

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические указания по выполнению лабораторных работ по  
дисциплине «Энергетические установки на основе возобновляемых  
источников энергии»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Квалификация выпускника – бакалавр

Невинномысск 2024

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии» для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и соответствуют требованиям ФГОС ВО направления подготовки бакалавров.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
1. Теоретические основы применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.....	6
1.1. Ветроэнергетика. Мощность ветроэнергетических установок .....	6
1.2. Энергия солнца. Солнечные коллекторы .....	7
1.3. Энергия приливов. Усиление приливов .....	9
2. Лабораторный практикум.....	11
2.1. Лабораторная работа № 1 «Анализ ветроэнергетического потенциала».....	11
2.2. Лабораторная работа № 2 «Сравнение распределения Рэля с результатами метеорологических наблюдений».....	14
2.3. Лабораторная работа № 3 «Измерение параметров воды, нагреваемой в коллекторе, и определение облученности коллектора».....	17
2.4. Лабораторная работа № 4 «Исследование возможности получения энергии ПЭС в заливах и эстуариях».....	19

## **ВВЕДЕНИЕ**

Сегодня как никогда остро стоят вопросы экономии энергетических и топливных ресурсов, а также защиты окружающей среды. Для успешной работы инженерам-теплотехникам следует уметь правильно анализировать условия, по возможности использовать энергосберегающие технологии, к которым относится также использование нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. А для этого необходимо иметь теоретическую базу и знать типовые методики расчетов.

В пособии содержится материал для проведения лабораторных занятий по курсу «Возобновляемые источники энергии и установки на их основе». В теоретических разделах приводятся методики анализа и расчета, например ветроэнергетического потенциала в какой-либо местности.

Так же содержатся необходимые справочные данные и аналитические зависимости для некоторых данных, представленных в справочной литературе.

# I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

## 1. 1. Ветроэнергетика. Мощность ветроэнергетических установок

Ветроэнергетика с ее современным техническим оснащением является вполне сложившимся направлением энергетики. Ветроэнергетические установки мощностью от нескольких киловатт до мегаватт производятся в Европе, США и других частях мира. Большая часть этих установок используется для производства электроэнергии, как в единой энергосистеме, так и в автономных режимах.

Известно, что при скорости ветра  $u$ , м/с, и плотности воздуха  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>, ветроколесо, ометающее площадь  $F$ , м<sup>2</sup> развивает мощность  $P$ , Вт, определяемую

$$P = \xi F \rho u^3 / 2. \quad (1.1)$$

Здесь  $\xi$  – коэффициент мощности, характеризующий эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и принимаемый равным 0,35.

Из (1.1) видно, что мощность  $P$  пропорциональна ометаемой площади  $F$  и кубу скорости. Коэффициент мощности зависит от конструкции ветроколеса и скорости ветра. Так как скорость ветра непостоянна, а мощность очень сильно зависит от скорости, то выбор оптимальной конструкции ветроколеса во многом определяется требованиями потребителя энергии. Обычно среднегодовая мощность, снимаемая с единицы площади ветроколеса, пропорциональна плотности воздуха и кубу средней скорости. Максимальная проектная мощность ветроэнергетической установки (ВЭУ) определяется для некоторой стандартной скорости ветра. Обычно эта скорость равна примерно 12 м/с, при этом снимаемая с 1 м<sup>2</sup> ометаемой площади мощность — порядка 300 Вт при значении  $\xi$  от 0,3 до 0,45. В районах с благоприятными ветровыми условиями среднегодовое производство электроэнергии составляет 22 – 30% его максимального проектного значения. Срок службы ветрогенераторов обычно не менее 15 – 20 лет, а их стоимость колеблется от 1000 до 1500 долл. США за 1 кВт проектной мощности.

Одно из основных условий при проектировании ветровых установок — обеспечение их защиты от разрушения очень сильными случайными порывами ветра. Ветровые нагрузки пропорциональны квадрату скорости ветра, а раз в 50 лет бывают ветры со скоростью, в 5 – 10 раз превышающей среднюю, поэтому установки приходится проектировать с очень большим запасом прочности. Кроме того, скорость ветра очень колеблется во времени, что может привести к усталостным разрушениям, а для лопастей к тому же существенны переменные гравитационные нагрузки (порядка 10<sup>7</sup> циклов за 20 лет эксплуатации).

