольшой опытной приливной электростанции. Установленная мощность ПЭС обычно определяется числом агрегатов, параметры которых известны.

Пропускная способность водосливного фронта аналогично определяется числом водосливов, пропускная способность каждого из которых зависит от глубины в створе, конструкции водослива, возможных размеров затворов данного типа. При совмещении водосливного и агрегатного блоков и расположении водосливов над агрегатом число водосливов равно числу агрегатов и выбор установленной мощности ПЭС и пропускной способности водосливов сводится к выбору числа агрегатов. При раздельной компоновке агрегатных и водосливных блоков должно быть выбрано количество первых и вторых. Параметры ПЭС зависят от предполагаемого режима ее работы в энергосистеме, а этот режим определяется составом электростанций системы.

Для предварительной оценки энергетических возможностей бассейна F , км², на побережье со средней амплитудой прилива A_{cp} Л.Б.Бернштейн рекомендует формулы установленной мощности, кВт,

$$N_y = 250 A_{cp}^2 F$$

и годовой выработки электроэнергии, кВт*ч,

$$\Xi = 0,67 \cdot 10^6 A_{cp}^2 F.$$

На ПЭС устанавливаются преимущественно капсульные агрегаты двустороннего действия с горизонтальным валом. Для уменьшения размеров генератора и капсулы на некоторых ПЭС применяют мультипликаторы, позволяющие получить частоту вращения ротора генератора в несколько раз больше, чем у турбины. Такой мультипликатор установлен у агрегата Кислогубской ПЭС. В одnobассейновых ПЭС одностороннего действия (см.рис.3) могут быть применены прямоточные агрегаты одностороннего действия, ротор генератора которых расположен на ободу рабочего колеса турбины (см.рис.7). Из-за небольших напоров мощность одного агрегата оказывается сравнительно малой, и для получения значительной мощности ПЭС приходится устанавливать большое число машин. Так, в одном из вариантов Беломорской ПЭС предполагалось установить до 2000 агрегатов. При большом числе агрегатов возможно применение пропеллерных турбин с жестко закрепленными лопастями.

Примеры компоновки ПЭС

Первой из крупных приливных электростанций является одnobассейновая ПЭС Ране, построенная в 1967 г. во Франции вблизи г.Сен-Мало на берегу Ла-Манша. Площадь бассейна 20 км², амплитуды прилива 3,3 — 13,5 м при среднем значении 8,4 м. Установленная мощность станции 240 тыс. кВт, в 24 капсульных агрегатах с поворотнo-лопастными турбинами с диаметром рабочего колеса 5,35 м. Годовая выработка электроэнергии (нетто — за вычетом затрат энергии на насосную работу) — 502 млн.кВт*ч.

В состав сооружений ПЭС (рис.5) входят: здание ПЭС, водосбросная плотина, земляная плотина, судоходный шлюз, ОРУ 220 кВ. Главные повышающие трансформаторы расположены внутри здания ПЭС, по крыше здания проложена автомобильная дорога, имеющая две полосы движения шириной по 7 м каждая. С обеих сторон дороги устроены пути для перемещения двух кранов, обслуживающих затворы всасывающе-отсасывающих труб.

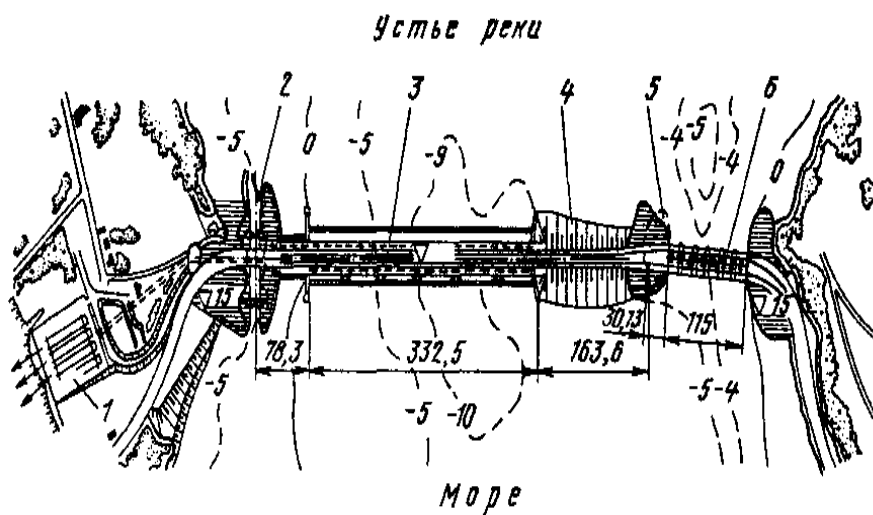


Рис.5. План сооружений ПЭС Ране:

1- ОРУ 220 кВ; 2 - судоходный шлюз; 3 — здание ПЭС; 4 - земляная плотина; 5 - отдельный устой на сохранившейся части рифа; 6 — водосливная плотина

