

### *Контрольные вопросы*

1. Охарактеризуйте сущность качественного и количественного методов регулирования теплопотребления в системах отопления?
2. Из каких элементов состоит система отопления?
3. По каким признакам классифицируются отопительные приборы? Приведите примеры отопительных приборов.
4. Из каких элементов состоит конвектор? Каким образом проводится регулирование отпусла тепла в конвекторе?

### **Лабораторная работа № 7**

#### **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ**

Принадлежности: 1) осевой вентилятор В06-300 №4С ( $Q=2,0-3,6$  тыс. м<sup>3</sup>/час;  $p=85-10$ Па,  $N=0,18$  кВт;  $n=1350$  мин<sup>-1</sup>); 2) цифровые измерители (амперметр и вольтметр) с питанием; 3) чашечный анемометр МС-13; 4) генератор; 5) нагрузка (электролампочки); 6) аэродинамическая труба; 7) ветроколесо; 8) автоматический выключатель.

Цель работы - ознакомиться на лабораторной ветроэнергетической установке с принципом преобразования энергии воздушного потока в электрическую энергию и определить основные параметры установки при различных условиях работы.

**Введение.** Одним из наиболее распространенных нетрадиционных источников энергии является ветер, представляющий собой движение воздушных масс земной атмосферы, вызванное перепадом температур в ней из-за неравномерного нагрева ее солнцем. Устройством, преобразующим энергию ветра в полезную электрическую энергию, является ветроэнергетическая установка (ВЭУ), или ветроустановка. ВЭУ могут быть использованы для непосредственного выполнения механической работы (например, привода водяного насоса) или для производства электроэнергии.

Основным рабочим элементом ВЭУ, который непосредственно воспринимает энергию ветра, является ветроколесо. Вращение его под действием ветра обусловлено взаимодействием воздушного потока с лопастью ветроколеса и возникающими при этом силами. Из аэромеханики известно, что на любое тело, обтекаемое потоком газа, действует результирующая сила  $P$  (рис. 16), которую можно разложить на две составляющие: силу любого сопротивления  $P_c$ , действующую в направлении скорости набегающего потока, и подъемную силу  $P_n$ , действующую перпендикулярно скорости набегающего потока. Действие этих сил вызывает завихрение обтекающей лопасти потока, что приводит к закрутке воздушного потока за плоскостью ветроколеса, т.е. к его вращению относительно вектора скорости набегающего потока. Величина действующих сил, а следовательно, и скорость вращения ветроколеса зависят от его формы и геометрических размеров, ориентации в потоке и скорости набегающего потока.

ВЭУ классифицируются по двум основным признакам - геометрии ветроколеса и его положению относительно направления ветра (рис. 17). У одних ось вращения ветроколеса параллельна воздушному потоку (такие ВЭУ называют горизонтально-осевыми), у других - перпендикулярна (вертикально-осевыми).

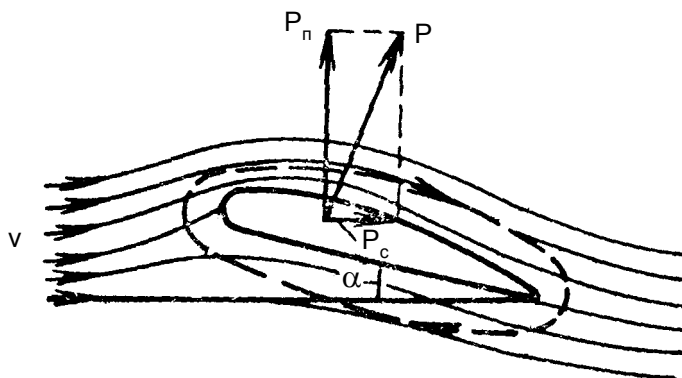


Рис.16. Силы, действующие на тело, обтекаемое потоком воздуха:  $P_c$  - сила лобового сопротивления;  $P_n$  - подъемная сила;  $P$  - результирующая сила

