

Б.В. Лукутин

Методические указания к выполнению индивидуальных заданий практикума по дисциплине «Энергетический потенциал природных возобновляемых энергоресурсов и эффективность его преобразования в электроэнергию»

Для магистрантов Инженерной школы энергетики,
Отделения электроэнергетики и электротехники,
направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

УДК 621.311.21(076.5)
ББК 31.57я73
Л64

Лукутин Б.В.

Л64: Методические указания к выполнению индивидуальных заданий практикума по дисциплине «Энергетический потенциал природных возобновляемых энергоресурсов и эффективность его преобразования в электроэнергию» Б.В. Лукутин; Томский политехнический университет. – Томск, 2020. – 22с.

В методических указаниях рассмотрены вопросы оценки энергетического потенциала природных возобновляемых энергоресурсов: ветра, солнечного излучения и потоков воды и эффективности их преобразования в электроэнергию.

Пособие предназначено для студентов дневного обучения по направлению 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» по профилям магистерской подготовки «Возобновляемые источники энергии» и «Оптимизация развивающихся систем электроснабжения».

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2020
© Лукутин Б.В., 2020

Индивидуальное задание 1

Определение энергетических характеристик фотоэлектрического преобразования

Цель занятия: научиться определять энергетические характеристики инсоляции и эффективность фотоэлектрического энергопреобразования. Выполнить индивидуальное задание.

Пояснения к работе.

Исходной информацией по солнечному излучению являются метеорологические базы данных и, созданное на их основе, программное обеспечение. Для выполнения данного задания рекомендуется использовать программные комплексы helios-house.ru/on-line-kalkulytor.html и **CunCalc**, позволяющие определить выработку электроэнергии фотоэлектрическими модулями и движение Солнца по небосклону с выделением времени восхода и захода Солнца в любое время года и в любом месте Земли.

Задание: в произвольно выбранном месте оценить энергетический потенциал солнечного излучения, поступающего на оптимально ориентированную приёмную поверхность, для каждого месяца года и его изменения в течение характерных суток каждого месяца, а так же выработку электроэнергии фотоэлектрическими модулями за указанные временные интервалы.

Последовательность выполнения задания.

1. Используя рекомендованное программное обеспечение, для выбранного места (например, г. Махачкала - координаты города: $42^{\circ} 58'$ с. ш. $47^{\circ} 28'$ в. д.), определяется оптимальная ориентация фотоэлектрических модулей и среднемесячная выработка электроэнергии выбранным количеством и типом модулей.

Вид экрана монитора с месторасположением фотоэлектрической установки на карте показан на рис.1. Здесь же указан тип выбранных фотоэлектрических преобразователей NH-MONO-60W и количество – 10 штук. Путём сравнения годовой выработки электроэнергии, определено оптимальное расположение фотоэлектрических модулей в пространстве – максимум энергии соответствует зенитному углу 43 град. и азимутальному – 180 град.

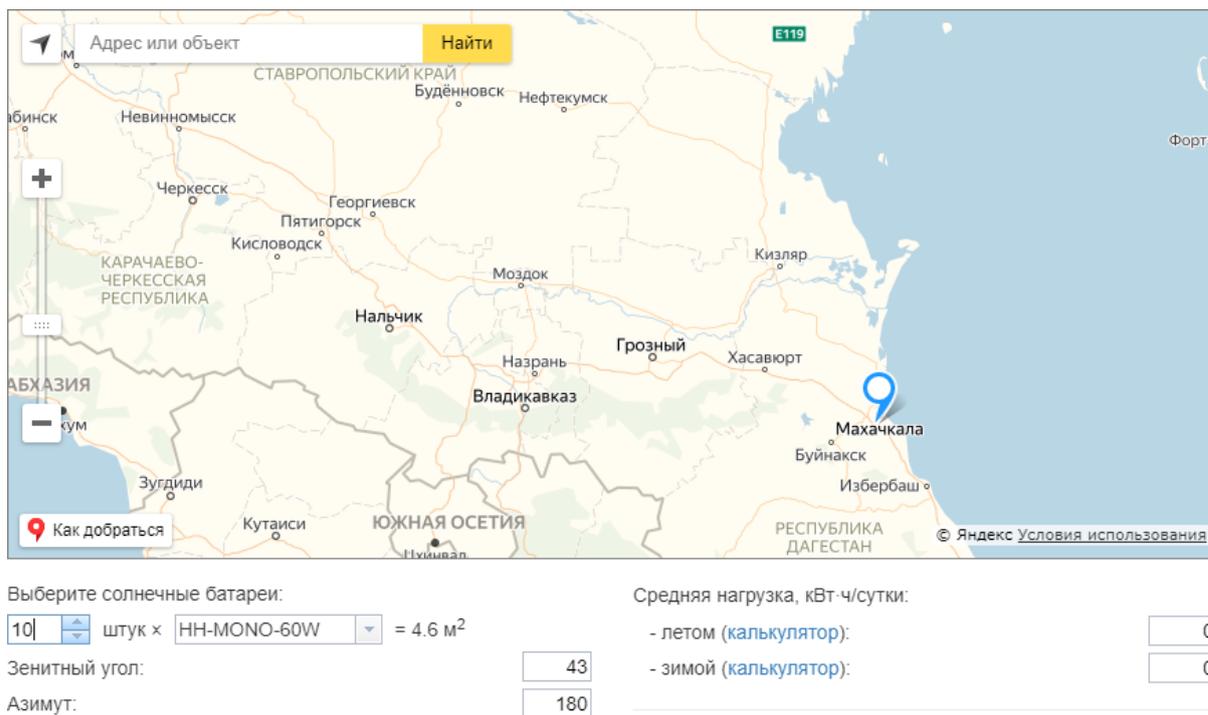


Рисунок 1.– Выбор местоположения фотоэлектрических модулей

Данные по среднемесячной выработке электроэнергии из онлайн калькулятора <http://www.helios-house.ru> представлены в таблице 1.