Причиной возникновения ветров является поглощение земной атмосферой солнечного излучения, приводящее к расширению воздуха и

появлению конвективных течений. В глобальном масштабе на эти термические явления накладывается эффект вращения Земли, приводящий к появлению преобладающих направлений ветра. Кроме этих общих, или синоптических, закономерностей многое в этих процессах определяется местными особенностями, обусловленными определенными географическими или экологическими факторами. Скорость ветров увеличивается с высотой, а их горизонтальная составляющая значительно больше вертикальной. Последнее обстоятельство является основной причиной возникновения резких порывов ветра и некоторых других мелкомасштабных эффектов. Суммарная кинетическая энергия ветров оценивается величиной порядка  $0,7 \cdot 10^{21}$  Дж. Вследствие трения, в основном в атмосфере, а также при контакте с земной и водной поверхностями эта энергия непрерывно рассеивается, при этом рассеиваемая мощность — порядка  $1,2 \cdot 10^{15}$  Вт, что равно примерно 1% поглощенной энергии солнечного излучения.

Для анализа ветроэнергетического потенциала местности составляется ветроэнергетический кадастр, который представляет собой районированную систему численных характеристик режима ветра. Ветроэнергетический кадастр — это совокупность объективно достоверных и необходимых количественных сведений, характеризующих ветер как источник энергии. В кадастре все характеристики обычно представлены в табличной или графической форме, используя материалы многолетних наблюдений.

Достоверно оценить, какая доля энергии ветра может быть использована в энергетике, вряд ли возможно, так как эта оценка очень сильно зависит от уровня развития ветроэнергетики и ее потребителей. Тем не менее, официальные оценки возможной доли ветроэнергетики в энергетике в целом, например, в Великобритании и Западной Германии, не предполагающие каких-либо серьезных изменений в сложившейся инфраструктуре энергопотребления, дают не менее 20%. При определенных изменениях инфраструктуры доля ветроэнергетики может быть существенно большей. Автономные ветровые энергоустановки весьма перспективны для вытеснения дизельных электростанций и отопительных установок, работающих на нефтепродуктах, особенно в отдаленных районах и на островах.

Ветроэнергетические установки классифицируются по двум основным признакам — геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра.

## **1.2. Энергия солнца. Солнечные коллекторы**

Использование солнечной энергии достаточно разнообразно, но наиболее очевидная область использования солнечной энергии — подогрев воздуха и воды. В районах с холодным климатом необходимо отопление жилых зданий и горячее водоснабжение. Промышленность также требует большое количество горячей воды. В Австралии, например, на подогрев жидкостей до температуры  $100^\circ\text{C}$  расходуется почти 20% энергии. В связи с этим во многих

странах, особенно в Австралии, Израиле, США, Японии, Испании, активно расширяется производство солнечных нагревательных систем.

Основным элементом солнечной нагревательной системы является приемник, в котором происходит поглощение солнечного излучения и передача энергии жидкости. Самые простые приемники содержат весь объем жидкости, которую необходимо нагреть. Приемники более сложной конструкции нагревают за определенное время только небольшое количество жидкости, которая, как правило, затем накапливается в отдельном резервуаре (баке-аккумуляторе).

Поток лучистой энергии  $Q_{нов}$ , Вт, поглощаемой поверхностью приемника, составляет

$$Q_{нов} = \tau_{нов} \alpha A I, \quad (1.2)$$

где  $\tau_{нов}$  – коэффициент пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием, принимается равным 0,9 для одинарного стеклянного покрытия, 0,8 – для двойного стеклянного покрытия, 0,81 – для селективного стекла;  $\alpha$  – коэффициент поглощения приемной поверхностью коллектора солнечного излучения, принимается равным 0,9 для одинарного стеклянного покрытия, 0,9 – для двойного стеклянного покрытия, 0,81 – для селективного стекла;  $A$  – площадь освещаемой поверхности коллектора, м<sup>2</sup>;  $I$  – облученность поверхности солнечного коллектора, Вт/м<sup>2</sup>.

В процессе поглощения энергии, температура поверхности приемника повышается и становится существенно выше температуры окружающего воздуха. Это приводит к возникновению обратного теплового потока в окружающую среду, который можно определить

$$Q_{пот} = A (T_n - T_{o.c.}) / R_n, \quad (1.3)$$

где  $T_n$  – температура приемной поверхности коллектора, К;  $T_{o.c.}$  – температура окружающего воздуха, К;  $R_n$  – термическое сопротивление приемной поверхности коллектора, для типичных коллекторов можно принять равным 0,13 м<sup>2</sup>·К/Вт для одинарного стекла, 0,22 м<sup>2</sup>·К/Вт – для двухслойного стекла, 0,4 м<sup>2</sup>·К/Вт – для селективного стекла.

