

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
КЫРГЫЗСКО-УЗБЕКСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи
УДК 621.311.24

Кириллов Василий Владимирович

**РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ БИРОТОРНОЙ
ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Специальность 05.14.08 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2004

Работа выполнена в Институте автоматки Национальной Академии Наук Кыргызской Республики

Научный руководитель: доктор технических наук, Член-корреспондент Инженерной Академии КР Обозов А.Дж.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Захидов Р.А.
кандидат технических наук, доцент, член-корреспондент ИА Кадыров И.Ш.

Ведущая организация: Кыргызско-Российский (Славянский) университет

Защита состоится "14" мая 2004 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета по защите диссертации К05.02-204 на соискание ученой степени кандидата наук при Кыргызско-Узбекском Университете Кыргызской Республики по адресу: 714003 г. Ош, ул. Исанова, 79.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызско-Узбекского Университета Кыргызской Республики.

Автореферат разослан "4" апреля 2004 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета,
д.т.н., профессор

Исманжанов А.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В последние годы все большее внимание привлекают возможности использования экологически чистых возобновляемых источников энергии. Их естественная возобновляемость, повсеместность и огромный энергетический потенциал делают их весьма привлекательными и перспективными. Ветровая энергия является одним из наиболее перспективных видов возобновляемых источников энергии.

Использование энергии ветра позволяет осуществлять подъем воды, аэрацию водоемов, мелиорацию посевных площадей, опреснение воды, а наиболее актуальным является обеспечение электроэнергией автономных потребителей, удаленных от централизованной сети и расположенных в отдаленных сельских горных районах.

Из многообразия модификаций ветроустановок наиболее широкое распространение получили малоэнергоемкие ВЭУ предназначенные для электроснабжения потребителей расположенных в отдаленных децентрализованных районах.

Анализ работ и тенденции развития ветроэнергетики для автономных малоэнергоемких потребителей показывают, что разработано множество конструкций ВЭУ. Так разработка и создание малоэнергоемких ВЭУ связано с решением ряда сложных как научных, так и практических задач. Это необходимость установления рациональных режимов работы установки при малых скоростях ветра, поиск и разработка конструкции генератора, стабильно работающего в условиях малых ветров, разработка методов расчета эффективности ВЭУ с учетом динамического взаимодействия ветра с ветроколесом, моделирование этих процессов. Поэтому разработка новых типов ВЭУ, имеющих высокую эффективность, хорошую работоспособность и достаточную надежность при энергоснабжении малоэнергоемких потребителей является актуальной и перспективной задачей.

Связь темы диссертации с крупными научными программами. Работа выполнялась в рамках плановых научно-исследовательских работ, утвержденных Президиумом Национальной Академии наук Кыргызской Республики в рамках проблем 1.9.1. «Фундаментальные межотраслевые проблемы энергосберегающей политики» раздел 1.9.1.7. «Научные проблемы энергетических ресурсов» по темам «Научные основы синтеза комбинированных солнечно-ветровых комплексов для электроснабжения малоэнергоемких объектов в горных районах» (1991-1996 гг.), «Разработки теории, методов расчета и конструирование комбинированных автономных систем энергоснабжения на основе ВИЭ» (1996-2000 гг.).

Цель и задачи исследования. Разработка и создание малогабаритной бироторной ВЭУ для электроснабжения автономных маломощных потребителей.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- анализ состояния ветряного потенциала и его распределение по территориальным зонам республики;
- классификация ветроустановок и анализ тенденции развития их конструктивных параметров;
- синтез принципиально новой схемы бироторной ветроэнергетической установки (БВЭУ);
- разработка модели бироторной ветроустановки, методов ее расчета и конструирования;
- создание экспериментально-промышленного образца действующей установ-

ки и ее экспериментальные исследования;

- практическое использование и внедрение результатов работ при создании солнечно-ветрового комплекса для электроснабжения автономного жилого дом-вагона.

Научная новизна. Новыми результатами исследования в диссертации представляются:

- впервые дана оценка энергетического потенциала ветрового потока приземного слоя применительно к использованию ветроустановками в горноклиматических условиях Кыргызской Республики;
- теоретически доказано, что диапазон выходной мощности бироторных ветроэнергетических установок находится в пределах $1,185P_0 \geq P \geq 0,64P_0$ и обоснована их перспективность использования для энергоснабжения маломощных объектов;
- вскрыты объективные закономерности изменения эффективности работы БВЭУ при скоростях ветрового потока 2-6 м/с;
- предложена классификация ветроэнергетических установок, дополненная новым классом бироторных ветроустановок.

Практическая значимость полученных результатов.

- разработанные методы расчета позволяют определять технические и конструктивные параметры нового класса бироторных ветромашин;
- результаты исследований использованы при создании действующего образца БВЭУ;
- разработанная конструкторская документация бироторной ветроустановки для освоения серийного производства передана АО «Ореми»;
- БВЭУ внедрена и нашла практическое применение при создании автономного жилого дом-вагона.

Экономическая значимость полученных результатов. Экономический эффект от применения БВЭУ для электроснабжения автономных потребителей более чем в два раза рентабельнее использования традиционных дизельных электростанций.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

- оценка и определение ветроэнергетического запаса приземного слоя Кыргызской Республики для целей энергоснабжения автономного потребителя;
- физическая модель и определение диапазона выходной мощности бироторной ВЭУ;
- объективные закономерности изменения эффективности работы БВЭУ при малых скоростях ветропотока;
- создание бироторной автономной ВЭУ нового класса ветромашин для малых скоростей ветропотока;
- разработка методики экспериментальных исследований бироторных ветромашин.

Личный вклад соискателя.

