

ВАРИАНТ СОЗДАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГОУСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С УЛУЧШЕННЫМИ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Червинский В.Л., Любчик О.А.

Белорусский национальный технический университет

Малые ветровые турбины – это турбины с мощностью генератора ориентировочно до 50 кВт, которые имеют хвостовую лопасть для ориентации по ветру.

Отчеты Международного энергетического агентства прогнозируют значительное расширение рынка маломощных ветряных турбин период до 2020 года при совокупном среднегодовом темпе роста 29,7 %.

Основными факторами, сдерживающими развитие малой ветроэнергетики, являются дороговизна оборудования, высокие стартовые скорости ветра предлагаемых ВЭУ. Решением могут стать импортозамещение с закономерным снижением цены, оптимизация конструкции ВЭУ для условий республики. Рост числа использованных малых ВЭУ приведет к популяризации самой идеи возобновляемой энергетики и ВЭУ в частности.

Небольшая ветровая турбина обычно состоит из следующего минимального набора компонентов:

- ветроколеса с определенным количеством лопастей;
- электрического генератора;
- горизонтальноосевые ветротурбины, как правило, оснащены еще и хвостовой лопастью для поворота ветроколеса против ветра.

Генератор – это центральная часть ветряной турбины.

Нам требуется низкооборотный электрический генератор, ось которого напрямую соединена с осью ротора, так как применение повышающих редукторов существенно уменьшает КПД, усложняет конструкцию и снижает надежность.

В качестве генератора был разработан генератор на постоянных магнитах.

Медные обмотки без железного сердечника (воздушный сердечник) позволяют снизить тормозной момент при запуске ветротурбины.

В данной технологической цепочке проектировалась ВЭУ со следующими исходными параметрами: номинальная мощность – 300 Вт, размеры постоянных магнитов – 58 x 75 x 12 мм. Диаметр ротора, исходя из этих параметров, получился равным 260 мм. Толщина стали ротора 3мм. Расстояние между парами магнитов на разных роторах – 28 мм. Вес двух собранных роторов со ступицей и магнитами – 6,3 кг.



а



б

Рис. 1 - Вид элементов:

а - вид двух собранных роторов с постоянными магнитами

б - вид большой и малой медных обмоток

Были произведены исследования двух обмоток из медной проволоки.

Для выбора оптимального варианта обмоток был проведен ряд опытов холостого хода и короткого замыкания. При вращении вала генератора были измерены напряжение (в опыте холостого хода) и сила тока (в опыте короткого замыкания). Основные характеристики представлены в таблицах и результаты визуализированы на графиках.

Таблица 1 – Характеристики малой обмотки

Малая обмотка			
Площадь окна	$S_{\text{окна}}$	см ²	8,5
Площадь поперечного сечения проволоки	$S_{\text{проволоки}}$	мм ²	0,75
Число витков	w	шт.	150

Таблица 2 – Характеристики большой обмотки

Большая обмотка			
Площадь окна	$S_{\text{окна}}$	см ²	22
Площадь поперечного сечения проволоки	$S_{\text{проволоки}}$	мм ²	1,5
Число витков	w	шт.	80

Из графика на рисунке 2 видно, что на проектное напряжение в 2,5 В генератор выходит при скорости вращения, равной 480 об/мин, что которая является достаточно большой. Для получения этой зависимости была создана экспериментальная установка, состоящая из ротора с двумя парами постоянных магнитов и статора с медной обмоткой, состоящей из 80 витков медного провода, сечением 1,5 кв.мм. Таким образом, для достижения напряжения в 2,5 В необходимо около 960 пересечений магнитного поля для катушки в секунду. Эта цифра является отправной для проектирования ротора ВЭУ, который мог бы при 100-140 об/мин развивать проектное напряжение в 14-15 В.

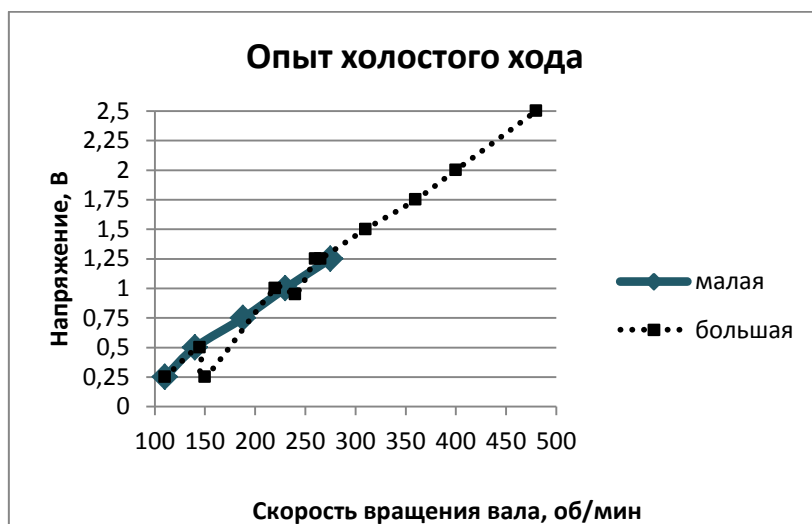


Рис. 2 – Зависимость напряжения на одной обмотке ветрогенератора от числа оборотов ветроколеса