Уравнение солнечного коллектора тогда можно представить

$$Q_{ск} = A [\tau_{нов} \alpha I - (T_n - T_{o.c.}) / R_n].$$

Однако не вся энергия, получаемая коллектором, передается воде, а только ее часть, характеризующая коэффициентом перехода  $k_f$  солнечной энергии, показывающим долю теплового потока  $Q_{ск}$ , передаваемого жидкости, принимается равным 0,85

$$Q_{ж} = k_f Q_{ск}.$$

Количество же тепла, требуемого для нагрева жидкости на определенную разницу температур  $Q_{ж}$ , Вт можно записать в виде

$$Q_{ж} = L\rho c(T_k - T_n), \quad (1.4)$$

где;  $T_k$  – конечная температура воды, К;  $T_n$  – начальная температура воды, К;  $\rho$  – плотность воды, равная  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $c$  – теплоемкость воды, равная  $4200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ ;  $L$  – объемный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Уравнение теплового баланса коллектора можно записать в виде

$$k_f A(\tau_{нов} \alpha I - (T_n - T_{o.c.}) / R_n) = L\rho c(T_k - T_n).$$

Из уравнения баланса солнечного коллектора определяются все основные характеристики.

### 1.3. Энергия приливов. Усиление 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. 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  $S$ . Если затем во время отлива пропустить эту массу воды через турбины, то можно получить мощность

$$P = \rho g S R^2 / 2, \quad (1.5)$$

где  $\rho$  – плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $R$  – перепад уровней, м;  $S$  – площадь приливного бассейна,  $\text{м}^2$ .

Очевидно, что места с большими высотами приливов обладают и большими потенциалами приливной энергии. 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 Ране мощностью 240 МВт, расположенная в эстуарии реки Ла Ране, впадающей в залив Сен Мало (Бретань, Франция), и небольшая, но принципиально важная опытная станция мощностью 400 кВт в Кислой губе на



побережье Баренцева моря в России. Поведение приливов может быть предсказано достаточно точно, с погрешностью менее 4%. Таким образом, приливная энергия оказывается весьма надежной формой возобновляемой энергии.

Анализом поведения приливов занимались многие известные математики и физики прошлого, включая Ньютона, Эри, Лапласа, Джоржа Дарвина, Кельвина. Однако надо иметь в виду, что современный анализ и предсказание приливов, основанные на математических методах гармонического анализа, базируются на основополагающих работах лорда Кельвина, выполненных в Глазго. Полное физическое понимание всех деталей динамики приливов все еще не достигнуто в связи со сложной топологией океанских бассейнов.

Жидкость в океанах удерживается на поверхности вращающейся Земли силами гравитации. Гравитационное же взаимодействие Земли с Луной и Солнцем возмущает эти силы, образуя приливы. Приливная энергия, снятая с турбин ПЭС, через которые протекает вода в процессе приливов, отбирает, таким образом, часть кинетической энергии вращающейся Земли. Если задействовать во всем мире все сколько-нибудь значительные места с достаточно высокими приливами, то согласно расчетам это приведет к сокращению периода вращения Земли на одни сутки за 2000 лет: это не так уж страшно для окружающей среды.

Известно, что приливная волна движется со скоростью

$$c = (gh)^{1/2}, \quad (1.6)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $h$  – глубина залива (моря), м.

Резонанс для приливной волны, надвигающейся со стороны открытого моря, наступает при условиях, когда

$$L = j\lambda / 4 \quad (1.7)$$

где  $j$  – нечетное целое;  $L$  – протяженность залива в сторону материка, м;  $\lambda$  – длина волны вынужденных колебаний в открытом море, м.