Таблица 1. Среднемесячная выработка электроэнергии, кВт·ч/сутки

Месяц	W _c , кВт·ч/сутки
январь	2,1
февраль	2,54
март	3,08
апрель	3,71
май	4,16
июнь	4,27
июль	4,26
август	4,02
сентябрь	3,58
октябрь	2,84
ноябрь	1,97
декабрь	1,7

Графическая зависимость среднемесячной выработки электроэнергии представлена на рис.2. Следует отметить, что выработка электроэнергии определяется с учётом реальных условий облачности.

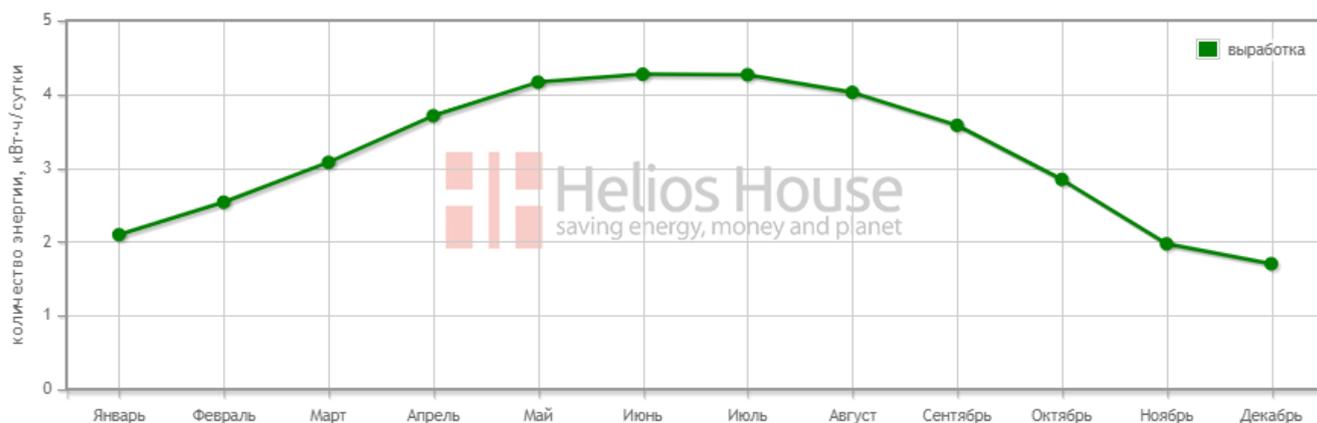


Рисунок 2. Суммарная выработка электроэнергии, кВт*ч/сутки

2. По среднесуточной выработке электроэнергии определяется месячная и годовая выработка электроэнергии.

3. По параметрам фотоэлектрических модулей: установленная мощность и площадь определяется удельная выработка электроэнергии с 1 м² площади фотоэлектрического модуля за сутки, месяц, год:

$W_{уд} = W/S_{фм}$, где W – суммарная выработка электроэнергии батареями фотоэлектрических модулей, $S_{фм}$ - их общая площадь.

4. По известным: установленной мощности фотоэлектрического модуля и его фактической вырабатываемой мощности определяется КИУМ –коэффициент использования установленной мощности по месяцам.

5. Для определения суточного хода выработки электроэнергии воспользуемся программой SunCalc, которая показывает движение солнца и фазы солнечного света в течение данного дня в заданном месте. Для расчета задаются характерные сутки - 15 число каждого месяца и для них отслеживается продолжительность светового дня (<http://suncalc.net>).

В таблице 2 представлены: время заката, зенита и восхода Солнца для характерных суток каждого месяца в г. Махачкала.

Таблица 2. Параметры светового дня в зависимости от месяца

месяц	время восхода	время зенита	время заката	$\Delta t, \text{ч}$
Январь	11:20	16:00	20:40	9,33
Февраль	10:50	16:05	21:21	10,52
Март	10:04	16:00	21:56	11,87
Апрель	9:10	15:51	22:32	13,37
Май	8:29	15:47	23:06	14,62
Июнь	8:11	15:51	23:31	15,33
Июль	8:25	15:57	23:29	15,07
Август	8:56	15:56	22:55	13,98
Сентябрь	9:30	15:47	22:03	12,55
Октябрь	10:04	15:37	21:10	11,1
Ноябрь	10:43	15:36	20:29	9,77
Декабрь	11:15	15:46	20:17	9,03

Учитывая, что среднесуточная энергия фотоэлектрического модуля генерируется только в течение светового дня, для получения суточного хода генерации, производится перерасчёт суточной выработки электроэнергии фотопреобразователя на световой день. Для неподвижных фотопреобразователей допускается применение синусоидального закона временного изменения инсоляции, поступающей на фотоэлектрический модуль и, соответственно, вырабатываемой им электроэнергии. Синусоидальная аппроксимация реализуется, принимая время восхода за 0 точку отсчёта синусоиды, а время заката – за конец полупериода 180° .

