

**РАЗРАБОТКА АКСИАЛЬНОГО ГЕНЕРАТОРА  
ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ  
DEVELOPMENT OF AN AXIAL GENERATOR FOR A VERTICAL  
WIND POWER PLANT**

Иванов М.И., магистрант Передовой Инженерной школы Союзного государства в Псковском государственном университете, Псковский государственный университет, г. Псков, ivanov.mi@pskgu.ru

Дмитриев И.С., магистрант Передовой Инженерной школы Союзного государства в Псковском государственном университете, Псковский государственный университет, г. Псков, dmitriev.is@pskgu.ru.

Стрикунов А.В., доцент, к.т.н., директор Института инженерных наук. Псковский государственный университет, г. Псков, strikunov@pskgu.ru

Федоров Д.С., старший преподаватель Передовой Инженерной школы Союзного государства в Псковском государственном университете, Псковский государственный университет, г. Псков. Псковский государственный университет, г. Псков, d.fedorov@pskgu.ru.

Ivanov M.I., Master student of the Advanced Engineering School of the Union State at Pskov State University. Pskov State University, Pskov, ivanov.mi@pskgu.ru

Dmitriev I.S., Master student of the Advanced Engineering School of the Union State at Pskov State University. Pskov State University, Pskov, dmitriev.is@pskgu.ru

Strykunov A.V., Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, director of the Institute of Engineering Sciences. Pskov State University, Pskov, strikunov@pskgu.ru.

Fedorov D.S., senior lecturer of the Advanced Engineering School of the Union State at Pskov State University. Pskov State University, Pskov, d.fedorov@pskgu.ru.

**Аннотация.** Повышенное внимание мирового сообщества к использованию возобновляемых источников генерации электроэнергии для решения прикладных задач приводит к росту модификаций генерирующих устройств.

Одной из таких задач является электроснабжение потребителей в случае аварийного отключения электроэнергии.

Решение данной задачи возможно путем разработки автономных установок на базе различных источников энергии, в частности, ветроустановок. Однако, разработанные и запатентованные на сегодняшний день генераторы для ветроустановок имеют сложную конструкцию, затрудняющую технологические процессы изготовления, ремонта генераторов, что в конечном случае приводит к росту их стоимости и эксплуатационных затрат.

Проанализировав основные запатентованные конструкции электрогенераторов для ВЭУ, было принято решение о проектировании новой конструкции генератора, которая будет отвечать следующим требованиям:

- простота производства;
- конструкция генератора должно использовать ветровой потенциал региона с максимальной эффективностью;
- возможность наращивания мощности путем «пакетной установки».

**Ключевые слова:** аксиальная электрическая машина, возобновляемые источники энергии, малая энергетика, автономные системы электроснабжения.

**Key words:** axial electric machine, renewable energy sources, small-scale power generation, autonomous power supply systems.

**Введение.** Разрабатываемая электрическая машина служит для соединения с ветроколесом и преобразования энергии ветра в электроэнергию. Машина состоит из двух статоров и одного ротора, трех прокладок, двух крышек, катушек и неодимовых магнитов.

**Разработка генератора.** Выбирается трехфазная система, соединенная в звезду. Такой выбор позволит избежать сложностей, вызванных конструкцией генератора, снижает токи в проводниках и повысит линейное напряжение, а также, благодаря равномерному распределению нагрузки по фазам позволит избежать высоких уровней вибраций, вызываемых магнитными силами. В выбранной системе катушки и магниты располагаются так, чтобы каждая фаза опережала следующую фазу на угол 120 градусов.

Необходимо подобрать параметры катушек статора таким образом, чтобы при ожидаемой среднегодовой скорости ветра, электрические параметры не выходили за пределы допустимых параметров подключаемого оборудования.

Для выполнения условия опережения фаз на угол необходимо выбрать необходимое число магнитов и катушек.

Ротор условно разбивается на равные сектора для равномерного размещения магнитов (1):

$$\alpha_m = \frac{360}{n_m}, \quad (1)$$

где  $n_m$  – число магнитов (катушек).

Длина дуги, на которой располагаются магниты с учетом промежутка между магнитами (2):

$$l_m = n_m \cdot (d_m + l_{пр}), \quad (2)$$

где  $d_m$  – диаметр магнитов, мм;  $l_{пр}$  – расстояние промежутка между магнитами, мм.

Радиус окружности, на которой располагаются магниты (3):

$$r_m = \frac{l_m}{2\pi}. \quad (3)$$

Индукцируемое напряжение в одной катушке по закону Фарадея (4):

$$e = \frac{W \cdot B_{ст} \cdot S \cdot \cos a}{\frac{Z \cdot v}{R}}, \quad (4)$$

где  $W$  – количество витков катушки;  $B_{ст}$  – интегральное значение магнитного потока, проходящего через катушку;  $S$  – площадь катушки;  $a$  – угол, под которым магнитный поток проходит через катушку;  $Z$  – быстроходность ветроколеса;  $v$  – скорость ветра;  $R$  – радиус вращающегося вокруг своей оси объекта.

Действующее фазное напряжение на выходе генератора зависит от сопротивления в катушках и от подключаемой нагрузки и определяется по формуле (5):

$$U_{\text{ф.вых}} = \frac{e \cdot n_k}{\sqrt{2}} - I_{\text{нагр}} \cdot r_{\text{ф}}, \quad (5)$$

где  $n_k$  – количество катушек в фазе;  $I_{\text{нагр}}$  – ток нагрузки;  $r_{\text{ф}}$  – сопротивление фазы.

