



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Электроснабжение»

**О. С. Шведова**

# **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**ПРАКТИКУМ**

для студентов специальности 1-43 01 02  
«Электроэнергетические системы и сети»  
дневной формы обучения

**Гомель 2022**

УДК 620.92(075.8)  
ББК 31.6я73  
ШЗ4

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 26.10.2021 г.)*

Рецензент: доц. каф. «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П. О. Сухого  
канд. техн. наук, доц. *В. А. Савельев*

**Шведова, О. С.**  
ШЗ4      Альтернативные источники электроэнергии : практикум для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» днев. формы обучения / О. С. Шведова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2022. – 23 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит краткие теоретические сведения по выбору типа и параметров установок, предназначенных для выработки электроэнергии из альтернативных источников, а также расчеты основных режимных и эксплуатационных показателей электроэнергетической системы с учетом работы альтернативных источников электроэнергии.

Для студентов специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» дневной формы обучения.

УДК 620.92(075.8)  
ББК 31.6я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2022

# ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1

## БИОМАССА И БИОГАЗОВЫЕ УСТАНОВКИ

### Краткие теоретические сведения

Биогаз состоит из метана (55 - 85% -  $\text{CH}_4$ ) и углекислого газа (15–45% –  $\text{CO}_2$ ), а также могут быть следы сероводорода. Его теплота сгорания составляет от 21 до 27,2 МДж/м. При переработке 1 тонны навоза крупного рогатого скота и свиней (с влажностью 85 %) можно получить от 45 до 60 м биогаза, 1 тонны куриного помета (с влажностью 75%) реально получить до 100 м биогаза. По теплоте сгорания 1 м биогаза эквивалентен: 0,8 м природного газа, 0,7 кг мазута или 1,5 кг дров.

Этот газ может использоваться как обычный природный газ для технологических целей, обогрева, выработки электроэнергии.

Биогаз, как и природный газ, относится к наиболее чистым видам топлива. Получение биогаза из органических отходов имеет следующие особенности:

- осуществляется санитарная обработка сточных вод (особенно животноводческих и коммунально-бытовых), содержание органических веществ снижается до 10 раз;

- анаэробная переработка отходов животноводства, растениеводства и активного ила приводит к минерализации основных компонентов удобрений (азота и фосфора) и их сохранению (в отличие от традиционных способов приготовления органических удобрений методами компостирования, при которых теряется до 40 % азота);

- при метановом брожении высокий КПД превращения энергии органических веществ в биогаз (80–90 %);

- биогаз с высокой эффективностью используется для получения тепловой и электрической энергии, а также для заправки автомобилей

### Задача 1.1

Необходимо оценить эффективность установки биогазогенератора и двигатель-генераторной установки для утилизации навоза на свиноферме на 1000 голов.

Исходные данные (таблица 1.1)

- Содержание сухого сбраживаемого материала в навозе одного животного 0,2 кг за сутки;

- Время цикла сбраживания при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$   $t = 14$  суток;

- Суммарная теплотворная способность сухого навоза 12 МДж/кг;
- Суммарная теплотворная способность биогаза (50% - метан и 50% - углекислый газ) -  $C_B = 20$  МДж/м<sup>3</sup> ;
- При полном сбраживании за 14 суток полный выход биогаза 0,5 м<sup>3</sup> на 1 кг сухого материала;
- КПД двигатель-генераторной установки 30%.

#### Порядок расчета

1. Объем жидкой массы (м<sup>3</sup>), проходящей через биогазогенератор ежедневно

$$V_J = \frac{m}{\rho}, \quad (1.1)$$

где  $m$  - масса сухого материала в навозе животных за сутки,  $\rho=50$ кг/м<sup>3</sup> содержание сухого материала в 1 м<sup>3</sup> жижи.

2. Объем биогазогенератора, м<sup>3</sup>

$$V_G = V_J \cdot t, \quad (1.2)$$

где  $t$  - время цикла сбраживания, сут

3. Масса сухого материала в полном биогазогенераторе, кг

$$G_c = m \cdot t \cdot 1000, \quad (1.3)$$

4. Объем биогаза, выделяемого биогазогенератором за сутки, м<sup>3</sup>/сут

$$V_B = G \cdot c, \quad (1.4)$$

где  $c$  - выход биогаза из 1 кг сухого материала в сутки.