Соответствующая резонансная частота  $f_r$ , Гц, и период  $T_r$ , с, связаны между собой следующим образом:

$$f_r = 1/T_r = c/\lambda \quad (1.8)$$

Отсюда

$$T_r = \lambda/c = 4L/j(gh)^{1/2} \quad (1.9)$$

Резонанс возникает, когда период собственных колебаний соответствующего бассейна оказывается равным (кратным) периоду вынужденных колебаний прилива в открытом море  $T_f$ , в этом случае

$$T_f = \frac{4L}{(gh)^{1/2}}; \quad \frac{L}{h^{1/2}} = \frac{j}{4}(g)^{1/2}T_f \quad (1.10)$$

Полусуточный период прилива равен 12 ч 25 мин (45000 с), таким образом, для случая  $j=1$  (основная гармоника) резонанс наступает, когда

$$L/h^{1/2} = (45\,000\text{ с}) \cdot (9,8\text{ м/с}^2)^{1/2}/4 = 36\,000\text{ м}^{1/2} \quad (1.11)$$

В этом примере видно близкое совпадение собственной частоты эстуария с характерной частотой прилива, в результате чего в указанном эстуарии достигаются значительные амплитуды приливного движения, высота прилива здесь доходит до 10 – 14 м.

На практике эстуарии и заливы, конечно, не имеют таких однозначно определенных размеров, какие использованы в примере. Поэтому анализ резонансных условий сильно усложняется. Стало необходимым проводить моделирование природных условий в лабораторных волновых бассейнах с использованием соответствующей техники масштабирования и путем теоретического анализа. Это очень важно в связи с тем, что одним из основных вопросов при проектировании приливных энергоузлов является выяснение того, как дамба и плотина будут влиять на резонансные условия в бассейне. Некоторые расчеты, выполненные для эстуария р. Северн, показали возможность уменьшения и увеличения высоты приливов в зависимости от размещения ПЭС. Строительство ПЭС слишком дорого, чтобы позволить разработчикам ошибаться.

## 2. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

### 2.1. Лабораторная работа № 1 «Анализ ветроэнергетического потенциала»

*Цель работы* Изучение методики определения ветроэнергетического потенциала местности. Получение навыков расчета энергетических параметров ветра.

В большинстве прикладных задач ветроэнергетики гораздо важнее знать не суммарное количество энергии, которое может выработать ветроустановка, например, за год, а ту мощность, которую она может обеспечивать постоянно. При сильном ветре, от 10 до 12 м/с, ветроустановки

вырабатывают достаточно электроэнергии, которую иногда даже приходится сбрасывать в систему или запасать. Трудности возникают в периоды длительного затишья или слабого ветра. Поэтому для ветроэнергетики является законом считать районы со средней скоростью ветра менее 5 м/с малопригодными для размещения ветроустановок, а со скоростью 8 м/с – очень хорошими. Но независимо от этого во всех случаях требуется тщательный выбор параметров ветроустановок применительно к местным метеоусловиям.

## 1. Описание методики измерений и расчетов

Для проведения анализа ветроэнергетического потенциала требуется предварительно проводить в течение года ежедневные 5-ти кратные измерения скорости ветра с равными промежутками времени: в 9 ч, 12 ч, 15 ч, 18 ч и в 21ч.

В данной лабораторной работе используется база данных метеоизмерений, полученная для системы оптимизации теплоснабжения главного корпуса УлГТУ. Измерения проводились ежедневно в течение одного года с интервалом 3 часа.

Порядок обработки результатов измерений следующий [6].

1. Результаты измерений скорости ветра  $u_1$ , м/с, объединяются в группы с интервалом  $\Delta u$ . Общее число измерений  $N = 2912$ .

2. Поскольку измерения скорости проводились на высоте  $h_1 = 2$  м, а для оценки энергетического потенциала нужна скорость ветра  $u$ , м/с, на высоте предполагаемой установки ветротурбин  $h$ , определение скорости ветра на высоте  $h$  выполняется с помощью известной аппроксимационной зависимости

$$u = u_1 (h / h_1)^{1/5} \quad (2.1)$$

где  $h$  принимается равной 100 м.

3. Определяется величина вероятностного распределения скорости ветра

$$\Phi_u = N_{ui} / N, \quad (2.2)$$

где  $N_{ui}$  – число измерений в  $i$ -ом скоростном интервале.

Строится зависимость  $\Phi_u = f(u)$ . Произведение  $\Phi_u \Delta u$  может быть интерпретировано как часть времени года, в течение которого скорость ветра имеет значения, заключенные в интервале от  $u$  до  $u + \Delta u$ .

4. Среднее значение скорости ветра  $u_c$ , м/с, определяется соотношением

$$u_c = \sum u_i / N, \quad (2.3)$$

где  $\sum u_i$  – сумма всех измеренных значений скорости.

5. Определяется вероятность  $\Phi_{u>u'}$  появления ветра со скоростью  $u$ , большей некоторой заданной скорости  $u'$ , для чего складываются вероятности всех скоростных интервалов, в которых  $u > u'$ .