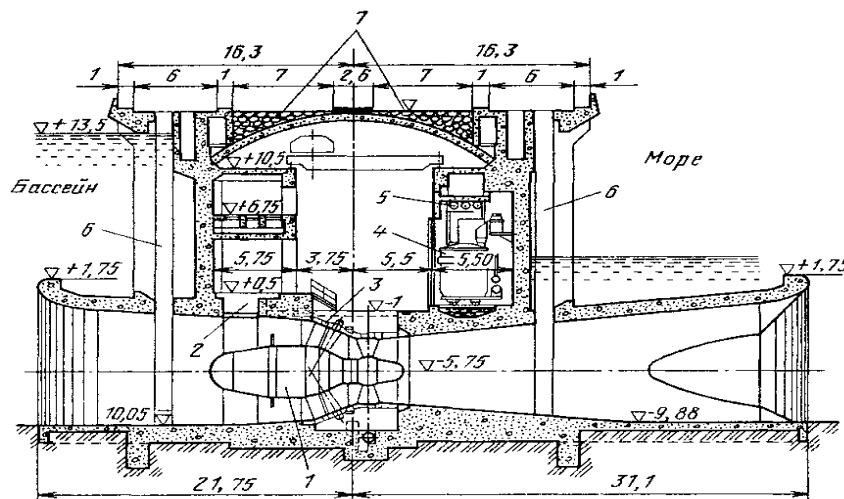


Рис.6. Здание ПЭС Ране:

1 - капсульный обратимый агрегат; 2 - люк для монтажа и ремонта электрической машины; 3 — то же гидравлической машины; 4 — трансформатор; 5 — кабельные выводы на ОРУ; 6 — пазы плоских затворов; 7 — проезжая часть автодороги

Бетонные сооружения ПЭС построены под защитой ячеистых перемычек.

Опытно-экспериментальная однобассейновая Кислогубская ПЭС двустороннего действия построена в 1968 г. вблизи г. Мурманска. Средняя амплитуда прилива 2,37 м. Установленная мощность 400 кВт. На ПЭС установлен обратимый капсульный агрегат двустороннего действия диаметром 3,3 м. Размещенный в капсуле соосный мультипликатор повышает частоту вращения с 72 на турбине до 600 об/мин на генераторе.

Здание ПЭС (рис.6) состоит из двух секций, в одной из которых установлен агрегат с расположенным над ним водосливным отверстием, в другой, используемой пока в качестве донного водосброса, предусмотрена возможность установки второго агрегата.

Строительство ПЭС осуществлено без устройства перемычек наплавным способом, что позволило значительно сократить затраты на строительство. В настоящее время этот способ принят основным в проектах мощных ПЭС в России, в Канаде и Англии.

Сущность способа состоит в том, что наплавной блок, представляющий собой железобетонную конструкцию из тонкостенных элементов, изготавливается в сухом доке, затем на плаву буксиром доставляется к месту установки и ставится на заранее подготовленное основание.

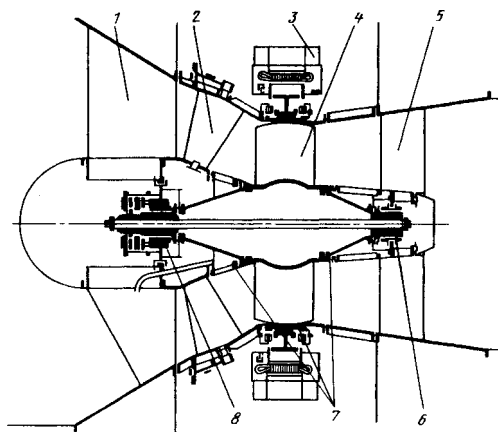


Рис.7. Гидротурбина типа "Страфло":

1 — входной статор; 2 — направляющий аппарат; 3 - генератор; 4 - рабочее колесо; 5 — выходной статор; 6 — подшипник; 7 — гидростатическое уплотнение; 8 - верховой подшипник, совмещенный с подпятником

При наличии больших глубин в створе сооружений возможно многоярусное расположение агрегатов и объединение нескольких агрегатов в одном наплавном блоке.

На рис.7 показан агрегат ПЭС Аннаполис с прямоточной турбиной типа "Страфло", а на рис.8 здание той же ПЭС. Несколько небольших ПЭС построено в КНР.

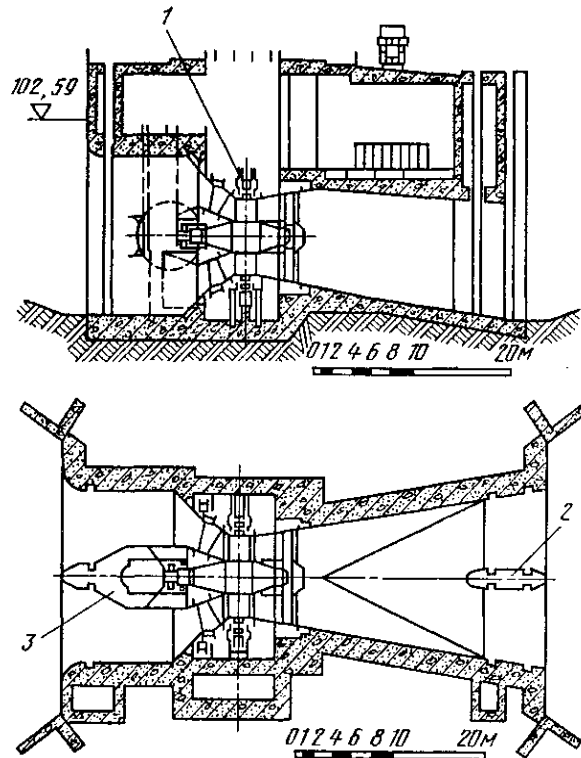


Рис.8. Вертикальный и горизонтальные разрезы по зданию ПЭС Аннаполис (Канада):

1 — гидротурбина типа "Страфло"; 2 — бычок в отсасывающей трубе; 3 — бычок в подводе (с шахтой)

Контрольные вопросы

1. Явление прилива, приливообразующие силы, сизигийные и квадратурные амплитуды прилива, периодичность прилива.
2. Основные схемы использования энергии приливов.
3. Особенность режима работы ПЭС.
4. Основные виды гидросилового оборудования ПЭС.