Генератор имеет два статора, поэтому возможная мощность на выходе генератора (6):

$$P_{\text{ген}} = n_{\text{ст}} \cdot n_{\text{ф}} \cdot U_{\text{ф.вых}} \cdot I_{\text{нагр}}, \quad (6)$$

где  $n_{\text{ст}}$  – количество статоров;  $n_{\text{ф}}$  – количество фаз.

Мощность, которую можно забрать из воздушных масс определяется по формуле (7):

$$P_{\text{ветра}} = \frac{1}{2} \cdot \xi \cdot \eta \cdot \rho \cdot S_{\text{в}} \cdot v^3, \quad (7)$$

где  $\xi$  – КПД преобразования энергии ветра;  $\eta$  – КПД генератора;  $\rho$  – плотность воздуха;  $S_{\text{в}}$  – площадь, ометаемая ветром;  $v$  – скорость ветра.

В таблице 1 приведено сравнение теоретической мощности  $P_{\text{ветра}}$ , которую можно отобрать от ветра, генерируемой мощности генератора  $P_{\text{ген}}$  в зависимости от нагрузки и силы ветра. Для этого выбрано вертикальное ветроколесо площадью 2 кв. м.

Таблица 1 – Мощность генератора при изменяемом токе нагрузки и скорости ветра

$V$ , м/с	$I$ , А	$U_{\text{ф.вых}}$	$U_{\text{л}}$ , В	$P_{\text{ген}}$ , Вт	$P_{\text{ветра}}$ , Вт
3	0,1	67,15	116,30	40,29	18,49
	0,5	64,58	111,86	193,75	
	0,9	62,02	107,43	334,93	
5	0,1	112,34	194,57	67,40	85,61
	0,5	109,78	190,14	329,33	
	0,9	107,21	185,7	578,96	
7	0,1	157,53	272,84	94,52	234,91
	0,5	154,97	268,41	464,90	
	0,9	152,41	263,97	822,99	
9	0,1	202,72	351,12	121,63	499,27
	0,5	200,16	346,68	600,47	
	0,9	197,60	342,25	1067,02	
11	0,1	247,91	429,39	148,74	911,55
	0,5	245,35	424,95	736,04	
	0,9	242,79	420,52	1311,04	

На рис. 1 приведена зависимость мощности генератора от тока нагрузки при среднегодовой скорости ветра, равной 3 м/с.

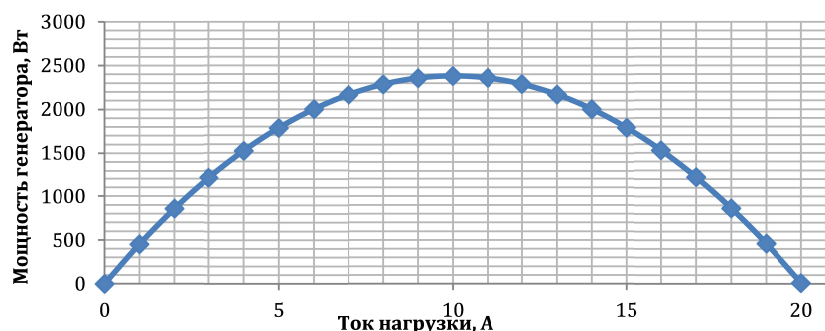


Рис. 1. Зависимость мощности генератора от тока нагрузки при среднегодовой скорости ветра, равной 3 м/с

**Заключение.** Из таблицы 1 видно, что проектируемый генератор способен преобразовать всю энергию ветра, с учетом КПД, поступающую на ветроколесо. Разработана конструкция ветроколеса, обеспечивающая «пакетную установку» т. е. Соединение роторов. Затраты на производство генератора не уступают аналогам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учебник для Вузов. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 592 с.
2. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие / Л.М. Четошникова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. – 69 с.
3. Основы энергетики: учебник / Г.Ф. Быстрицкий. – 4-е изд., стер. – М.: КНО-РУС, 2017. – 350 с.
4. Патент № 2168062, Российская Федерация, МПК F03D 9/00. Ветрогенератор: № 99125638/06: заявл. 07.12.1999: опубл. 27.05.2001 / Д.А. Ивашинцов, А.М. Рыжов, М.В. Кузнецов, В.Н. Крывой, Н.В. Зуев.
5. 19 Патент № 2710902, Российская Федерация, МПК H02K 11/21, H02K 11/25, H02K 9/22. Бескорпусная синхронная вращающаяся электрическая машина: № 2018132509: заявл. 12.09.2018: опубл. 14.01.2020 / В.А. Кузнецов, А.В. Бормотов. – 16 с.
6. 20 Патент № 2720491, Российская Федерация, МПК H02K 1/27, H02K 1/17, H02K 21/12, H02K 3/46. Электрическая машина с магнитным потоком: № 2016134046: заявл. 30.05.2014: опубл. 30.04.2020 / Клонтц Кейт, Ли Хаодонг. – 28 с.
7. Безруких П.П. справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. – Москва: ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.

УДК 004.62

### ИНТЕРНЕТ КАК НИША ДЛЯ ПРОДВИЖЕНИЯ INTERNET AS A NICHE FOR PROMOTION

Буткевичус Е.С., Карпович В.Ф., научный руководитель, к.э.н., доцент,  
Белорусский национальный технический университет, г. Минск,  
betsfrank138@gmail.com

Y. Butkevichus, V. Karpovich, Supervisor, Candidate of Economics, Associate Professor,  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus, betsfrank138@gmail.com

**Аннотация.** Пандемия серьезно изменила привычное поведение покупателей. В настоящее время онлайн-продажи активно растут. Интернет торговля обладает огром-