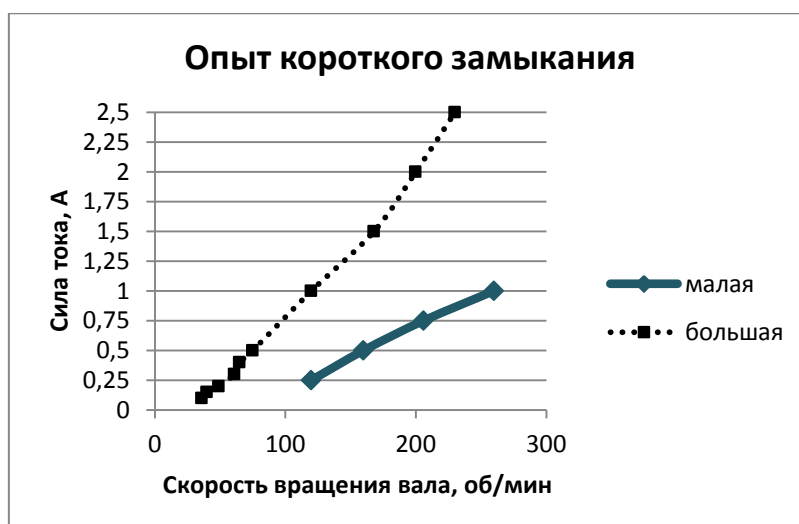


Рис. 3 – Зависимость силы тока на одной обмотке ветрогенератора от числа оборотов ветроколеса

На статоре запланировано размещение 9 медных обмоток секторной формы изготовленных из медной проволоки сечением $1,5 \text{ мм}^2$. Такое сечение выдерживает длительно протекающий ток силой 23 А, что при напряжении 14 В дает максимальную мощность 322 Вт. Напряжение генератора равно 14 В выбрано исходя из возможности обеспечения достаточного зарядного тока аккумуляторной батареи напряжением 12 В.

При проектировании ветрогенератора было исследовано два вида роторов: с двумя и с тремя лопастями. Для безредукторной системы важны более высокие скорости вращения ветроколеса. Лучшие показатели, в смысле упрощения изготовления, балансировки и достижения более высоких скоростей вращения, были у модели с двумя лопастями. Риск возникновения более высокого уровня шума касается, скорее, установок большой мощности, где звуковое влияние на окружение со стороны оборудования велико. В результате для дальнейшего проектирования выбор был сделан в сторону двухлопастного агрегата.

Хвост ветрогенератора ориентирует турбину на ветер. Когда ветер меняет направление, он оказывает давление на одну из сторон хвостовой лопасти и ориентирует турбину к ветру. В моделях со складывающимся хвостом, хвост также участвует в защите турбины от сильных ветров. Эта система пассивная, так как приводится в действие силой ветра.

Основная идея заключается в повороте ветроколеса от ветра при достижении критического значения скорости ветра. Конструктивно наиболее простым и более надежным способом может стать возврат в исходное положение под действием силы тяжести, действующей на хвостовую лопасть. Для этого ось поворота хвоста делается не параллельной вертикальной опорной оси, а выполняется под небольшим углом. В результате при сильном ветре хвостовая часть не просто поворачивается, но еще и поднимается вверх. При ослабевании ветра хвост самостоятельно опускается и поворачивается, обеспечивая возврат ветроколеса в исходное рабочее положение.

На хвостовую часть действует два момента: со стороны силы ветра M_B и со стороны силы тяжести M_T . Эти моменты сил вращают хвостовую часть относительно оси, на которой закреплен хвост к основной вертикальной оси. Система ветрогенератора будет находиться в равновесии при равенстве этих моментов. При массе хвостовой части 0,48 кг система защиты начнет работать при достижении ветром скорости 6 м/с. Для повышения предельной скорости нормального режима следует увеличить массу хвоста.

Данное мероприятие относится к сфере энергосберегающих мероприятий, проводимых на энергоисточниках. Под базовым вариантом будем понимать энергоснабжение дома от районных линий электропередач по действующим тарифам. Вариант с проектом включает в себя получение электрической энергии от ветроустановки.

*Таблица 3 – Показатели эффективности проекта
при потреблении электроэнергии владельцем ветроустановки*

Расчетная величина	Результат расчета
Простой срок окупаемости ($T_{п}$), лет	2,2 и менее 10 лет
Динамический срок окупаемости ($T_{д}$), лет	2,6 и равен 15 лет
Внутренняя норма доходности ($E_{вн}$)	больше 10%
Индекс прибыльности ($\Pi_{п}$)	1,7 и более 1

*Таблица 4 – Показатели эффективности проекта
при продаже электроэнергии в сеть*

Расчетная величина	Результат расчета
Простой срок окупаемости ($T_{п}$), лет	1,6 и менее 10 лет
Динамический срок окупаемости ($T_{д}$), лет	1,7 и равен 15 лет
Внутренняя норма доходности ($E_{вн}$)	больше 10%
Индекс прибыльности ($\Pi_{п}$)	2,4 и более 1

Выводы

Разработана модель ветроэнергоустановки малой мощности с облегченным двулопастным ротором; с генератором прямого привода на постоянных магнитах с воздушными сердечниками обмоток; пассивной системой защиты от высоких скоростей ветра; пониженной стартовой скоростью ветра. Получен малый срок окупаемости мероприятия, что говорит об эффективности применения разработки.

Данная конструкция показала хорошие показатели, будет использоваться для снабжения частного дома электроэнергией и может служить образцом для создания аналогичных ветроагрегатов и моделью для дальнейшего усовершенствования ветроэнергоустановок малой мощности.