Вероятность  $\Phi_{u>u'}$  может быть интерпретирована как часть времени года, в течение которого ветры дуют со скоростью, большей  $u'$ .

Строится зависимость  $\Phi_{u>u'} = f(u)$ .

6. Мощность ветрового потока единичного сечения  $P_u$ , Вт определяется

$$P_u = \rho u^3 / 2, \quad (2.4)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, принимается равной  $1,3 \text{ кг/м}^3$ .

Произведение  $P \Phi_u$  представляет собой функцию распределения энергии ветра.

Строится зависимость  $P \Phi_u = f(u)$ .

7. Строится зависимость  $P_u = f(\Phi_{u>u'})$ , позволяющая определить вероятность ожидания ветрового потока заданной мощности.

Все данные измерений и расчетов заносятся в таблицу и обрабатываются в EXCEL. В таблице 2.1 частично представлены результаты измерений и расчетов.

После выполнения обработки измерений и расчетов необходимо провести анализ полученных результатов.

Таблица 2.1

Статистический анализ результатов измерений скорости ветра  
г. Ульяновск

$u$ , м/с	$N$	$\Phi_u$	$\Phi_{u>u'}$	$P_u$ , кВт/м <sup>2</sup>	$P_u \Phi_u$
34,9	1				
32,8	1				
28,4	2				
26,2	15				
24,05	9				
21,9	33				
19,7	61				
17,5	97				
15,3	145				
13,1	212				
10,9	348				
8,7	407				
6,5	548				
4,3	604				
2,1	66				
0	363				
Всего	2912				

## 2. Анализ полученных результатов

1. Пользуясь построенной зависимостью  $\Phi_u = f(u)$ , необходимо сравнить среднее значение скорости ветра с наиболее вероятным значением скорости ветра в данной местности, а также с расчетной скоростью, принимаемой для проектирования ВЭУ ( $u = 10 - 12$  м/с).

2. Пользуясь построенной зависимостью  $P = f(\Phi_u)$ , определить значение скорости при которой функция распределения энергии ветра имеет максимум и сравнить его с наиболее вероятным значением скорости ветра в данной местности.

3. Пользуясь построенной зависимостью  $P_u = f(\Phi_{u>u'})$ , определить вероятность ожидания ветрового потока мощностью 0,5; 1 и 2 кВт.

4. По результатам проведенного анализа сделать выводы и составить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуется энергетическая ценность ветра?
2. Как определяется средняя скорость ветра в данной местности?
3. Как определяется энергия ветрового потока и как она соотносится со скоростью ветра?
4. Как определяется вероятность ветра с определенной скоростью в данной местности?
5. Как определяется мощность ветрового потока единичного сечения?
6. Что такое ветроэнергетический кадастр и для чего он составляется?
7. Как определяется мощность ветроэнергетической установки?
8. Как определяется вероятность ожидания ветрового потока определенной мощности?

### 2.2. Лабораторная работа № 2 «Сравнение распределения Рэля с результатами метеорологических наблюдений»

*Цель работы* Проведение сравнительного анализа результатов метеорологических измерений с теоретической зависимостью распределения Рэля.

Проведенный в лабораторной работе № 1 анализ характеристик ветра состоял в математической обработке массива экспериментальных данных с использованием методов математической статистики. Этот анализ существенно бы упростился, если бы для функции распределения вероятности скорости ветра имелось аналитическое выражение, соответствующее экспериментальным данным. В этом случае, во-первых, резко бы сократилось

необходимое количество измерений скорости ветра, во-вторых, появилась бы возможность аналитического расчета характеристик ветроустановок.

## 1. Описание методики проведения анализа

Для проведения анализа функции распределения скорости ветра, основанной на экспериментальных метеорологических данных, требуется сравнить экспериментальные зависимости, полученные в лабораторной работе № 1 с теоретическим распределением Рэля.

Порядок анализа следующий [6].

1. Для распределения Рэля справедливо равенство

$$\Phi_{u>u'} = \exp[-\pi/4 \cdot (u'/\bar{u})^2], \quad (2.5)$$

где  $\Phi_{u>u'}$  – вероятность появления ветра со скоростью  $u$ , м/с, большей некоторой заданной скорости  $u'$ , м/с;  $\bar{u}$  – среднее значение скорости, м/с.

Следует, задаваясь значениями скорости  $u'$ , м/с, из диапазона реальных скоростей ветра и используя среднее значение скорости  $\bar{u}$ , м/с, полученное в лабораторной работе № 1, построить теоретическую зависимость по формуле (2.5). Результаты занести в таблицу 2.2.