По формуле (1) ведётся расчёт средней мощности, вырабатываемой в течение солнечных суток каждого месяца для фотоэлектрического модуля площадью 1 м^2 . Пример расчета приведен для месяца январь:

$$P_{cp} = \frac{W_c}{S \cdot \Delta t} = \frac{2,1}{4,6 \cdot 9,33} = 48,91 \text{ Вт} \quad (1)$$

Учитывая известное соотношение между средним P_{cp} и максимальным P_{max} значением синусоиды на половине её периода, проводится расчёт максимальной мощности выдаваемой панелью площадью 1 м^2 в течение светового дня. Пример расчета приведен для января:

$$P_{max} = \frac{\pi}{2} \cdot P_{cp} = \frac{3,14}{2} \cdot 48,91 = 76,79 \text{ Вт} \quad (2)$$

В таблице 3 приведены результаты расчетов P_{max} и P_{cp} для остальных месяцев.

Таблица 3 – результаты расчетов максимальной и средней мощности

месяц	P_{cp} , Вт	P_{max} , Вт
Январь	48,91	76,79
Февраль	52,5	82,43
Март	56,42	88,59
Апрель	60,34	94,73
Май	61,87	97,14
Июнь	60,54	95,05
Июль	61,47	96,5
Август	62,5	98,12
Сентябрь	62,01	97,36
Октябрь	55,62	87,32
Ноябрь	43,85	68,84

На рисунках 3-6 представлены графики выработки мощности солнечного электрического модуля площадью 1 м² в течение суток в г. Махачкала, сгруппированные по сезонам: зима, весна, лето осень.

Данные графические зависимости отражают и уровень инсоляции, поступающей на приёмную поверхность фотоэлектрического модуля с учётом коэффициента полезного действия фотоэлектрического преобразования.