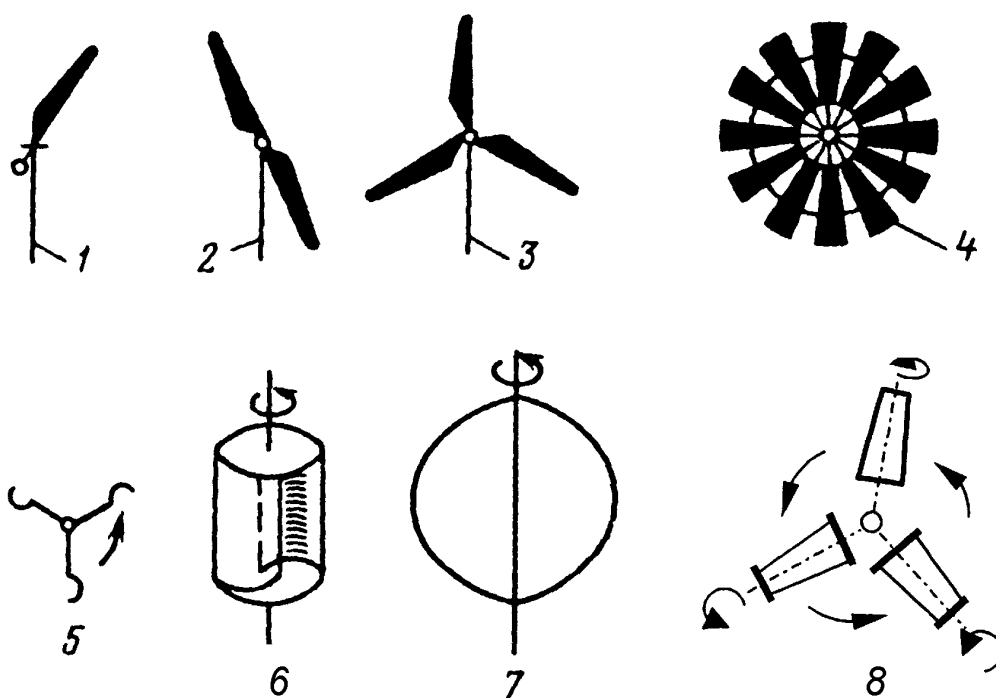


Рис. 17. Основные типы ветроколес: 1 - однолопастное; 2 - двухлопастное; 3 - трехлопастное; 4 - многолопастное; 5 - чашечный анемометр; 6 - ротор Савониуса; 7 - ротор Масгрува; 8 - ветроколесо с использованием эффекта Магнуса

Вращающей силой чаще всего является подъемная сила  $P_n$ . Установки, использующие ее (лифт-машины), имеют линейную скорость концов лопастей существенно больше скорости ветра. Однако имеются и установки, использующие силу любого сопротивления, которые, как правило,

вращаются со скоростью меньшей скорости ветра. На рис.17 (поз.8) представлено также ветроколесо, использующее эффект Магнуса (эффект возникновения подъемной силы, перпендикулярной направлению ветра, при вращении цилиндра или конуса).

Каждое ветроколесо характеризуется следующими основными параметрами:

- ометаемой площадью  $S$ , т.е. площадью, покрываемой лопастями при вращении и равной  $S=\pi D^2/4$ , где  $D$  - диаметр ветроколеса;
- геометрическим заполнением, равным отношению площади проекции лопастей на плоскость, перпендикулярную потоку, к ометаемой площади (так, например, при одинаковых лопастях четырехлопастное колесо имеет вдвое большее геометрическое заполнение, чем двухлопастное);
- коэффициентом мощности  $C_N$ , характеризующим эффективность использования ветроколесом энергии ветрового потока и зависящим от конструкции ветроколеса;
- коэффициентом быстроходности  $Z$ , представляющим собой отношение скорости конца лопасти к скорости воздушного потока.