5. Годовая выработка электроэнергии (кВт·ч) при использовании биогаза в двигатель – генераторной установке

$$W = V_B \cdot c_B \cdot \eta \cdot 365. \quad (1.5)$$

6. Номинальная мощность двигатель – генератора, кВт

$$P_H = \frac{K_3 \cdot W}{365 \cdot 24}, \quad (1.6)$$

где  $K_3 = 1$  – коэффициент запаса.

Таблица 1.1 Исходные данные для задачи 1.1

№ Варианта	m, кг/сут	t, сут	p, кг/м <sup>3</sup>	C, м <sup>3</sup> /кг сухого материала	C <sub>в</sub> , МДж/м <sup>3</sup>	η, %
1.	0,2	15	50	0,5	20	30
2.	0,5	20	50	0,5	35	40
3.	0,1	10	50	0,5	40	50
4.	0,15	11	50	0,5	20	10
5.	0,3	13	50	0,5	35	20
6.	0,6	25	50	0,5	40	30
7.	0,14	20	50	0,5	20	40
8.	0,35	18	50	0,5	35	50
9.	0,05	5	50	0,5	40	10
10.	0,18	6	60	0,5	20	20
11.	0,55	15	60	0,5	35	30
12.	0,45	12	60	0,5	40	40
13.	0,8	29	60	0,6	20	50
14.	0,9	25	60	0,6	35	10
15.	0,95	28	60	0,6	40	20
16.	1,1	35	60	0,6	20	30
17.	1,2	36	60	0,6	35	40
18.	1,3	37	60	0,6	40	50
19.	1,8	38	60	0,6	20	10
20.	2,2	41	60	0,6	35	20
21.	1,57	30	60	0,6	40	30
22.	1,99	36	60	0,6	20	40
23.	3	44	60	0,6	20	50
24.	3,5	48	60	0,6	35	30
25.	1,16	12	60	0,6	40	40
26.	3,3	50	70	0,7	20	50
27.	4,45	52	70	0,8	35	10

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2 ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

Среди энергоустановок, использующие возобновляемые источники энергии, самое широкое распространение нашли ветроэнергетические установки (ВЭУ).

Использование ВЭУ по сравнению с другими нетрадиционными источниками для автономного электроснабжения имеет ряд преимуществ:

- стоимость 1кВт установленной мощности ВЭУ намного ниже, чем у ФЭС и сравнима со стоимостью микроГЭС;
- ветровые ресурсы по сравнению с солнечными, распределены достаточно равномерно в течение года и в течение дня;
- ВЭУ можно разместить недалеко от объекта энергоснабжения, в то время, как расположение микроГЭС привязано к реке;
- по сравнению с ФЭС, производство ВЭУ не требует высокотехнологического оборудования, и поэтому, большинство элементов ВЭУ можно выпускать на любом машиностроительном предприятии или изготовить собственными силами [1].

### **Задача 2.1. Определение номинальной мощности ВЭУ**

Определить номинальную мощность ветроэнергетической установки для автономного энергоснабжения объекта с учетом средней скорости ветра в регионе и энергопотребления объекта [2] .

#### **Методика расчета**

1. Определить среднюю скорость ветра в расчетном регионе на основании данных метеорологических служб. При этом необходимо иметь в виду, что данные метеостанций являются усредненными. В связи с этим в дополнение к этим данным можно руководствоваться привязкой к местному ландшафту (аэродинамические коридоры лесных массивов и горных цепей, поймы рек, продувные урбанизированные районы), соответствующим изменением климата в регионе (изменение направления и силы ветра, колебания температуры) и т.д. Средняя скорость ветра  $v_{ср}$  выбирается на основе карты ветров. Более точные данные можно получить в соответствующих местных организациях. Кроме этого, существует методика расчета скоростей ветра по вероятному их появлению. Это более сложный путь, но результат, как правило, отличается от предыдущего на 10-15%.