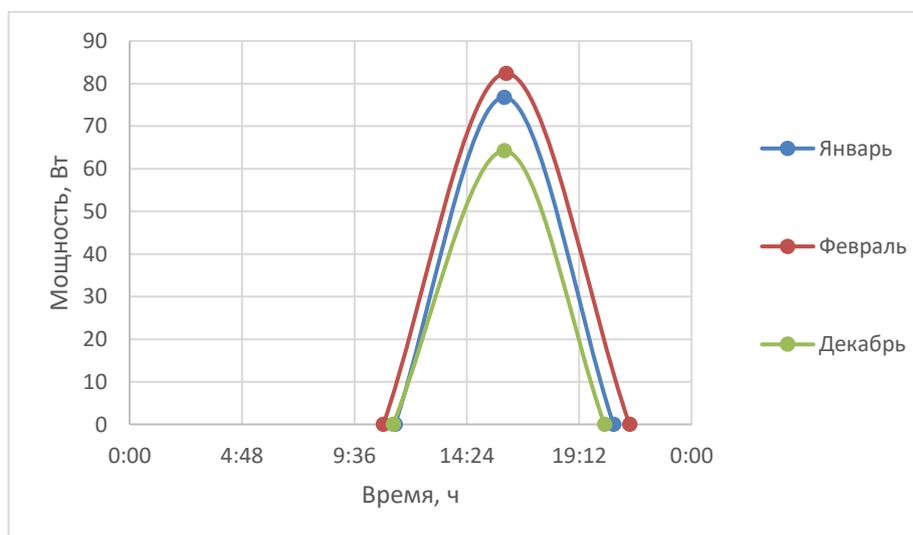


Рисунок 3. Зависимость мощности от времени для зимы

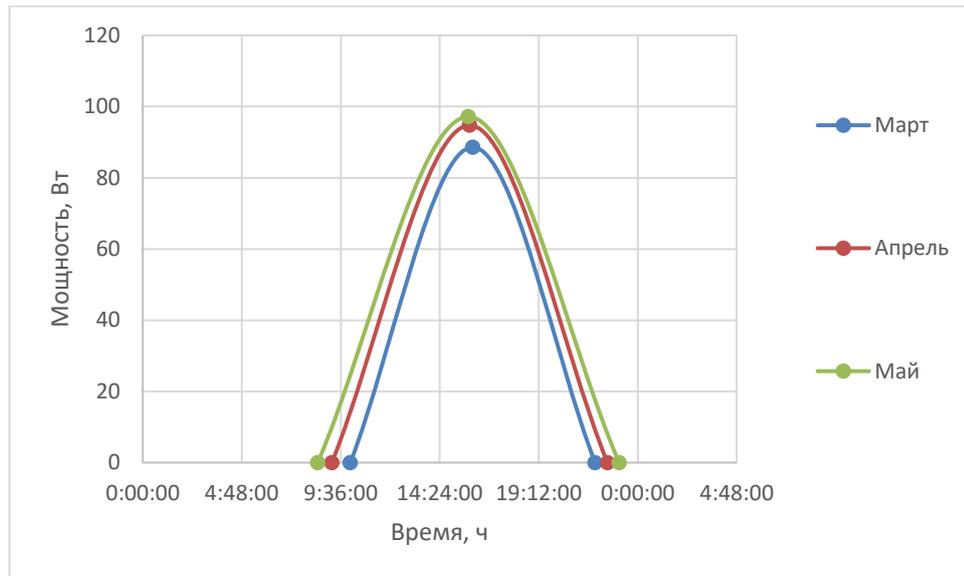


Рисунок 4. Зависимость мощности от времени для весны

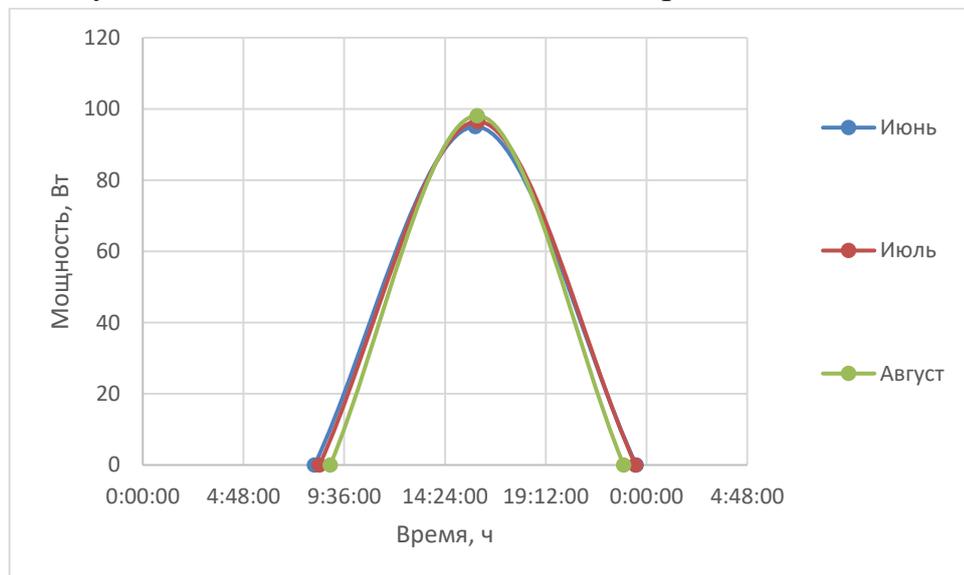


Рисунок 5. Зависимость мощности от времени для лета

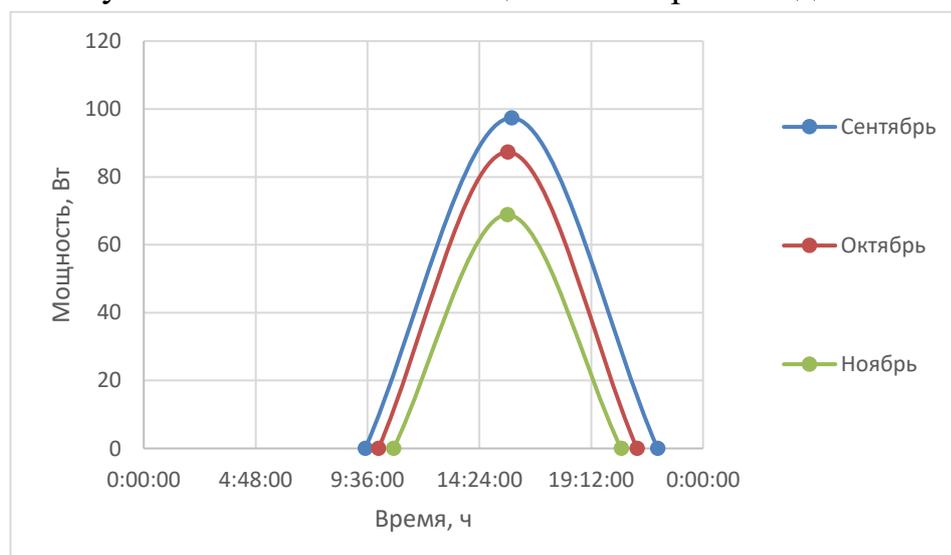


Рисунок 6. Зависимость мощности от времени для осени

6. Для оценки собственно инсоляции по известной электроэнергии фотоэлектрического модуля можно воспользоваться его К.П.Д. Коэффициент полезного действия монокристаллических модулей равен 14 – 18% и мало зависит от изменения инсоляции в пределах рабочего диапазона. Тогда, мощность инсоляции, поступающей на приёмную поверхность фотоэлектрического модуля, определится как отношение его электрической мощности к К.П.Д. равном 14-18% (для выбранных монокристаллических модулей).

Установленная мощность фотоэлектрического модуля определяется при инсоляции 1000 Вт/м^2 направленной нормально к его поверхности при температуре 25°C , спектральный состав инсоляции AM1.5.

Выводы.

В ходе выполнения работы изучены энергетические характеристики инсоляции и фотоэлектрического преобразования.

Освоены прикладные программы для расчётов солнечных энергоустановок.