При скорости ветра  $V$  и плотности воздуха  $\rho$  ветроколесо с ометаемой площадью  $S$  развивает мощность

$$N = C_N \rho S \frac{V^3}{2}, \text{ Вт.} \quad (7.1)$$

Из формулы следует, что коэффициент мощности  $C_N$  представляет отношение мощности набегающего ветрового потока  $N_{ВП}=0,5\rho SV^3$  к мощности, развиваемой ветроколесом,  $N$ , которая может быть определена по измеренным параметрам электрической энергии:  $N=IU$ , где  $I$  - сила тока,  $U$  - напряжение. Таким образом, коэффициент мощности можно определить по соотношению

$$C_N = \frac{IU}{0,5\rho SV^3}, \quad (7.2)$$

где  $\rho$  - плотность воздуха ( $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$ );  $S=\pi D^2/4$  - ометаемая площадь ветроколеса диаметром  $D$ ;  $V$  - скорость воздушного потока.

Из многочисленных исследований в области ветроэнергетики следует, что максимальное значение коэффициента мощности для идеального ветроколеса достигает 0,59, т.е. 59%, а остальная энергия расходуется на продвижение воздушных масс через ветроколесо и на концевые, профильные и другие аэродинамические потери. Однако на практике мощность составляет 46-50% мощности ветрового потока (для многих ВЭУ - не более 43-45%).

Основными способами повышения коэффициента мощности являются: увеличение диаметра ветроколеса (имеются ограничения, обусловленные прочностными характеристиками лопастей); увеличение скорости ветрового потока (фактор труднорегулируемый); снижение аэродинамических

сопротивлений (по результатам исследований эта величина уже близка к минимальной).

Установки, преобразующие энергию ветра, могут быть использованы в системах автономного энергоснабжения различных локальных объектов (садовых участков, животноводческих ферм, на пастбищах, в оросительных системах и т.д.), в системах водоснабжения, отопления, вентиляции, энергообеспечения холодильных агрегатов.

**Описание установки.** Лабораторная установка (рис.18) состоит из осевого вентилятора 1, с помощью которого создается направленное напорное движение воздушного потока по трубопроводу 2. В трубопроводе расположено 3-лопастное ветроколесо 3 диаметром 180 мм (при необходимости диаметр и тип ветроколеса может изменяться), на одном валу с которым расположен генератор 4. В электрической цепи имеется нагрузка в виде электролампочки постоянного тока 6 и комбинированный прибор для измерения силы тока и напряжения 7. Определение скорости воздушного потока осуществляется с помощью анемометра 5, а регулирование ее - с помощью дроссельных заслонок, устанавливаемых на входе воздуха в вентилятор. Для пуска и выключения вентилятора предусмотрен пускатель 8.

**Подготовка установки к эксперименту.** Перед началом работы необходимо ознакомиться с лабораторной установкой, последовательностью проведения опытов и перечнем величин, которые необходимо измерить. После разрешения преподавателя приступить к проведению эксперимента.

**Измерения и их обработка.** Измерения осуществляются в следующей последовательности:

- установить на входе в вентилятор указанную преподавателем дроссельную заслонку;
- с помощью светлой кнопки пускателя 8 включить осевой вентилятор 1;
- с помощью комбинированного прибора 7 измерить параметры электрического тока, полученного путем преобразования энергии воздушного потока в электрическую;
- с помощью анемометра 5 произвести необходимые измерения для определения скорости воздушного потока, для этого в течение времени  $t=60-120$  с определить число оборотов анемометра  $n_0$ ;
- выключить лабораторную установку нажав красную кнопки пускателя 8;
- устанавливая на входе в вентилятор различные дроссельные заслонки, повторить измерения. Все данные заносятся в таблицу измерений (табл.9). После окончания опытов выключить вентилятор.