2. Определить среднечасовое энергопотребление объекта

Потребление энергии в час составляет  $E_{сут}$ , деленное на 24 часа:

$$E_{ч} = \frac{E_{сут}}{24}, \text{ Вт}\cdot\text{ч.} \quad (2.1)$$

3. Определить номинальную мощность ВЭУ, которая может быть применена для энергоснабжения данного объекта. Мощность Рспец, развиваемая ВЭУ, составляет  $E_{час}$ , деленное на время потребления, на 1 час:

$$P_{спец} = \frac{E_{ч}}{1}, \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Но это – мгновенная мощность, развиваемая ВЭУ на расчетной средней скорости ветра. Определив расчетную скорость ветра по данным локальной метеостанции или проведя собственные вычисления, по таблице 2.1 по средней скорости ветра найти мгновенную мощность ВЭУ  $P_{мгн ВЭУ}$ , развиваемую на этой скорости ветра конкретной ВЭУ. Поиск осуществляется по столбцам средней скорости ветра с определением данных, удовлетворяющих условию:

$$P_{мгнВЭУ} \geq P_{спец}.$$

Таблица 2.1 – Мощность и выработка энергии ВЭУ-3

№ Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Скорость ветра $v$ , м/сек	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Мгновенная мощность $P_{мгнВЭУ}$ , Вт	60	200	400	700	1100	1700	2500	2900	3300
Среднесуточная $E_{сут}$ , кВтчас	20	40	50	60	70	72	74	75	76
Суточная выра- ботка $E_{сутВЭУ}$ , кВтчас	1,4	4,8	9,6	16,8	26,4	40,8	60	69,6	79,2

### Задача 2.2. Определение площади, занимаемой ВЭУ

Определить площадь поверхности земли, занимаемой ВЭУ (таблица 2.2).

#### Методика расчета

1. Определить площадь, занимаемую непосредственно самой ветроэнергетической установкой. Она складывается из площади сечения мачты  $S_m$  и площади, занимаемой растяжками  $S_p$ .

Площадь сечения мачты  $S_m$ :

$$S_m = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (2.3)$$

где  $S_m$  – площадь сечения нижнего основания мачты;

$D$  – диаметр трубы мачты.

2. Определить площадь  $S_p$ , занимаемую растяжками. Такие расчеты ведутся только для мачт с растяжками. Для мачт без растяжки эта площадь равна нулю.

Диаметр, на котором расположены фундаменты растяжек (диаметр растяжек)  $D_p$  находится через длину мачты  $h$ :

$$D_p = 2 \cdot h \cdot \sin(\varphi), \text{ м} \quad (2.4)$$

Площадь, занимаемая растяжками:

$$S_p = \frac{D_p^2}{2}, \text{ м}^2. \quad (2.5)$$

Таблица 2.2 – Исходные данные к задаче 2.2

№ Варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$D$ , мм	100	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210
$h$ , м	6	7	8	9	10	11	12	10	11	9	8
$\varphi$	100	120	150	180	200	210	220	230	240	250	260



### 2.3. Аэродинамические параметры ВЭУ. Расчет параметров ротора ВЭУ

Ротор (или ветроколесо) ветроэнергетической установки состоит из ступицы (гондолы) и лопастей. В горизонтально-осевых конструкциях, как правило, устанавливается мультипликатор. Однако в задаче он во внимание не принимается.

#### Методика расчета

1. Вычислить аэродинамическую мощность с помощью электрической мощности. Электрическая мощность ВЭУ  $P_{Э}$  вычисляется через аэродинамическую мощность  $P_A$  через коэффициент использования энергии ветра (КИЭВ)  $\xi$

$$P_{Э} = P_A \cdot \xi, \text{ Вт.} \quad (2.6)$$

Реальный  $\xi$  горизонтально-осевых установок изменяется в пределах 0,25...0,47.

Реальный  $\xi$  вертикально-осевых установок изменяется в пределах 0,09...0,48.

Теоретический максимальный КИЭВ является идеальным и на практике недостижимым в связи с неизбежным наличием потерь:

$\xi_{ж} = 0,593$  по Жуковскому-Бетцу (наиболее употребим в вычислениях);

$\xi_{с} = 0,687$  по Сабинину.