- получены два патента на ветроустановки нового класса;
- по статистическим данным метеостанций определен ветровой потенциал приземного слоя республики;
- синтезирована физическая модель бироторной ВЭУ, разработан и создан действующий образец;

- разработана методика экспериментальных исследований;
- обоснован диапазон выходной мощности бироторной ВЭУ, вскрыты объективные закономерности прохождения малого воздушного потока через два ветроколеса;
- разработанная конструкторская документация передана АО «Ореми» для освоения промышленного производства.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы доложены на республиканских научно-практических конференциях: «Математическое моделирование и проблемы автоматизации» Фрунзе 1990 г.; «Состояние и перспективы использования нетрадиционных источников энергии» г. Севастополь 1990 г.; научно-технической конференции «Нетрадиционные источники энергии – 93» пос. Дивноморск 1993 г.; на научных семинарах секции Ученого совета Института автоматики НАН КР г. Бишкек 1993-1999 гг.; на международной конференции «Проблемы управления и информатики» г. Бишкек 2000 г.

Опубликованность результатов. По теме диссертации опубликовано 17 работ, в том числе два Патента Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключений, списка литературы из 100 наименований. Объем работы составляет 133 страницы машинописного текста, в том числе 33 иллюстрации, 13 таблиц и два приложения.

В первой главе сделан анализ ветроэнергетического потенциала приземного слоя различных регионов с малым ветровым потенциалом. Изучены и определены места расположения потенциальных маломощных потребителей. Анализ многолетних статистических замеров, проведенных метеорологическими станциями, позволил установить потенциальный запас ветровой энергии, который оценивается в $49,2 \cdot 10^5$ т.у.т. Выявлено, что на 60% территории республики ветроэнергетический потенциал невысок и диапазон скоростей ветра находится в пределах 2-6 м/с. На рис.1 приведены среднегодовые значения максимальных и минимальных скоростей ветра в зависимости от различных географических зон.

Гистограмма указывает на низкую среднегодовую скорость ветропотока 2–4,5 м/с в зонах 1–5, где плотность потенциального потребителя более высока. Регионы, не показанные на гистограмме, имеют скорости ветра 9 м/с и более. В этих зонах практически отсутствуют малоэнергоёмкие потребители.

В результате анализа и оценки потенциала приземного слоя сделан вывод о перспективности и целесообразности использования автономных ВЭУ для электроснабжения потребителей, расположенных в сельской местности и в труднодоступных горных районах, а также маломощных потребителей расположенных вне зоны централизованной сети.

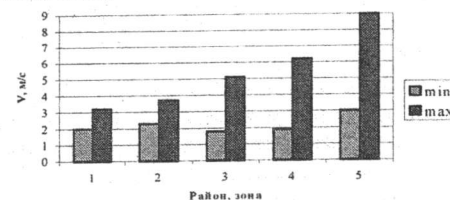


Рис.1. Среднегодовые скорости ветра для географических зон Кыргызской Республики.

Основными потребителями являются группы людей занятых в животноводстве, пчеловодстве и т.д. В основном энергия используется для бытовых нужд. В этих условиях перспективным представляется использование небольших переносных ВЭУ, которые эффективно функционировали бы при невысоких скоростях ветра. Анализ существующих маломощных ветроэнергетических установок и изучение их технико-экономических параметров показал, что имеется большое разнообразие конструкций ВЭУ. Однако значительная часть конструкций этих ВЭУ не в полной мере удовлетворяет предъявляемым требованиям малоэнергоемкого потребителя как: малые габаритные размеры, небольшой вес, компактность и эффективная работа при небольших скоростях ветра.

Как известно такие параметры как габариты ветроколеса скорость ветрового потока, выходная мощность генератора жестко взаимосвязаны. Обеспечение необходимой мощности ВЭУ при меньших скоростях ветрового потока, требует соответственного увеличения диаметра рабочего колеса, что приводит к увеличению габаритных размеров. Использование же редукторов снижает КПД, надежность машины и приводит к увеличению веса. Поиск технических решений, позволяющих избежать этих недостатков, привел к необходимости разработки и созданию принципиально новой бироторной ветроэнергетической установки (БВЭУ). В результате поиска различных решений такой ВЭУ была найдена конструкция БВЭУ, новизна которой подтверждена получением патента Российской Федерации. Конструкция бироторной ветроустановки явилась промежуточным звеном между динамическими и статическими преобразователями энергии ветра. Появление БВЭУ позволило расширить существующую классификацию с учетом нового типа ветроустановки (рис.2).



Рис.2. Классификация ветроустановок.

Вторая глава посвящена синтезу параметров и моделированию процессов преобразования энергии. Предложен новый подход в обосновании параметров ветроустановки с роторами. Обычно при определении мощностных и силовых характеристик взаимодействия ветрового потока с ветроколесом используется теория реального колеса Г.Х. Сабинина. Для определения мощности ветроколеса классическая теория использует теорему импульсов и закон сохранения энергии.

Следует отметить, что классическая теория не рассматривает поведение воздушного потока после прохождения им сечения A_2 (рис.3) и не позволяет определить осевых координат сечений A_0 и A_2 относительно A_1 , так же как и сечения за колесом, в котором давление и скорость возмущенного потока становятся равными начальным значениям.

В работе Твайделла отмечается, что эти характеристики могут быть определены лишь экспериментально. Вместе с тем изучение картины взаимодействия потока с ветроколесом показывает, что для общей мощности ветродвигателя БВЭУ большое значение может иметь правильный выбор координаты размещения второго ветроколеса. Рассмотрим, какие данные могут быть получены из классической теории, применительно к расчету параметров БВЭУ.