Относительная погрешность определяется как

$$\delta = (\Phi_{u>u'}_{\text{теор}} - \Phi_{u>u'}_{\text{эксп}}) / \Phi_{u>u'}_{\text{теор}} \cdot 100\%. \quad (2.6)$$

2. Для распределения Рэля справедливо равенство

$$(\bar{u}^3)^{1/3} = 1,24\bar{u}. \quad (2.7)$$

Следует проверить его, подставив среднее значение скорости ветра в формулу (2.7), полученное в предыдущей лабораторной работе.

3. Для распределения Рэля справедливо утверждение, что вероятность скорости  $\Phi_u$  максимальна при значении скорости

$$u = (2/\pi)^{1/2} \cdot \bar{u} = 0,8\bar{u}. \quad (2.8)$$

Следует определить скорость, при которой вероятность максимальна, подставив среднее значение скорости ветра, полученное в предыдущей лабораторной работе в формулу (2.8). Погрешность определяется аналогично (2.6).

4. Для распределения Рэля справедливо утверждение, что функция  $\Phi_u \cdot u^3$  максимальна при значении скорости

$$u = 2 (2/\pi)^{1/2} \cdot \bar{u} = 1,6\bar{u}. \quad (2.9)$$

Следует построить зависимость  $\Phi_u \cdot u^3 = f(u)$ , используя значения скорости ветра в диапазоне реальных значений и проверить это утверждение,

подставив среднее значение скорости ветра в формулу (2.9), полученное в предыдущей лабораторной работе. Погрешность определяется аналогично (2.6).

Результаты расчетов занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

### Протокол измерений и расчетов

$u$ , м/с	$\Phi_{u>u'}$ (эксп.)	$\Phi_{u>u'}$ (теор.)	$\delta$ , % для $\Phi_{u>u'}$	$\delta$ , % для $\Phi_u$	$\delta$ , % для $\Phi_u \cdot u^3$

### 2. Анализ полученных результатов

1. Пользуясь построенной в предыдущей лабораторной работе зависимостью  $\Phi_{u>u'} = f(u)$ , необходимо сравнить ее с теоретической зависимостью  $\Phi_{u>u'}$ , рассчитанной по формуле (2.5).

2. Пользуясь построенной зависимостью  $\Phi_u = f(u)$ , экспериментально полученное значение наиболее вероятной скорости, при которой функция распределения скорости ветра имеет максимум, сравнить с теоретическим, рассчитанным по формуле (2.8).

3. По построенной зависимости  $\Phi_u \cdot u^3 = f(u)$  определить максимальное значение функции и сравнить его с теоретически определенным значением скорости по формуле (2.9).

4. По результатам проведенного анализа сделать выводы и составить отчет.

### Контрольные вопросы

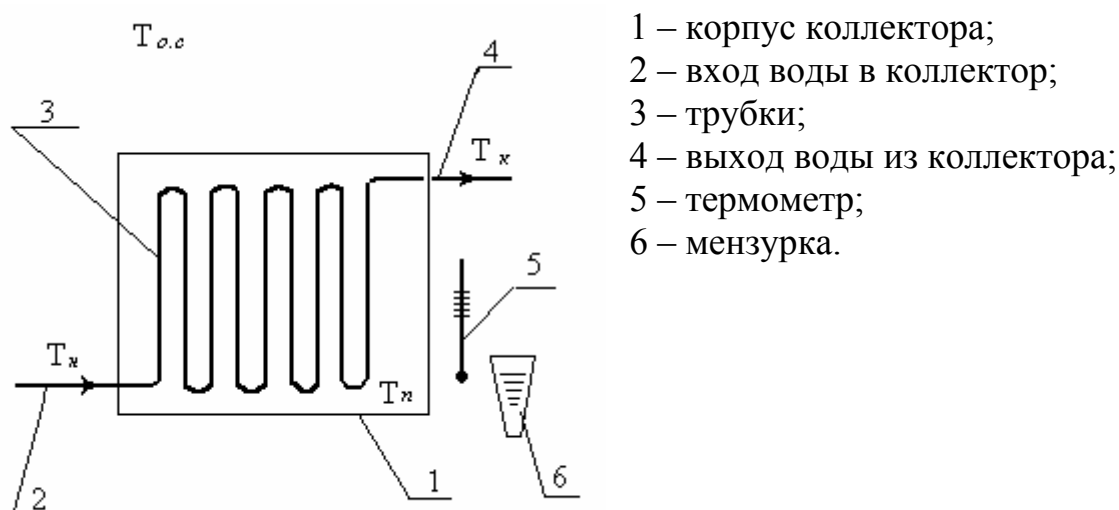
- Какие функции распределения случайной величины вы знаете?
- Какая функция распределения наиболее точно описывает распределение скорости ветра?
- Как определяется вероятностное распределение скорости ветрового потока?
- Какие кадастровые характеристики вы знаете?
- Как можно определить разброс скоростей около среднего значения?
- Что показывают закономерности Поморцева и Гуллена?
- Как определяется длительность простоя ветроэнергетической установки?
- Какие линии называют изоплетами?