2. Определить ометаемую площадь ротора  $S$  при постоянной скорости ветра  $v$  в ламинарном потоке. Аэродинамическая мощность является энергией набегающего потока ветра, передаваемой ротору (ветроколесу) ВЭУ за 1 секунду:

$$P_A = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2}, \text{ Вт,} \quad (2.7)$$

где  $P_A$  – аэродинамическая мощность, Вт;

$\rho$  – плотность воздуха, проходящего через ротор (принимается  $1,2041 \text{ кг/м}^3$  в сухом воздухе при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и давлении

101,325 КПа), кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость ветрового потока до встречи с ротором, м/с;

$S$  – ометаемая площадь ротора (у горизонтально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, перпендикулярную оси вращения, у горизонтально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, перпендикулярную оси вращения, у вертикально-осевых установок это площадь проекции ротора на плоскость, параллельную оси вращения), м<sup>2</sup>. Таким образом, ометаемая площадь ротора  $S$  определяется однозначно из (2.7).

3. Определить диаметр ротора для горизонтально-осевых установок (диаметр и высоту ротора для вертикально-осевых установок).

Для горизонтально-осевых роторов:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \text{ м}^2. \quad (2.8)$$

Для вертикально-осевых роторов:

$$S = D \cdot H, \text{ м}^2. \quad (2.9)$$

где  $D$  – диаметр ротора;

$H$  – высота ротора.

На основе выражений (2.8) и (2.9) можно найти диаметр ВЭУ. Необходимо отметить, что параметры ротора вертикально-осевой ветроэнергетической установки определяются неоднозначно, поэтому для определения соотношения диаметра  $D$  и высоты  $H$  необходимы дальнейшие вычисления.

Замечание: На практике необходимо увеличить ометаемую площадь на 33-35% с учетом поправки на реальный КИЭВ, составляющий 65-67% от идеального:

$$S_{\text{реал}} = S \cdot 1.33, \text{ м}^2. \quad (2.10)$$

4. Делается вывод о технической и экономической целесообразности изготовления ротора и его применимости в конкретных условиях на основе габаритных размеров.

**Задача 2.3** По исходным данным представленным в таблице 2.3 определить размеры ветроколеса: диаметр  $D$  и высоту  $H$ .

Таблица 2.3 Исходные данные

№ Варианта	Тип ВЭУ	Номинальная мощность ВЭУ $P_{Э}$ , кВт	Номинальная скорость вращения $v$ , м/с
1.	горизонтально-осевая	3	11
2.	горизонтально-осевая	5	15
3.	горизонтально-осевая	6	20
4.	горизонтально-осевая	7	22
5.	горизонтально-осевая	8	24
6.	горизонтально-осевая	9	28
7.	горизонтально-осевая	10	30
8.	горизонтально-осевая	3	35
9.	горизонтально-осевая	5	40
10.	горизонтально-осевая	6	45
11.	горизонтально-осевая	7	50
12.	горизонтально-осевая	8	55
13.	горизонтально-осевая	9	5
14.	горизонтально-осевая	10	8
15.	горизонтально-осевая	3	21
16.	вертикально-осевая	12	28
17.	вертикально-осевая	14	30
18.	вертикально-осевая	16	44
19.	вертикально-осевая	18	70
20.	вертикально-осевая	20	50
21.	вертикально-осевая	22	60
22.	вертикально-осевая	3	11
23.	вертикально-осевая	5	15
24.	вертикально-осевая	6	20
25.	вертикально-осевая	7	22
26.	вертикально-осевая	8	24
27.	вертикально-осевая	9	28
28.	вертикально-осевая	10	30

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

### Методика расчета фотоэлектрических систем

Все фотоэлектрические системы (ФЭС) можно разделить на два типа: автономные и соединенные с электрической сетью. Станции второго типа отдают излишки энергии в сеть, которая служит резервом в случае возникновения внутреннего дефицита энергии.

Автономная система в общем случае состоит из набора солнечных модулей, размещенных на крыше, аккумуляторной батареи (АБ), контроллера разряда – заряда аккумулятора, соединительных кабелей. Для получения переменного напряжения к комплекту добавляется инвертор-преобразователь постоянного напряжения в переменное.

Под расчетом ФЭС понимается определение номинальной мощности модулей, их количества, схемы соединения; выбор типа, условий эксплуатации и емкости АБ; мощностей инвертора и контроллера заряда-разряда; определение параметров соединительных кабелей.