Из классической теории работы ветрогенератора известно, что величина преобразуемой мощности ветра может быть определена как:

$$P_{ВЭУ} = \frac{1}{2} \rho \cdot A_{ВЭУ} \cdot V_0^3 \cdot C_p \quad (1)$$

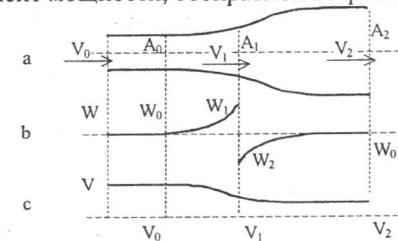
где $P_{ВЭУ}$ — мощность, получаемая от ветра;

ρ — плотность ветропотока;

$A_{ВЭУ}$ — площадь поперечного сечения, ометаемого ветроколесом;

V_0 — скорость невозмущенного ветропотока;

C_p — коэффициент мощности, отбираемой ветроколесом от ветропотока.



A_0 — сечение невозмущенного потока; A_1 — сечение, ометаемое ветроколесом; A_2 — сечение потока с наименьшей скоростью

Рис.3. Расчетная схема взаимодействия воздушного потока с ветроколесом.

Обратим внимание на то, что C_p зависит не только от аэродинамического совершенства ветроколеса, но в еще большей степени от коэффициента отбора мощности, т.е. от отношения удельной энергии невозмущенного потока перед ветроколесом к удельной энергии отработанного потока за колесом. В свою очередь, C_p ВЭУ пропорционален разности скоростей невозмущенного ветропотока перед колесом и ветрового потока за ним. Чем больше эта разность, тем выше эффективность ВЭУ. В этом случае доля полезной энергии отработанного ветропотока составляет незначительную часть исходной энергии рабочего агента. Поэтому отвод последнего от ВЭУ представляет сложности в отличие от других преобразователей энергии, например, ГЭС, где агент движется в замкнутом пространстве. Для интенсивного отвода отработанного ветропотока и предотвращения эффекта "закрывания" необходимо, чтобы агент содержал значительную часть своего первоначального запаса энергии.

Согласно классической расчетной схемы использования энергии ветра в ВЭУ, скорость невозмущенного потока V_0 должна быть больше скорости отработанного потока V_1 , а ширина невозмущенного потока δ_0 должна быть меньше ширины отработанного δ_1 настолько, чтобы:

$$V_0 \cdot \delta_0 \approx V_1 \cdot \delta_1 \quad (2)$$

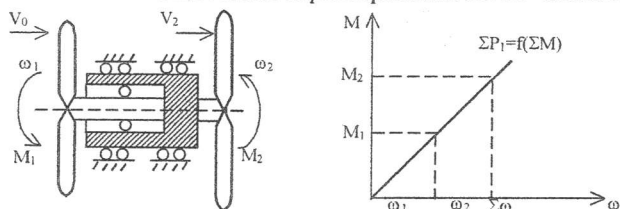
Но в реальных условиях это неосуществимо, т.к. поток за ветроколесом начинает взаимодействовать с другим невозмущенным потоком, имеющим большую энергию и существенно влияющим на переформирование характера движе-

ния потока за колесом. В результате отработанный воздушный поток не может "раздвинуть" невозмущенный поток большего энергипотенциала для беспрепятственного перемещения с уменьшенными скоростями в пространстве за колесом.

Предполагается, что работоспособность ВЭУ обеспечивается благодаря эжекционному эффекту на границе раздела более скоростного невозмущенного потока по периметру ветроколеса с отработанным, прошедшим через ветроколесо. Мощность ветроустановки есть функция многопараметрическая. Мощность генератора может быть представлена как величина, зависящая от частоты пересечения обмотки генератора магнитным полем. В данном случае два ветроколеса работают на один генератор, относительная угловая скорость ω увеличивается $|\omega_1|+|\omega_2|$ при значении скорости воздушного потока $V_0 = \text{const}$. Следовательно, можно ожидать теоретически двойное увеличение мощности ветроустановки за счет сложения моментов M_1 и M_2 :

$$\sum M = M_1 + M_2 \quad (3.)$$

Расчетная схема и мощностная характеристика БВЭУ показаны на рис.4.



а) расчетная схема бироторной ветроустановки;
б) мощностная характеристика БВЭУ.

Рис.4. Расчетная схема бироторной ветроэнергетической установки.

Как видно из схемы, при прочих равных условиях в случае работы только ветроколеса ротора I или ветроколеса ротора II, выходные мощности генератора при одинаковых угловых скоростях $\omega_1 = \omega_2 = \omega_0$ равны между собой. В случае совместной работы ротора I и ротора II при их противоположном вращении с теми же угловыми скоростями относительная скорость увеличится в два раза, что приводит к увеличению выходной мощности БВЭУ.

Рассматривая расчетную схему взаимодействия ветрового потока с БВЭУ можно записать суммарную мощность в виде:

$$\sum P = \rho \cdot V_0^3 \cdot \frac{(A_1 + A_2)}{2} \quad (4.)$$

То есть, P есть функция следующих параметров:

$$P = f(A_1, A_2, V_0, V_1, Cp) \quad (5.)$$

где A_1 – площадь сечения, ометаемого первым ветроколесом;

A_2 – площадь сечения, ометаемого вторым ветроколесом;

V_0 – скорость набегающего ветрового потока;

V_1 – скорость ветрового потока, действующего на второе ветроколесо;

Cp – коэффициент отбора мощности.

При варианте компоновки ветродвигателя, когда второе колесо находится за пределами возмущений, вызванных первым колесом, можно записать:

$$P = P_0(Cp_1 + Cp_2) \quad (6.)$$

где Cp_1 и Cp_2 – коэффициенты невозмущенного потока, набегающего, соответ-

ственно на первое и второе колесо;

P_0 – мощность невозмущенного потока.