Выполнено индивидуальное задание: оценен солнечный потенциал выбранного населённого пункта и определены энергетические характеристики фотоэлектрического преобразования для выбранного типа фотоэлектрических модулей.

С помощью онлайн – калькулятора Helios House определено оптимальное расположение фотоэлектрических модулей в пространстве.

Информационные источники

1. Электронный ресурс <http://www.helios-house.ru>.

2. Электронный ресурс <http://www.SunCalc>.

3. Электронное учебное пособие «Возобновляемые источники энергии».

Автор проф. Б.В. Лукутин. – Томск <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2010/01>

Индивидуальное задание 2

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРА И ЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Цель занятия: научиться определять энергетические характеристики ветра и эффективность его преобразования в электроэнергию.

Пояснения к работе.

Исходной информацией к работе по характеристикам ветра в том или ином районе являются метеорологические базы данных, например pover.larc.nasa.gov/data-access-vilwer, pogodaiclimat.ru/weather.php?id=33342, <https://rp5.ru> и другие.

Наиболее удобным программным комплексом для выполнения задания является pogodaiclimat.ru/weather.php?id=33342, позволяющий получить архив погоды за указанный срок в указанном районе или населённом пункте. Интервал дискретизации данных о погоде в указанном комплексе – 3 часа, указывается средняя скорость ветра за 10 минут измерений.

Задание: в произвольно выбранном месте оценить энергетический потенциал ветра за один месяц года; систематизировать исходные данные и получить распределение скорости ветра по градациям за выбранный месяц; найти среднюю скорость ветра за месяц и определить месячную выработку электроэнергии и определить максимальный коэффициент использования энергии ветра для выбранного ветроэлектрического генератора.

Последовательность выполнения задания.

Используя рекомендованное программное обеспечение, для выбранного места и месяца, производится выборка значений скорости ветра, насчитывающая определённое количество измерений N , например, через 3 часа в течение месяца (в сутки 8, в месяце 240-248 измерений).

Из общего количества измерений подсчитывают количество измерений скорости ветра различных градаций: $V_1= 1\text{м/с}$, $V_2= 2\text{м/с}$,..., $V_k= V_{\text{max}}$, где V_{max} - максимальная зафиксированная градация скорости ветра. Далее определяется вероятность каждой градации скорости ветра в течение месяца:

$$F_{vi} = n_i / N * 100\%, \quad (1) \text{ где}$$

F_{vi} – вероятность градации скорости ветра V_i в течение рассматриваемого промежутка времени (месяца);

n_i – зафиксированное количество измерений i -ой градации ветра.
Градации изменяются от $V_1 = 1$ м/с до $V_k = k$ м/с.

По результатам расчётов строится графическая зависимость $F_{vi} = f(V_i)$. По зависимости (1) определяется число часов в месяце, в течении которого ветер имеет скорость рассматриваемой градации, что позволяет определить удельную ветровую энергию за месяц. Месячная удельная энергия воздушного потока определяется по формуле

$$W_{\text{мес уд}} = 0,5\rho \sum_{V_i=1}^{V_{i\max}} (T_i V_i^3), \quad (2)$$

где: ρ – плотность воздуха равная 1,23 кг/м³ при нормальных условиях; V_i – скорость ветра градации (м/с) и T_i – вероятная продолжительность градации за месяц (час).

Полученную удельную месячную энергию воздушного потока сравниваем с энергией, полученной по средней скорости ветра.

$$W_{\text{мес уд}} = 0,5\rho \frac{1}{N} (\sum_{i=1}^N V_i^3), \quad (3)$$

где V_i – скорость ветра, зафиксированная для каждого измерения из N .

Для выбранного места – г. Оренбург данные о скорости ветра, полученные с помощью программного пакета pogodaiclimat.ru/weather.php?id=33342, представлены в таблице 1.

Для дальнейших расчётов необходимо распределить массив данных скорости ветра по градациям и определить количество измерений для каждой из них. Результат данной работы представлен в таблице 2 (количество измерений скорости ветра 0 м/с в таблице 2 суммировано с количеством зафиксированных измерений 1 м/с, что на точность расчётов не влияет).

Таблица 1. Скорости ветра за месяц, м/с

Дата	Время час							
	2	5	8	11	14	17	20	23
2.07.19	2	3	4	7	8	3	2	3
3.07.19	3	3	3	3	5	6	4	2
4.07.19	3	2	2	3	6	5	4	3
5.07.19	2	2	1	3	4	4	6	3
6.07.19	1	2	2	3	4	3	2	2
7.07.19	2	2	2	5	9	4	6	3

8.07.19	3	1	2	6	7	6	3	2
9.07.19	1	1	2	4	3	3	2	2
10.07.19	4	6	7	1	4	5	4	2

11.07.19	2	2	0	1	3	3	2	4
12.07.19	2	3	4	4	3	3	2	2
13.07.19	2	1	3	3	4	3	1	4
14.07.19	3	2	4	3	3	3	5	1
15.07.19	7	7	6	7	9	11	6	0
16.07.19	2	2	3	3	4	3	2	2
17.07.19	2	0	3	2	3	2	4	3
18.07.19	3	3	4	3	3	5	2	2
19.07.19	3	1	1	2	3	4	3	7
20.07.19	6	6	7	8	9	7	7	3
21.07.19	3	3	4	7	6	7	4	3
22.07.19	3	2	2	4	5	6	3	3
23.07.19	1	1	2	4	5	4	4	2
24.07.19	2	2	1	3	3	4	5	1
25.07.19	2	2	3	3	4	4	3	2
26.07.19	3	2	4	7	6	6	5	3
27.07.19	3	4	3	4	5	6	6	3
28.07.19	2	2	1	3	1	4	2	2
29.07.19	3	3	3	6	7	2	5	4
30.07.19	1	1	0	1	2	4	1	2
31.07.19	4	0	1	0	2	5	2	6