#### *1. Определение номинальной мощности солнечных модулей.*

Необходимо вначале определить суммарную (расчетную) мощность всех потребителей, подключаемых одновременно. Эта мощность указана в паспортах изделий.

Количество потребляемой энергии  $W$  (кВт·ч) в течение времени  $T$  определяется

$$W = P_{расч} \cdot T, \quad (3.1)$$

где  $P_{расч}$  – расчетная мощность нагрузки, кВт.

Считается, что электроснабжение за счет солнечной энергии экономически целесообразно при суточном энергопотреблении до 4 кВт·ч.

Расчетная мощность нагрузки  $P_{расч}$  определяется статистическим методом. По этому методу расчетную нагрузку группы приемников определяют двумя интегральными показателями: генеральной средней нагрузкой  $P_c$  (кВт) и генеральным среднеквадратичным отклонением  $\sigma$  из уравнения:

$$P_{расч} = P_c \cdot \beta \cdot \sigma, \quad (3.2)$$

где  $\beta$  - статический коэффициент, равный 2,5;  
 $\sigma$  - среднеквадратичное отклонение для принятого интервала осреднения.

Среднеквадратичное отклонение для группового графика определяют по формуле:

$$\sigma = \sqrt{P_{ср.кв.}^2 - P_c^2}, \quad (3.3)$$

где  $P_{ср.кв.}$  – активная среднеквадратичная мощность, кВт.

Среднеквадратичное значение активной мощности отдельного электроприемника (ЭП) за рассматриваемый промежуток времени определяется по формуле:

$$P_{ср.кв.} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{\sum t_i}}. \quad (3.4)$$

По известной мощности нагрузки выбирается мощность инвертора, которая с учетом потерь в инверторе должна быть не менее чем на 25% больше расчетной мощности, т.е.,

$$P_{инв} \geq 1,25 \cdot P_{расч}. \quad (3.5)$$

Номинальный ряд мощностей инверторов 150, 300, 500, 800, 1500, 2500, 5000 Вт. Для мощных станций (более 1 кВт) напряжение станции выбирается не менее 48 В, т.к. на больших мощностях инверторы лучше работают с более высоких исходных напряжений.

## 2. Определение емкости аккумуляторной батареи.

Емкость аккумуляторной батареи (АБ) выбирается из стандартного ряда емкостей с округлением в сторону, большую расчетной. Расчетная емкость АБ (А·ч) определяется по формуле:

$$C_{расч} = \frac{W}{U_{АБ} \cdot \delta}, \quad (3.6)$$

где  $W$  – количество потребленной энергии (Вт·ч);

$U_{AB}$  – напряжение АБ;

$\delta$  – допустимая глубина разряда АБ.

При расчете емкости АБ в полностью автономном режиме необходимо принимать во внимание и наличие пасмурных дней, в течение которых аккумулятор должен обеспечивать работу потребителей. За максимальное число последовательных «дней без солнца» можно принять установленное количество дней, в течение которых АБ будет питать нагрузку самостоятельно без подзаряда.

От глубины разряда АБ  $\delta$  зависит срок службы аккумуляторной батареи. Чем больше  $\delta$ , тем быстрее АБ выйдут из строя. Рекомендуемое значение глубины разряда 20% (не более 30%). Это значит, что возможно использование 20% от значения номинальной емкости АБ. Ни при каких обстоятельствах разряд батареи не должен превышать 80%. Время полного разряда  $T_{разр}$  батареи емкостью  $C$  АБ под воздействием нагрузки мощностью  $P$  можно определить

$$T_{разр} = \frac{C_{AB} \cdot 8,5}{P}. \quad (3.7)$$

Емкость аккумуляторной батареи зависит также от температуры окружающей среды. Уменьшение емкости АБ при понижении температуры учитывает температурный коэффициент  $K_c$ . Общая требуемая емкость аккумуляторной батареи

$$C_{AB} = C_{расч} \cdot K_c. \quad (3.8)$$

### *3. Определение мощности и количества модулей ФЭС.*

Солнечный модуль выполнен в виде панели, заключенной в корпус из алюминиевого профиля. Панель представляет собой фотоэлектрический генератор, состоящий из стеклянной плиты, с тыльной стороны которой между двумя слоями герметизирующей (ламинирующей) пленки размещены солнечные элементы, электрически соединенные между собой металлическими шинами. Нижний слой герметизирующей пленки защищен от внешних воздействий слоем защитной пленки. К внутренней стороне корпуса модуля прикреплен блок терминалов, под крышкой которого размещены электрические кон-

такты, предназначенные для подключения модуля. Модули производятся из псевдоквадратных монокремниевых фотоэлектрических преобразователей (ФЭП), покрытых антиотражающим покрытием. Рабочее напряжение фотоэлектрических модулей обычно 12 В или 24 В.