Полагая, что площади, ометаемые обоими ветроколесами равны ($A_1 = A_2$), а P_0 :

$$P_0 = \left(\frac{\rho \cdot A_1 \cdot V_0^3}{2} \right) \quad (7.)$$

И учитывая, что величина Cp достигает своей максимальной величины равной 0,59 при коэффициенте торможения $\alpha = 0,3$ получим:

$$P_{\max} \approx 1,185 P_0 \quad (8.)$$

В случае, когда второе ветроколесо размещено в сечении A_2 , формула (6.) может быть записана следующим образом:

$$P = \frac{\rho \cdot A_1 \cdot V_0^3}{2} \cdot \left(Cp_1 + Cp_2 \frac{V_2^3}{V_0^3} \right) \quad (9.)$$

где V_2 – скорость потока, набегающего на второе ветроколесо.

В полученной формуле выражение в скобках можно рассматривать как общий коэффициент мощности Cp БВЭУ, который может быть представлен в виде:

$$Cp = 4\alpha'(1-\alpha')^2 + (1-2\alpha')^3 Cp_0 \quad (10.)$$

где α' – коэффициент торможения первого колеса.

Коэффициент отбора мощности Cp достигает экстремального значения при $\alpha' = 0,2$. Подставляя в (2.28) наибольшее значение $Cp_0 = 16/27$, получим $Cp = 0,64$.

Тогда:

$$P = P_0 \cdot 0,64 \quad (11.)$$

Аналогичное решение было получено профессором Твайделлом.

Таким образом, можно полагать, что теоретическая мощность БВЭУ любого типа лежит в пределах $1,185 P_0 > P_{\text{БВЭУ}} \geq 0,64 P_0$ при значениях коэффициента торможения $0,33 \geq \alpha \geq 0,2$.

Большое значение при расчете параметров БВЭУ имеет выбор соотношения диаметров ветроколес. Для оценки взаимного влияния ветроколес и их зависимости от коэффициента торможения α . Получены зависимости для расчетов сечений ветровых потоков A_0 и A_2 относительно A_1 для различных значений α . При этом было использовано известное уравнение неразрывности потока и принято допущение, что при рассматриваемых малых скоростях ветра $\rho_0 = \rho_2$. С учетом этого получены выражения для определения A_0 и A_2 .

$$A_0 = A_1 \cdot (1-\alpha); \quad A_2 = \frac{A_1 \cdot (1-\alpha)}{(1-2\alpha)} \quad (12.)$$

На рис.5 представлены в безразмерном виде зависимости сечений A_0 и A_2 от коэффициента торможения α , из которых следует, что влияние степени отбора мощности потока ветроколесом незначительно влияет на изменение сечения потока перед колесом и весьма существенно – за колесом.

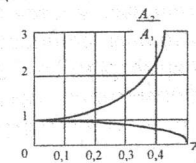


Рис.5. Зависимости площадей сечения от коэффициента торможения.

На основе полученных соотношений и принятых технических решений был осуществлен выбор геометрических размеров ветроколес, синтезированы параметры генератора, определена оптимальная суммарная мощность БВЭУ. Принято компоновочное решение установки, обоснованы его параметры, рассчитаны энергетические и геометрические параметры конструкции.

Третья глава посвящена разработке, описанию и экспериментальному исследованию опытного образца БВЭУ. Общий вид опытного образца бироторной ветроустановки приведен на рис.6.

Бироторная ВЭУ состоит: 1 – бироторный генератор; 2 – вал ротора I; 3 – вал ротора II; 4 – ветроколесо ротора I; 5 – ветроколесо ротора II; 6 – дополнительные подшипниковые опоры; 7 – токосъемные кольца; 8 – щеточный токосъемный механизм; 9 – плата; 10 – обойма опорная; 11 – основание; 12 – обойма направляющая; 13 – ось центральная; 14 – флюгер; 15 – станина.

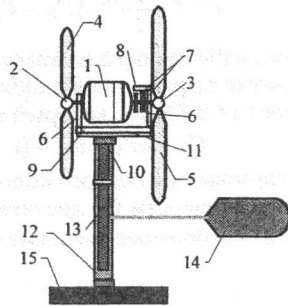
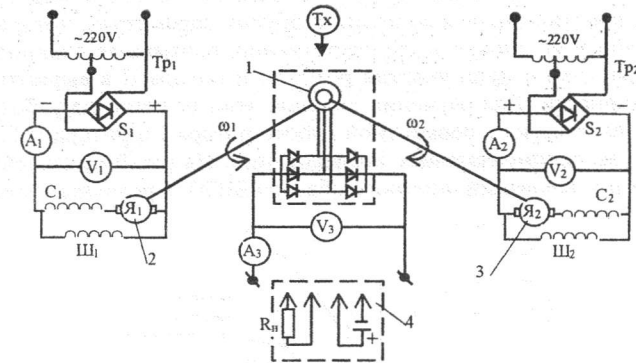


Рис.6. Общий вид опытного образца БВЭУ

Установка работает следующим образом. Вращательный момент от ветроколес 4 и 5 через валы 2 и 3 передается ротору I и ротору II генератора 1. При этом вращение роторов осуществляется относительно друг друга в разные стороны, что обеспечивает увеличение частоты пересечения магнитным полем электрической обмотки генератора. При помощи выпрямительного моста, встроенного в генератор, полученное переменное напряжение поступает на кольца 7 и снимается щетками 8. При изменении скорости ветра установка посредством флюгера 14 ориентируется на ветровой поток.

При проведении экспериментальных исследований решалась задача экспериментальной проверки работоспособности созданного действующего образца бироторного электрогенератора при противоположном вращении роторов и установлении его выходной мощности в зависимости от частоты вращения. Для этого был изготовлен экспериментальный стенд, электрическая схема которого приведена на рис.7.