## 2.3. Лабораторная работа № 3 «Измерение параметров воды, нагреваемой в коллекторе, и определение облученности коллектора»

*Цель работы* Проведение измерений параметров воды в коллекторе и определение облученности плоскости коллектора

Солнечный коллектор – устройство, которое служит для нагрева воды потоком солнечной энергии. Солнечный тепловой коллектор включает прозрачную панель, теплопоглощающую панель, набор стеклянных трубок для жидкостного теплоносителя, теплоизоляционный слой. Солнечные коллекторы нашли широкое применение в теплоснабжении и ГВС во многих странах.

### 3. Схема установки



### 2. Описание методики измерений и расчетов

Для определения облученности поверхности солнечного коллектора нужно произвести измерения расхода и параметров воды в коллекторе, температуру воздуха и поверхности коллектора и составить уравнение теплового баланса.

Порядок проведения измерений и обработки результатов измерений

1. Отрегулировать расход воды  $L$ , м<sup>3</sup>/с. Измерить расход с помощью мензурки. Результаты измерений заносятся в таблицу 2.3.

2. Включить лампу. Подождать, пока температура поверхности коллектора  $T_n$ , К и воды  $T_k$ , К, стабилизируется.

3. Определить температуру окружающей среды  $T_{o.c.}$ , К, поверхности коллектора и воды (на входе в коллектор и на выходе из коллектора).

4. Уравнение теплового баланса коллектора записать в виде



$$k_f A (\tau_{нов} \alpha I - (T_n - T_{o.c.}) / R_n) = L \rho c (T_k - T_n), \quad (2.10)$$

где  $k_f$  – коэффициент перехода солнечной энергии, принимается равным 0,85;  $A$  – площадь освещаемой поверхности коллектора,  $\text{м}^2$ ;  $\tau_{нов}$  – коэффициент пропускания солнечного излучения прозрачным покрытием, принимается равным 0,9 для одинарного стеклянного покрытия, 0,8 – для двойного стеклянного покрытия, 0,81 – для селективного стекла;  $\alpha$  – коэффициент поглощения приемной поверхностью коллектора солнечного излучения, принимается равным 0,9 для одинарного стеклянного покрытия, 0,9 – для двойного стеклянного покрытия, 0,81 – для селективного стекла;  $I$  – облученность поверхности солнечного коллектора,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $T_n$  – температура приемной поверхности коллектора,  $\text{К}$ ;  $T_{o.c.}$  – температура окружающего воздуха,  $\text{К}$ ;  $R_n$  – термическое сопротивление приемной поверхности коллектора, для типичных коллекторов можно принять равным  $0,13 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  для одинарного стекла,  $0,22 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  – для двухслойного стекла,  $0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$  – для селективного стекла;  $T_k$  – конечная температура воды,  $\text{К}$ ;  $T_n$  – начальная температура воды,  $\text{К}$ ;  $\rho$  – плотность воды, равная  $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ ;  $c$  – теплоемкость воды, равная  $4200 \text{ Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$ ;  $L$  – объемный расход воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

5. Выразить облученность  $I$ ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ , из уравнения теплового баланса коллектора. Определить ее значение. Результат расчетов заносится в таблицу 1.

6. Изменить расход воды  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , и повторить пункты 1 – 5. Построить зависимость  $T_k = f(L)$ .

Результаты измерений заносятся в таблицу 2.3.

Таблица 2.3.

### Протокол измерений и расчетов

$T_{нов}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{o.c.}, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_k, \text{ }^\circ\text{C}$	$T_n, \text{ }^\circ\text{C}$	$L, \text{ м}^3/\text{с}$	$I, \text{ Вт}/\text{м}^2$

### 3. Анализ полученных результатов

1. Пользуясь построенной зависимостью  $T_k = f(L)$  определить оптимальное значение расхода воды для нужд отопления и ГВС.