Таблица 2. Градации скорости ветра и количество их повторений за месяц

Градация, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Повторяе- мость градации	29	57	65	37	13	19	14	2	3	0	1

По данным таблицы 2 можно построить график, отражающий повторяемость различных скоростей ветра в данном регионе за месяц. График представлен на рис.1.

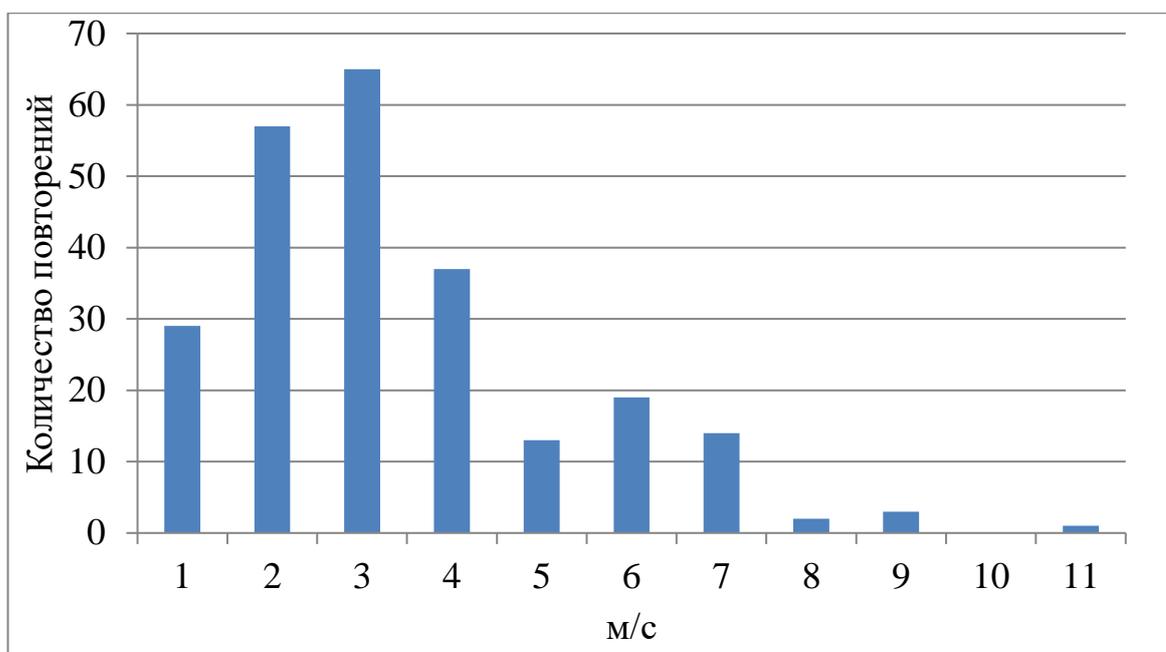


Рисунок 1. График повторяемости различных скоростей ветра за месяц

Таблица 3. Процентное соотношение градаций скорости ветра и их продолжительности

Градация, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Повторяемость градации, %	12.08	23.75	27.08	15.42	5.42	7.92	5.83	0.83	1.25	0	0.42
и длительность, час	87	171	194	111	39	57	42	6	9	0	3

Удельная месячная энергия ветра определяется по формуле:

$$W_{\text{мес уд}} = 0,5\rho \sum_{V_i=1}^{V_{i\text{max}}} (T_i V_i^3) = 37848 \text{ Втч},$$

где V_i – градации скорости ветра (м/с), T_i – их продолжительность (час).

Для исследования преобразования механической энергии ветра в электрическую необходимо определить электроэнергию, вырабатываемую конкретной ветроустановкой за месяц. Это можно сделать, исходя из мощностной характеристики ветроустановки и определённых выше градаций скорости ветра. Для определения удельных характеристик ветроэлектрического преобразования необходимо знание ометаемой площади ветроколеса.

В качестве примера, выберем трёхлопастную ветроэнергетическую установку с горизонтальной осью вращения типа WEW-1000. Учитывая, что диаметр ротора не превышает 2-х метров, высота мачты ветрогенератора не превышает высоту флюгера – 10 метров. Следовательно, данные с метеосайтов могут быть использованы в расчётах без их корректировки с учётом вертикального профиля скорости ветра.