Стенд состоит из бироторного электрогенератора 1, двух приводных электродвигателей 2 и 3, смонтированных на станине, регулирующих автотрансформаторов Tr_1 и Tr_2 и выпрямительных мостов S_1 и S_2 . Тахометром Tx измерялась частота вращения роторов. Выходная мощность электрогенератора определялась вольтметрами V_1 , V_2 , V_3 и амперметрами A_1 , A_2 , A_3 . Питание электродвигателей осуществлялось от автотрансформаторов, посредством которых регулировалась скорость вращения бироторного электрогенератора от нуля до номинального значения.



1 – электрогенератор; 2 – приводной электродвигатель ротора I; 3 – приводной электродвигатель ротора II; 4 – нагрузка; Tr_1 , Tr_2 – регулирующие трансформаторы; S_1 , S_2 – выпрямительные мосты; Tx – тахометр; V_1 , V_2 , V_3 – вольтметры; A_1 , A_2 , A_3 – амперметры.

Рис.7. Электрическая схема экспериментального стенда.

Экспериментальные исследования проводились при раздельном вращении роторов и их совместной работе. При жестко заторможенном роторе I ротор II приводился во вращение с шагом 50 об/мин от 50 до 600 об/мин. Затем жестко стопорился ротор II и в том же интервале и с тем же шагом регулирования приводился в движение ротор I. На следующем этапе экспериментальных исследований во вращение приводились оба ротора при тех же задаваемых параметрах. На основании полученных результатов экспериментальных исследований построены графики выходной мощности генератора в зависимости от частоты вращения роторов (рис.8).

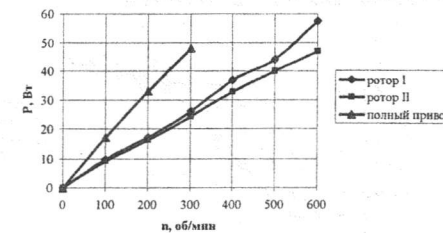


Рис.8. График выходного напряжения бироторного генератора.

Как видно из полученных диаграмм («ротор I», «ротор II») выходные мощности генератора при раздельной работе роторов незначительно отличаются друг от друга: $P_1=125$ Вт, $P_2=120$ Вт, номинальная величина выходной мощности традиционного ветрогенератора с угловой скоростью $\omega_0=600$ об/мин составляет $P_0=250$ Вт. Для случая одновременного вращения ротора I и ротора II в противоположных направлениях («полный привод») выходная мощность резко возрастает, при чем при малой величине угловой скорости $\omega_0=300$ об/мин суммарная мощность достигает величины $P=240-250$ Вт, т.е. происходит практически удвоение выходной мощности.

При реальной работе БВЭУ имеются различия в ометаемой площади, в массах роторов, конструктивных решениях и других параметрах, которые вносят коррективы в работу установки и, соответственно, оказывают влияние на ее выходные характеристики и доли участия ротора I и ротора II в выработке суммарной выходной мощности. Для изучения влияния этих величин на работу БВЭУ и определения доли участия в совместной работе ротора I и ротора II была проведена вторая серия экспериментальных исследований. На рис.9 приведены: результаты проведенных исследований опытного образца БВЭУ в реальных условиях.

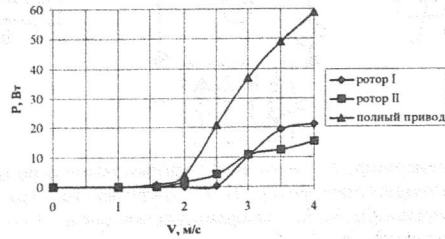


Рис.9. Зависимость выходной мощности бироторной ВЭУ от скорости ветра.

Кривые роторов I и II получены экспериментально в реальных условиях при их раздельной работе. Кривая ротора II показывает, что его выходная мощность на 1/3 меньше выходной мощности ротора I. Совместная работа обоих ветроколес («полный привод») показывает, что выходная мощность генератора выше, чем суммарная мощность раздельно работающих роторов.

Результаты экспериментальных исследований показали эффективность работы БВЭУ при малых скоростях ветра.

Влияние количества лопастей на выходную мощность генератора представлены на рис.10. Кривые показывают зависимости выходной мощности от количества лопастей, соответственно для 6 и 12 лопастей.

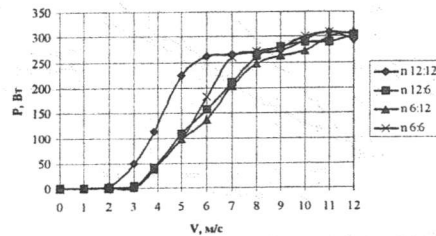


Рис.10. Изменение выходной мощности генератора с различным числом лопастей при полном приводе.

При взаимодействии ветропотока с различным количеством лопастей вырабатывается различная выходная мощность. Кривые при $n=12$ показывают эффективную работу БВЭУ в диапазоне от 2 до 6 м/с. Ветроколесам с числом лопастей $n=6$ необходим более высокий скоростной ветропоток. Как видно из анализа полученных результатов при уменьшении количества лопастей ветроколес выходная мощность генератора падает. Снижение количества лопастей в два раза приводит примерно к такому же падению выходной мощности генератора.

Все это говорит о том, что с увеличением числа лопастей в условиях малых скоростей ветра уменьшается угловая скорость ветродвигателя и как следствие происходит падение выходной мощности генератора. Исследования также показали, что в бироторных ветроустановках при незначительном изменении межопорного расстояния между ветроколесами изменение выходной мощности практически не происходит.

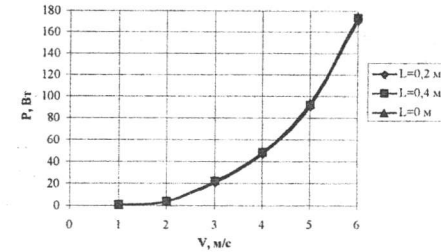


Рис.11. Влияние межосевого расстояния на выходную мощность БВЭУ.