Фотоэлементы заводского производства имеют определенную номинальную мощность, выраженную в ваттах пиковой мощности (Втп). Это показатель их максимальной мощности в стандартных условиях испытаний, когда солнечная радиация близка к своему максимальному значению в  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , а температура поверхности фотоэлемента 25 градусов. На практике же фотоэлементам редко приходится работать в таких условиях. Один солнечный модуль в зависимости от количества пластин имеет мощность от 100 до 3000 Вт. В течение выбранного периода времени модуль мощностью  $P$  м вырабатывает количество энергии, равное

$$W_M = \frac{P_M \cdot E \cdot \eta}{1000}, \quad (3.9)$$

где  $W_M$  – выработанное количество электроэнергии, кВт·ч;  
1000 – максимальное значение солнечной радиации,  $\text{Вт/м}^2$ ;  
 $\eta$  – коэффициент производительности системы (0,5 – летом и 0,7 – зимой);  
 $E$  – значение инсоляции за выбранный период для заданной широты,  $\text{кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ .

Разделив потребляемую нагрузкой энергию в течение выбранного периода на энергию, выработанную одним модулем за этот же период, определим необходимое количество модулей фотоэлектрической системы:

$$n_M = \frac{W}{W_M}. \quad (3.10)$$

### Задание 3.1

1. Необходимо выбрать бытовую нагрузку для дома и определить потребляемую энергию для заданного объекта;
2. Определить значение необходимой мощности инвертора и емкости аккумуляторной батареи;
3. Выбрать сечение соединительных проводов;
4. Рассчитать необходимое количество ФЭМ исходя из данных

по приходу солнечной радиации в месте установки системы.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4 МАЛАЯ ГИДРОЭНЕРГЕТИКА

Одним из основных факторов, определяющих эффективность использования источника гидроэлектроэнергии, является локальный энергетический потенциал потока воды.

При выборе рационального места размещения микро ГЭС приходится решать комплексную задачу, связанную с определением количества энергии, которое возможно получить при использовании данного водотока и его достаточность для удовлетворения нужд потребителей; напор или высоту падения, которым располагает данный источник воды; объемный расход и скорость; размеры напорного трубопровода; расстояния и мощности, передаваемые по линиям электропередач от рабочего колеса к генератору и от генератора к потребителям, наличие системы резервирования энергии и систем регулирования расхода и т.п. Основными расчетными параметрами при определении мощности и типа микро гидроэлектростанции являются **напор** и **объемный расход**, соответственно потенциальная и кинетическая составляющая гидроэнергии.

**Мощность ГЭС** можно определить из выражения:

$$P = 9,81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H, \text{ кВт}, \quad (4.1)$$

где  $Q$  - расход воды через определенное сечение,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $H$  - напор воды, подведенной к гидротурбине, м;  
 $\eta$  - КПД гидроэлектростанции.

При определении напора необходимо учитывать полный (статический) напор и рабочий (динамический) напор. Полный напор – это расстояние по вертикали между верхней точкой подводящей трубы (отметки водозаборника) и точкой, где вода освобождается из турбины. Рабочий напор – это полный напор минус давление или гидравлические потери, связанные с трением и явлением турбулентности в трубопроводе. Эти потери зависят от типа, материала трубы, диаметра, длины трубы, количества изгибов и пр. Для определения реальной мощности рекомендуется вести расчет по рабочему напору  $H$ .



$$H = H_{пол} - h_{тр} - h_{доп}, \text{ м}, \quad (4.2)$$

где  $h_{тр}$  – потери на трение в водоводе;

$h_{доп}$  – дополнительные или местные потери, связанные с засорением водозабора, бифуркацией на сужениях и расширениях, задвижках, клапанах и т.д.