Таблица 4. Характеристики ветроэнергетической установки WEW-1000

Номинальная мощность, Вт	1000
Номинальное напряжение, В	24/49
Номинальный ток, А	41/20
Минимальная скорость ветра, м/с	2.5
Рабочая скорость ветра, м/с	12
Предельная скорость ветра, м/с	35
Тип генератора	синхронный генератор на постоянных магнитах
Направление вращения	по часовой стрелке
Диаметр ротора, м	1,96
Количество лопастей	3
Материал лопастей	нейлон
Высота башни, м	7
Рекомендуемые аккумуляторы	2шт. по 12В200А*ч
Тип инвертора	однофазный синусоидальный

Мощностная характеристика, представленная производителем по экспериментальным данным, показана на рисунке 2.

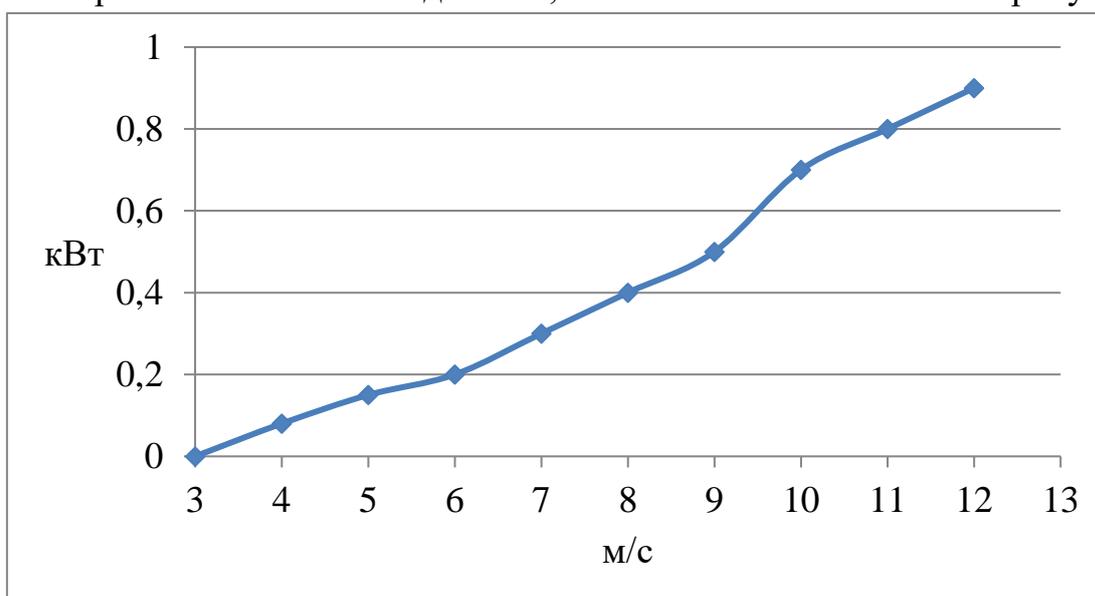


Рисунок 2. Мощностная характеристика ветроустановки WEW-1000

Подсчёт потенциальной выработки электроэнергии ветрогенератором производится для каждой градации ветра графоаналитическим способом с использованием мощностной характеристики. Определив электрическую мощность ветрогенератора P_i , для i -ой градации находим энергетический вклад данной градации ветра в выработку электроэнергии ветрогенератором за месяц. Суммарная электроэнергия определится как

$$W_{\text{ВГ}} = \sum_{i=1}^{imax} (T_i P_i),$$

где T_i - продолжительность соответствующей градации ветра. Энергия, вырабатываемая ветроустановкой за месяц, подсчитанная по градациям ветра, представлена в таблице 5.

Таблица 5. Энергия, вырабатываемая ветроустановкой за месяц

Градация, м/с	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Энергия, кВт*ч	0	8.88	5.85	11.4	12.6	2.4	4.5	0	2.4
Итого за месяц, кВт*ч	48.03								

Ометаемую площадь ветротурбины можно найти по формуле площади круга (диаметр ветроколеса известен):

$$S_{\text{ом}} = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 1.96^2}{4} = 3.02 \text{ м}^2$$

Удельная электроэнергия ветроустановки с одного квадратного метра ометаемой площади ветротурбины за месяц равна:

$$W_{\text{уст уд}} = \frac{W_{\text{уст}}}{S_{\text{ом}}} = \frac{48,03}{3,02} = 15,93 \frac{\text{кВт*ч}}{\text{м}^2}.$$

Коэффициент использования энергии ветра выбранной ветроустановки определится как:

$$\text{КПД} = \frac{W_{\text{уст уд}}}{W_{\text{мес уд}}} * 100 \% = \frac{15,93}{37,85} * 100 \% = 42 \%$$

Вывод: в результате проделанной работы был определен ветроэнергетический потенциал города Оренбурга: удельная мощность и удельная энергия за месяц. В условиях данной местности ветер обладает стабильностью в низких и средних диапазонах скоростей. Для выбранного

типа ветроэнергетической установки определено максимальное количество электроэнергии, вырабатываемое за месяц. Определён коэффициент преобразования энергии ветра в электроэнергию для выбранной модели ветроэнергетической установки, который оказался довольно высоким для ветрогенераторов - 44 %.

Информационные источники

1. Электронный ресурс pogodaiclimat.ru/weather.php?id=33342 .
2. Электронное учебное пособие «Возобновляемые источники энергии». Автор проф. Б.В. Лукутин. – Томск <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2010/01>

Индивидуальное задание 3

ОЦЕНКА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

Цель работы: исследование энергетических характеристик водотоков и возможностей преобразования гидравлической энергии в электрическую посредством микрогидроэлектростанции.