На рис.11 видно, что при изменении межопорного расстояния между ветроколесами в диапазоне $l_1 < l < l_2$ ($l_1=200$ мм, $l_2=400$ мм) величина суммарной выходной мощности генератора не меняется.

В четвертой главе на основе синтезированной принципиальной схемы БВЭУ и его нового технического решения, разработанных методов расчета созданного действующего образца и выбранных параметров была осуществлена практическая реализация полученных результатов при создании системы питания высокогорной ретранслятора и передвижного солнечного дом вагона. При разработке этих комплексов особое внимание было уделено обеспечению высокой надежности электроснабжения, решены вопросы согласования выходных электрических параметров комплекса с входными возможностями приборов и оборудования; найдены рациональные режимы работы источников питания с аккумуляторными батареями при малых зарядных токах.

На рис.12 приведена структурная схема электроснабжения автономного потребителя.

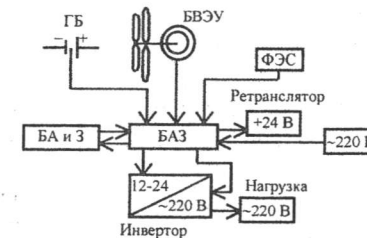


Рис.12. Структурная схема электропитания солнечно-ветрового комплекса.

В комплект комплекса СВК входят БВЭУ, фотоэлектрическая станция ФЭС, блок аккумуляторных батарей АКБ, батарея сухих гальванических элементов ГБ, блок автоматики БА. Для повышения надежности системы электроснабжения аппаратуры ретранслятора в состав аккумуляторной батареи включены три аккумуляторных блока АБ с номинальным напряжением 24 В.

Для обеспечения бесперебойного электропитания аппаратуры ретранслятора в комплексе разработан алгоритм управления, который обеспечивает надежность электроснабжения при различных режимах работы ретранслятора и случаях аварийного отказа тех или иных источников питания в выработке электроэнергии. Так в периоды, когда отсутствует солнечная энергия, основным источником выступает энергия ветра. В случае нехватки мощности обоих источников или отсутствия и солнечной и ветровой энергии в работу включаются аккумуляторные батареи. Батарея сухих гальванических элементов является резервным питанием второго эшелона. Система автоматического управления отслеживает логику работы в зависимости от той или иной создавшейся ситуации.

В соответствии с разработанным алгоритмом управления режимами работы комплекса произведен расчет энергетического баланса. Целью расчета энергетического баланса является определение соответствия количества электроэнергии, поступающей от БВЭУ и ФЭС, накапливаемой в аккумуляторной батарее и количества энергии, расходуемой на питание аппаратуры ретранслятора и с учетом диссипации энергии в системе.

Баланс суточного прихода электрической энергии, накопления ее в аккумуляторах, расхода на питание ретранслятора, БА и диссипации записано в виде:

$$W_{БВЭУ} + W_{АБНЭЗ} \geq W_{респ} + W_{БА} + W_{с.р.}$$

где $W_{с.р.}$ – потери в электрических соединениях и потери на саморазряд аккумуляторов.

Алгоритм управления электроснабжением дом вагона осуществляется аналогично алгоритму ретранслятора, за исключением незначительных изменений и дополнений. В схему электропитания для увеличения комфорта жителей включен инвертор напряжения, который позволяет в автономном режиме использовать радиоприемники промышленной частоты и стандартного переменного напряжения 220 В. Также имеются каналы для подключения электропитания от централизованной сети.

На рис.13 показана принципиальная электрическая схема, реализующая алгоритм управления режимами работы СКВ.

Блок автоматики выполняет следующие функции:

- преобразует трехфазный переменный ток, вырабатываемый генератором, в постоянный;
- включает и отключает нагрузку;
- подключает и отключает гальванические батареи;
- защита от коротких замыканий и перегрузок;
- управление режимами работы аккумуляторного блока;
- осуществление контроля за степенью их разряда и заряда.

Подключение ветрогенератора, включение и отключение нагрузки, защита от коротких замыканий и перегрузок осуществляются автоматически с помощью выключателей S_1 и S_2 , встроенные в шкаф рис.14.

Преобразование переменного тока в постоянный осуществляется выпрямительным устройством, встроенным в БВЭУ. Для исключения связи по постоянному току между блоками аккумуляторов применяются разделительные диоды VD9, VD12.

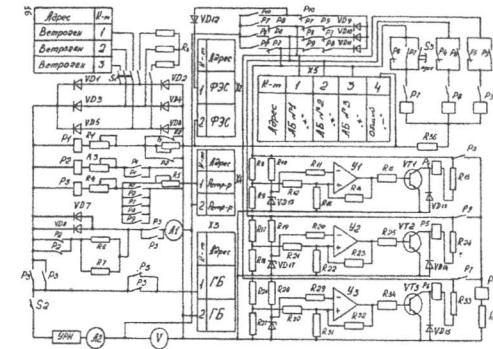


Рис.13. Принципиальная электрическая схема блока автоматики.

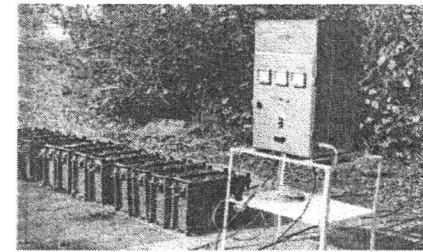


Рис.14. Внешний вид блока автоматики с блоком аккумуляторных батарей.

Реле P_1, P_2, P_3 осуществляют автоматический контроль за зарядом и разрядом АБ, работающего на нагрузку. Дополнительно для контроля нижнего, порога напряжения каждого АБ применяются блоки контроля напряжения, реализованные на операционных усилителях $У1, У2, У3$. Верхний предел напряжения контролируется с помощью реле P_{10} .