Величину потерь напора на трение в водоводе можно определить по выражению:

$$h_{тр} = J \cdot L, \text{ м}, \quad (4.3)$$

где  $J$  – гидравлический градиент;

$L$  – длина водовода, м.

Для определения гидравлического градиента можно использовать следующую практическую формулу:

$$J = a \cdot V^m \cdot D^n, \quad (4.4)$$

где  $V$  – скорость потока, м/с;

$D$  – диаметр водовода, м;

$a, n, m$  – коэффициенты материала, из которого изготовлен водовод (учитывают шероховатость поверхностей стенок и защиты внутренних поверхностей).

В водоводах закрытого типа для расчета потерь на трение:

1. стальная труба 0,885 (а), 1,8 (n), 1,17 (m);
2. бетонная труба 0,917 (а), 2,0 (n), 1,25 (m).

В водоводах закрытого типа для расчета потерь на трение рекомендуется использовать уравнение Дарси-Вейсбаха:

$$h_{тр} = f \cdot \frac{L}{4 \cdot R} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}, \text{ м}, \quad (4.5)$$

где  $R$  – гидравлический радиус (в метрах);

$V$  – средняя скорость потока, м/с;

$f$  – безразмерный коэффициент (приводится в гидрологиче-

ских таблицах, в зависимости от степени шероховатости водовода и числа Рейнольдса).

Дополнительные или местные потери в водоводе определяются из выражения:

$$h_{\text{дон}} = \varepsilon_x \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}, \text{ м.} \quad (4.6)$$

Значения коэффициента  $\varepsilon_x$  приводятся в справочниках гидравлических сопротивлений (потери на сгибах, сужениях и т.д.).

При определении мощности гидроагрегата и проектировании гидроэлектростанции следует учитывать климатические особенности региона и местное законодательство в области гидроэнергетических ресурсов. Например, при использовании системы с напорным трубопроводом, выработка электроэнергии возможна в период открытого русла, поэтому важным критерием является даты начала и конца ледовых явлений. Во многих странах мира строго регулируются вопросы, связанные с использованием стока рек. Любое изменение русла реки или берега может повлиять на качество и уровень воды и среду обитания живой природы, независимо от того, находится река на частной территории или нет. В связи с этим при выборе места строительства микро ГЭС нужно стремиться использовать не более 10 % от имеющегося минимального потока (межень).

**Задача 4.1** По исходным данным представленным в таблице 4.1 определить мощность ГЭС.

Таблица 4.1 – Исходные данные

№ Варианта	$\eta$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$L, \text{ м}$	$V, \text{ м}$	$D, \text{ м}$
1.	40	10	100	5	10
2.	50	15	200	10	20
3.	60	20	400	15	35
4.	70	25	500	20	45
5.	30	5	600	25	10
6.	45	8	1000	5	20
7.	40	10	450	10	35
8.	50	18	550	15	45

Окончание табл. 4.1

№ Варианта	$\eta$	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$L, \text{ м}$	$V, \text{ м}$	$D, \text{ м}$
9.	60	20	630	20	10
10.	70	10	520	5	10
11.	30	15	430	10	20
12.	45	20	110	15	35
13.	40	25	120	20	45
14.	50	5	150	25	10
15.	60	8	220	5	20
16.	70	10	240	10	35
17.	30	18	280	15	45
18.	45	20	510	20	10
19.	40	10	520	25	20
20.	50	15	430	5	35
21.	60	20	110	10	45
22.	70	25	120	15	10
23.	30	5	150	20	20
24.	45	8	220	25	35
25.	40	10	240	5	45
26.	50	18	280	10	10
27.	60	20	510	15	20
28.	70	10	520	20	35
29.	55	15	440	25	22

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5

### РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ШУМОВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В настоящее время наиболее часто под определением «шум» понимают любой нежелательный звук. Шум энергетического оборудования характеризуется не только количественными характеристиками, но и временем воздействия и характером спектра (распределением звуковой энергии по частотному диапазону).

Для определения количественного значения шума агрегатов пользуются логарифмическими величинами – уровнями интенсивности звука, звукового давления и звуковой мощности, которые измеряются в децибелах (дБ).