Обработка результатов измерений осуществляется в следующей последовательности:

- вычисляют частоту вращения анемометра  $n=n_0/t$  (об/с);
- по градуировочному графику анемометра определяют скорость движения воздушного потока  $v$ ;
- определяют мощность электрогенератора  $N=UI$ ;

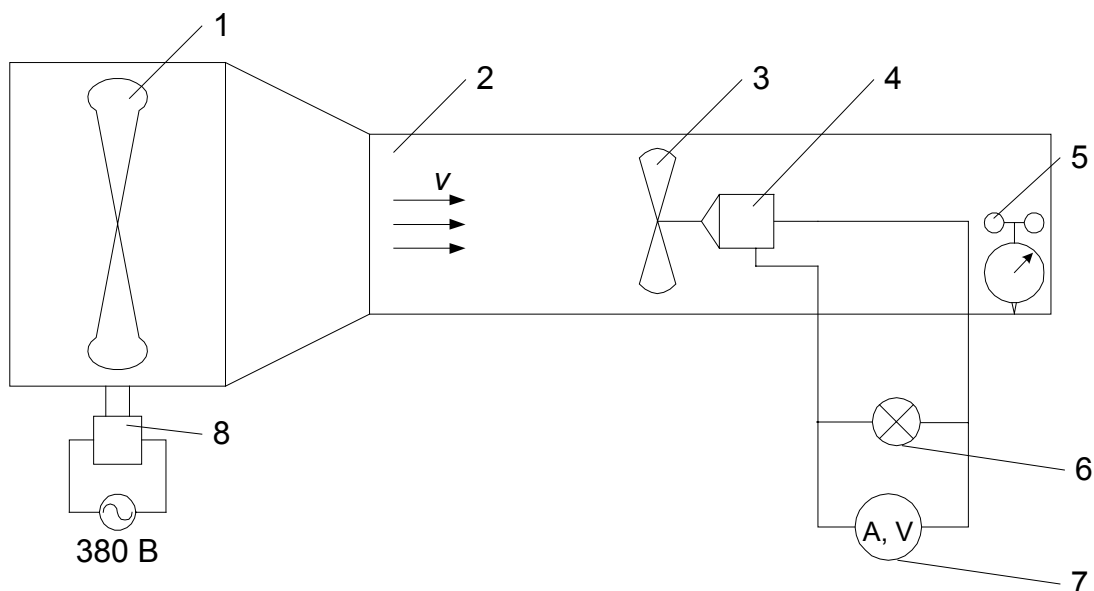


Рис. 18. Схема лабораторной установки: 1 - осевой вентилятор; 2 – аэродинамическая труба; 3 - трехлопастное ветроколесо; 4 - генератор; 5 - анемометр; 6 - нагрузка; 7 – комбинированный прибор для измерения силы тока и напряжения; 8 - пускатель

Таблица 9

## Результаты измерений

Диаметр заслонки $D_3$ , мм	Параметры анемометра			$v$ , м/с	Параметры электриче- ского тока			$C_N$
	$n_0$ , об.	$t$ , с	$n$ , об/с		$U$ , В	$I$ , А	$N$ , Вт	

- определяют мощность набегающего ветрового потока  $N_{ВП} = \rho S v^3 / 2$ ;
- определяют коэффициент мощности ветрового колеса  $C_N = N / N_{ВП}$ .

**Анализ результатов.** На основании проведенных измерений и расчетов необходимо построить график зависимости коэффициента мощности ветрового колеса  $C_N$  от скорости набегающего ветрового потока  $v$ :  $C_N = f(v)$ . На основе его анализа должно быть сделано аргументированное заключение о характере данной связи, а также проанализировано влияние геометрических параметров ветроколеса на величину коэффициента  $C_N$ .

*Контрольные вопросы*

1. Какие устройства называют ветроэнергетическими установками?
2. Какие силы действуют на тело, обтекаемое потоком воздуха?
3. Какими параметрами характеризуется любое ветроколесо?
4. По какой зависимости определяется мощность, развиваемая ветроколесом?
5. По каким основным признакам классифицируются ветроустановки?