Разработанная схема автоматического управления и контроля работы системы питания ретранслятора была отработана на стендах, затем прошла лабораторные испытания в составе комплекса. Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность принятых технических решений, показали достаточную надежность работы схемы и реализации всех ее функциональных возможностей предусмотренных логикой управления.

Исследования работы генератора БВЭУ совместно с аккумуляторными батареями при различной величине нагрузок и скорости ветра показали, что этот режим является наиболее благоприятным как для ветроустановки, так и для работы комплекса в целом. Аккумулятор в этом случае играет роль буфера и сглаживает колебания выходного напряжения ветрогенератора при переменной скорости ветра. На рис.15 показана диаграмма 1 изменения напряжения БВЭУ при работе в буферном режиме с АБ и область стабилизации напряжения 2 при различной величине ветровой нагрузки.

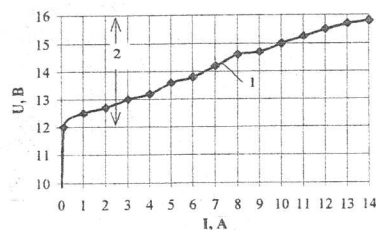


Рис.15. Диаграммы изменения напряжения при работе БВЭУ в буферном режиме.

Полученные результаты экспериментальных исследований БВЭУ были успешно использованы при создании автономного мобильного жилого дом-вагона (рис.16).

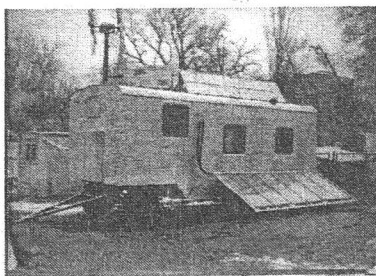


Рис.16. Биоторная ветроустановка на автономном вагон-доме.

Выводы и заключения

1. Впервые проведены анализ и обобщение результатов оценки ветрового потенциала Кыргызской Республики, который составляет $49,2 \cdot 10^5$ т.у.т.
2. Разработана классификация ветроэнергетических установок с учетом нового класса биоторных ветроэнергетических установок.
3. Исследованы процессы преобразования энергии ветрового потока в биколесных БВЭУ. Разработана методика расчета мощности таких установок и показано, что для данного класса ВЭУ мощность находится в пределах: $0,64P_0 \leq P_{БВЭУ} \leq 1,185P_0$ при $0,2 \leq \alpha \leq 0,33$.
4. Впервые разработана и создана принципиально новая конструкция ветроэнергетической установки с биоторным генератором. Новизна установки подтверждена патентом Российской Федерации. Создан действующий образец БВЭУ, экспериментальные исследования которого показали адекватность разработанной расчетной модели ветроагрегата реальным процессам, происходящим в системе.
5. Установлено, что выходная мощность генератора незначительно влияет на изменение сечения потока перед колесом и весьма существенно за ним, а небольшие изменения межопорного расстояния между ветроколесами не оказывают существенного влияния на коэффициент отбора мощности.
6. Доказано, что наиболее эффективная работа БВЭУ достигается при его работе с аккумуляторными батареями в буферном режиме. При этом установлено, что доля ротора I в выработке суммарной мощности генератора составляет 2/3. Показано, что для аккумуляторных батарей типа НК-125 в

первый месяц эксплуатации саморазряд достигает 15–20%, а затем стабилизируется на величине 2–3%.

7. Результаты работ апробированы и внедрены при создании комбинированного солнечно-ветрового комплекса для электроснабжения высокогорной радиоретрансляционной станции и автономного жилого дом-вагона. Разработанная конструкторская документация БВЭУ передана АО «Ореми» для освоения его производства.

Список опубликованных работ

1. Биколесная ветроустановка / Кириллов В.В., Обозов А.Д. // Энергетическое строительство. Москва. – 1994. – № 1 – С.28-31.
2. Биколесная ветроустановка / Кириллов В.В., Обозов А.Д. // Проблемы автоматики и управления. Бишкек. – 1995. – С.162-172.
3. Исследование биколесной ВЭУ методом создания принудительного ветрового воздушного потока / Шергалиев И.А., Кириллов В.В. // Энергетическое строительство. Москва. – 1994. – №1. – С.31-33.
4. Исследование БВЭУ методом создания принудительного ветрового воздушного потока / Шергалиев И.А., Кириллов В.В. // Проблемы автоматики и процессов управления. Бишкек. – 1995. – С.173-180.
5. К одной из задач определения мощности биколесных ветроэнергетических установок / Шергалиев И.А., Обозов А.Д., Кириллов В.В. // Проблемы автоматики и управления. Бишкек. – 1998. – № 1. – С.174-181.
6. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Мамыркулов К.М. К вопросу создания ВЭУ с системой автоматического регулирования выходных электрических параметров // Математическое моделирование и проблемы автоматизации: Тез. докл. конф. – Фрунзе, 1990. – С.60.
7. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Мамыркулов К.М. К созданию маломощной автономной ветроэнергетической установки для использования в горных условиях Средней Азии // Науч.-техн. сб. Судостроительная промышленность. – Вып. 14, Николаев, 1990 – С.57.
8. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Байтлеуова Д.К. К вопросу теоретического и практического обоснования коэффициента отбора мощности биколесных ветроэнергетических установок // ВИЭ Российские технологии для индустрии: Тез. докл. конф. – Санкт-Петербург, 2001. – С.165.
9. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Бердыбаева М.Т. Prospects of Alternative Energy in Kyrgyz Republic. IEEE Power Engineering Rewiew, USA. April, 1998.
10. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Мамыркулов К.М., Давлетов К.А. Ветроэнергетическая установка (биколесная) Патент № 1787205. Бюллетень № 1. Москва. – 1993.
11. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Невенчаный Ю.В. To the estimation of theoretical, practical and experimental approach to bi-wheel-wind power installation. Fourth International Congress. Baku, Azerbaijan Republic. September, 1997. – С.523.
12. Кириллов В.В., Обозов А.Д., Шергалиев И.А. Dynamic method-making of winload with air flow on wheels. Second International Symposium. Baku, Azerbaijan Republic. August, 1994.
13. Обозов А.Д., Мамыркулов К.М., Невенчаный Ю.В., Кириллов В.В. "Вет-

роэнергетическая установка" Патент № 2044396. Бюллетень № 26. Москва. – 1995.