2. По результатам проведенного анализа сделать выводы и составить отчет.

### Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуется работа солнечного коллектора?
2. Как определяется расход воды в солнечном коллекторе?

3. Как определяется температура воды на выходе из солнечного коллектора?
4. Как определяется облученность поверхности солнечного коллектора?
5. Как определяется необходимая проектная тепловая мощность солнечного коллектора?
6. Чем обусловлены характеристики солнечного коллектора?
7. Как влияет расход воды на температуру воды на выходе из солнечного коллектора?
8. Как определяется необходимая площадь солнечного коллектора?

#### 2.4. Лабораторная работа № 4 «Исследование возможности получения энергии ПЭС в заливах и эстуариях»

*Цель работы* Ознакомление с методикой определения возможного резонанса в заливе и способом определения максимально возможной снимаемой мощности приливной электростанции за один цикл прилив-отлив.

Анализ резонансных условий достаточно сложен из-за постоянно меняющейся топологии дна и береговой линии заливов и эстуариев. Поэтому здесь производится всего лишь прикидочный расчет. При подходящих условиях высота прилива может усиливаться до 10 м. Малопригодными для размещения ПЭС считаются заливы и эстуарии, высота прилива в которых не превышает 2 м. Но независимо от этого во всех случаях требуется тщательный анализ местных условий.

##### 1. Описание методики измерений и расчетов

1. По картам, выданным преподавателем каждому студенту, с помощью масштабной линейки определяются глубина залива  $h$ , м; длина протяженности залива вглубь материковой зоны  $L$ , м; площадь возможного приливного бассейна  $S$ , м<sup>2</sup>. Результаты измерений заносятся в таблицу.

2. Определяется скорость движения приливной волны  $c$ , м/с

$$c = (gh)^{1/2},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>.

3. Из условия возникновения резонанса (1.7 – 1.11) в заливе определяется, есть ли соответствующие условия в данном заливе

$$j = 4L / (c \cdot 45000) \quad (2.11)$$

где  $j$  – нечетное целое.

Значение  $j$  занести в таблицу 2.4.

4. Определяется максимально возможная мощность  $P$ , в одном цикле ПЭС (прилив-отлив), Вт

$$P = \rho g S \cdot R^2, \quad (2.12)$$

где  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  – перепад уровней, принимаемый при нечетном, целом  $j - 6$  м, при нечетном, с дробной частью – 3 м.

Результат занести в таблицу 2.4.

Таблица 2.4

#### Протокол измерений и результатов

Месторасположение залива	$L$ , м	$h$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>	$c$ , м/с	$j$	$R$ , м	$P$ , Вт

#### 2. Анализ полученных результатов

1. Пользуясь полученными результатами проведите анализ возможности строительства ПЭС в рассматриваемом заливе.

2. По результатам проведенного анализа сделать выводы и составить отчет.

#### Контрольные вопросы

1. Какие условия способствуют усилению прилива в заливах и эстуариях рек?
2. Как определяется скорость приливной волны?
3. Как определяется максимально получаемая мощность в одном цикле ПЭС?
4. Чему равен период вынужденных колебаний прилива в море?
5. Чему равен период собственных колебаний прилива в заливе?
6. Чему способствует применение насосного режима агрегатов на ПЭС?
7. Чему способствует применение многобассейной схемы ПЭС?
8. Какие турбины применяют на ПЭС?

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное автономное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические указания для обучающихся по организации и проведению самостоятельной работы по дисциплине «Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Невинномысск 2024

Методические указания предназначены для организации и проведению самостоятельной работы студента по дисциплине «Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии» для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника и соответствуют требованиям ФГОС ВО направления подготовки бакалавров.

Составитель: доцент кафедры ИСЭА А.И. Колдаев

## Содержание

1 Подготовка к лекциям.....	4
2 Подготовка к лабораторным занятиям.....	5
3 Самостоятельное изучение темы. Конспект.....	6

## 1 Подготовка к лекциям

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Конспект лекций лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров

или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось присить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

## **2 Подготовка к лабораторным занятиям**

Для того чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по рассмотренному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться студентом на лабораторных занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с



выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

### **3 Самостоятельное изучение темы. Конспект**

Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – неперемное правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения

(монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В текстуальном конспекте сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из другими источников.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению тематического конспекта предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.