Пояснения к работе.

Исходной информацией к работе по характеристикам водотоков в том или ином районе является программный комплекс, **Explore Google Earth** <https://earth.google.com>>web, позволяющий по карте местности выбрать подходящий участок водотока, определить необходимый перепад высот русла водотока при соответствующей длине напорного трубопровода.



Рис.1. Пример выбора участка водотока для установки микроГЭС с использованием **Google Earth**.

Возможности указанного программного комплекса позволяют определить высоту над уровнем моря крайних точек расположения напорного трубопровода и, соответственно, определить получаемый напор воды.



Рис.2. Фрагмент информационного окна на мониторе.

Точно также определяется длина предполагаемого трубопровода.

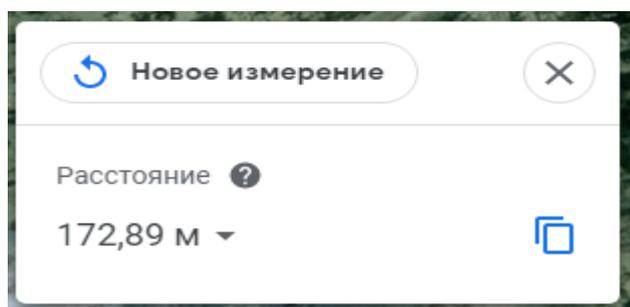


Рис.3. Фрагмент информационного окна на мониторе, показывающий длину выбранного участка.

Параметры и характеристики гидротурбины и других блоков микроГЭС можно найти на сайтах производителей, например http://www.cawater-info.net/library/rus/carewib/news_water_11.pdf.

Рассматриваемая конструкция микроГЭС широко применяется в диапазоне мощностей от единиц до десятков кВт при напорах: единицы – десятки метров и расходах: сотни – тысячи литров в секунду, что практически всегда реализуемо для водотоков, отмеченных на картах.

В качестве примера в таблице 1 приведены технические характеристики микроГЭС 10Пр. В таблице указаны диапазоны изменений расхода и напора воды и соответствующие им изменения вырабатываемой мощности.

Таблица 1. Пример технических характеристик.

Технические данные

Параметр	МикроГЭС 10Пр	
Напор (нетто), м	2-4,5	4,5-10
Расход воды, м ³ /с	0,07-0,14	0,095-0,2
Вырабатываемая мощность, кВт	до 4,0	до 10
Частота вращения, об/мин	1000	1500
Напряжение, В	400(+25 -50)	
Частота тока, Гц	50 ± 2	
Диаметр рабочего колеса, мм	235	
Диаметр подводящего трубопровода, мм	300	

Учитывая, что мощность гидротурбины пропорциональна напору и расходу воды:

$$P = \rho g Q H = 9810 Q H \text{ [Вт]};$$

где ρ – плотность воды, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

H – разность уровней на длине участка l , м;

Q – средний расход воды, м³/с,

можно пересчитать мощность гидротурбины на фактический напор путём составления простых пропорций. Зависимость мощности гидротурбины от напора воды линейна и может быть описана уравнением вида

$P = aH - b$, где a и b коэффициенты которые можно определить по данным таблицы 1. Тогда, учитывая что при 4,5 м напора гидрогенератор развивает мощность 4 кВт, а при 10 м – 10 кВт, составим уравнения для нахождения a и b :

$$4 = 4,5a - b.$$

$$10 = 10a - b.$$

откуда получаем $P = 1,1H - 0,95$. Для рассматриваемого примера, при фактическом значении $H = 7$ м, вырабатываемая мощность $P = 6,75$ кВт.

Задание: в выбранном месте течения горной реки, с подходящим для деривационных микроГЭС уклоном русла, оценить энергетический потенциал рабочего потока воды для используемой турбины микрогидроэлектростанции и определить её энергетические характеристики.

Последовательность выполнения задания.

1. Используя рекомендованное программное обеспечение и компьютерные базы данных, для выбранного водотока, осуществить привязку к местности и выбор оборудования микроГЭС в диапазоне мощностей 10 – 100 кВт.
2. Определить фактическую мощность микроГЭС, соответствующую энергетическим характеристикам рабочего потока воды в напорном трубопроводе.
3. Определить коэффициент использования установленной мощности микроГЭС, при условии ограничения длины напорного трубопровода 150 м.

Выводы

Пояснить связь технико-экономических характеристик деривационной микроГЭС с энергетическими характеристиками водотока.

Информационные источники.

1. Explore Google Earth <https://earth.google.com>>web,
2. http://www.cawater-info.net/library/rus/carewib/news_water_11.pdf .

Приложение

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики ИШЭ
Отделение электроэнергетики и электротехники ОЭЭ
Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника
Отчёт

по индивидуальному заданию №1

**Определение энергетических характеристик фотоэлектрического
преобразования**

по дисциплине «Энергетический потенциал природных возобновляемых
энергоресурсов и эффективность его преобразования в электроэнергию»

Выполнил:

студент группы 5АМ93

(подпись)

(дата)

Проверил:

профессор отделения ЭЭ

Лукутин Б.В.

(подпись)

(дата)

Томск – 2020