14. Теоретическое обоснование работы биколесной ВЭУ / Кириллов В.В. // Проблемы управления и информатики: Доклады конференции – Бишкек. – 2000. – С.481-484.
15. Физические особенности использования энергии ветра биколесной ветроустановкой / Кириллов В.В., Обозов А.Дж., Байтлеуова Д.К. // Проблемы автоматике и управления. Бишкек. – 2001. – С.175-179.
16. Экспериментальный стенд и исследования биколесной ветроэнергетической установки / Кириллов В.В., Обозов А.Дж., Байтлеуова Д.К. // Проблемы автоматике и управления. Бишкек. – 2000. – С.179-187.
17. Энергосберегающий автономный источник индивидуального питания с применением устройств и систем преобразования ВИЭ / Обозов А.Дж., Кириллов В.В., Дабагян А.В., Куринских В.Е. // Вестник Института автоматике. Бишкек. – 1996. – №1. – С.180-192.

Резюме

Кириллов Василий Владимирович
Кичи кубаттуулуктагы эки донголкутуу автономдуу
шамал энергиясын иштеп чыгуу

Негизги созддор: Биротордук генератор, биротодуу шамал установкасы, шамалдын энергиясы, аз ылдамдыктагы шамалдын журушу, толук беруу, энергия иштеп чыгарбаган абал, жуктом, турукташтыруу, автоматтык турдо башкаруу, озунчо, аккумулятордук батарея, статика, динамика, каталык, тактык, натыйжалуулук.

Диссертациялык иш эки донголкутуу автономдуу чакан кубатуулуктагы шамал энергиясынын тузулушун аз энергияны пайдалануучулар учун иштеп чыгуу болуп саналат.

Иште биротордук шамал энергетикалык тузулушунун келечекте кенири колдонула тургандыгы ишенимдуу далилденген. Акырын соккон шамалдын биротордук энергияга айланышы теориялык жактан ишенимдуу негизделген. Ошондой эле акырын соккон шамалдын эсебинен иштоочу шамалдын энергетикалык тузулушундо рационалдуу кубаттуулук диапазону аныкталган. Тузулуштун долбоору жана эсептеп чыгуу ыкмалары иштелип чыккан. Изилдоонун натыйжасында иштелип чыгылган тузулуштун аракеттеги улгусу жасылган. Изилдоонун жайынтыктары радиолиния станцияларда жана автономдуу уй-вагондорду курууда колдонулган. Сериялык турундо ондуруштон жасап чыгаруу учун «Ореми» АКна берилип, тузулуштун конструктордук документациялары иштелип чыгылган.

Кириллов Василий Владимирович

РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОЙ БИРОТОРНОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Ключевые слова: Бироторный генератор, бироторная ветроустановка, энергия ветра, малоскоростной ветрепоток, полный привод, холостой ход, нагрузка, стабилизация, автоматическое управление, автономный, аккумуляторная батарея, статика, динамика, ошибка, точность, эффективность.

Диссертационная работа посвящена исследованию, разработке и созданию автономной бироторной ветроэнергетической установки (БВЭУ) малой мощности для малоэнергоёмких потребителей.

В работе доказана перспективность использования бироторной ветроэнергетической установки. Теоретически обоснована эффективность работы установки при малых скоростях ветра, вскрыты объективные закономерности преобразования ветра в бироторных ВЭУ. Определен рациональный диапазон отбора мощности БВЭУ с малоскоростного ветропотока. Разработаны методы расчёта и проектирования. По результатам исследований создан действующий образец БВЭУ. Результаты исследований внедрены при строительстве радиорелейной станции и автономного дом-вагона. Разработанная конструкторская документация передана АО «Ореми» для освоения серийного производства.

The resume

Kirillov Vasily Vladimirovich

DEVELOPMENT OF INDEPENDENT BIROTOR WIND-DRIVEN ELECTRIC INSTALLATIONS OF LOW POWER

The keywords: Birotor generator, birotor wind-driven electric installations, wind power, low-speed wind stream, a full drive, idling, loading, stabilization, automatic control, independent, the storage battery, static, dynamics, error, accuracy, efficiency.

The dissertation is devoted to research, development and creation of independent birotor wind-driven electric installations (BWDEI) of low power for small power consumers.

The perspectives of wind-driven electric installations' use are proved in the research. The overall performance of installation at small speeds of a wind is theoretically proved and objective laws of transformation of a wind in birotor BWDEI are opened. The rational range of BWDEI capacity selection with low-speed wind stream is determined. Methods of calculation and designing are developed. By results of the research a working sample of BWDEI is created. The results of the research have been introduced in construction of radio relay stations and autonomous car-houses. The developed design documentation is submitted to the joint-stock company "Oreми" for batch production.

Декан ФМЯ ОИГУ.

ДИП **ПОЛИГРАФИЯ**

Сдано в набор 03.03.2004 г.

Разрешено к печати 06.03.2004 г.

Формат 68x84 1/16.

Гарнитура Times New Roman.

Объем 1,1 п.л.

Зак. № 287. Тираж 100 экз.

Отпечатано ОсОО «ДИП Полиграфия»

г. Ош, ул. Курманжан-Датка, 181.

Тел.: 7-47-07, 2-45-34.