Уровень интенсивности звука определяется по формуле:

$$L_i = 10 \lg \left( \frac{I}{I_0} \right), \text{ дБ}, \quad (5.1)$$

где  $I$  – интенсивность звука, Вт/м<sup>2</sup>;  $I_0$  – интенсивность звука, соответствующая пороговому уровню восприятия звука человеком, 10<sup>-12</sup> Вт/м<sup>2</sup>.

Уровень звуковой мощности вычисляется по формуле:

$$L_p = 10 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right), \text{ дБ}, \quad (5.2)$$

где  $P$  – звуковая мощность, Вт;  $P_0$  – пороговая звуковая мощность, 10<sup>-12</sup> Вт.

Уровень звукового давления определяется по формуле:

$$L_p = 10 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right), \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

где  $p$  – звуковое давление, Па;  $p_0$  – пороговое звуковое давление, воспринимаемое ухом человека 2·10<sup>-5</sup> Па.

Использование в формулах (5.1)–(5.3) логарифмов позволяет резко уменьшить диапазон значений рассматриваемых величин и наиболее полно учитывать физиологическую особенность восприятия шума человеком. Например, при изменении звукового давления от

$2 \cdot 10^{-4}$  до 2 Па, которые реально имеют место в окружающей нас среде, уровень звукового давления изменяется от 20 до 100 дБ.

Суммарный уровень звукового давления:

$$L_{p\Sigma} = 10 \lg \left( \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{pi}} \right), \text{ дБ}, \quad (5.4)$$

где  $n$  – количество источников шума;  $L_{pi}$  – уровень звукового давления  $i$ -го источника, дБ.

В таблице 5.1 представлены исходные данные к расчету уровня шумового загрязнения окружающей среды.

Таблица 5.1 Исходные данные к расчету уровней шума

№ варианта	Звуковое давление, Па		
	Источник шума № 1	Источник шума № 2	Источник шума № 3
1.	2,0	0,12	0,07
2.	1,9	0,13	0,08
3.	1,8	0,14	0,09
4.	1,7	0,15	0,06
5.	1,6	0,16	0,05
6.	1,5	0,17	0,02
7.	1,4	0,18	0,03
8.	1,3	0,19	0,04
9.	1,2	0,20	0,09
10.	1,1	0,22	0,06
11.	1,0	0,23	0,05
12.	2,0	0,24	0,02
13.	1,9	0,25	0,03
14.	1,8	0,12	0,04
15.	1,7	0,13	0,09
16.	1,6	0,14	0,06
17.	1,5	0,15	0,05
18.	1,4	0,16	0,02
19.	1,3	0,17	0,02
20.	1,2	0,18	0,03
21.	1,1	0,19	0,04
22.	1,0	0,20	0,09

Окончание табл. 5.1

№ варианта	Звуковое давление, Па		
	Источник шума № 1	Источник шума № 2	Источник шума № 3
23.	2,0	0,22	0,06
24.	1,9	0,23	0,05
25.	1,8	0,24	0,02
26.	1,7	0,12	0,04
27.	1,6	0,13	0,09
28.	1,5	0,14	0,06
29.	1,4	0,15	0,05
30.	1,7	0,16	0,02

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / В. В. Денисов [и др.] ; под ред. В. В. Денисова. – Ростов н/Д : Феникс, 2015. – 318 с.
2. Баскаков, А. П. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии : учебник / А. П. Баскаков, В. А. Мунц. – М. : БАСТЕТ, 2013. – 366 с.
3. Лосюк, Ю. А. Возобновляемые источники энергии : учеб. пособие / Ю. А. Лосюк. – Минск : Технология, 2000. – 80 с.
4. Безруких, П. П. Использование энергии ветра. Техника, экономика, экология / П. П. Безруких. – М. : Колос, 2008. – 196 с.
5. Аубакиров, Р. Д. Пример расчета параметров ветроэнергетической установки для потребителя малой мощности / Р. Д. Аубакиров, А. О. Вирайло, Е. В. Гаврилович // Молодой ученый. – 2016. – № 28.2 (132.2). – С. 1–7.

**Шведова Ольга Сергеевна**

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ  
ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

**Практикум  
для студентов специальности 1-43 01 02  
«Электроэнергетические системы и сети»  
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 22.11.22.

Рег. № 79Е.  
<http://www.gstu.by>