

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВЕТРОВЫХ АГРЕГАТОВ, СПОСОБНЫХ ЭФФЕКТИВНО РАБОТАТЬ В КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ РЕГИОНАХ МИРА

к. т. н., В.А. Юшко

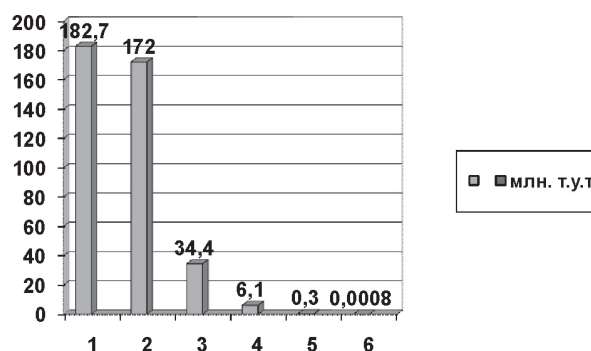
Представлены материалы 15-летней разработки автора по созданию новых ветровых агрегатов Юшко (ВАЮ) с горизонтальной осью вращения турбины и новыми лопастями, которые способны снять барьер, установленный на сегодня для существующих ВЭУ по использованию их в регионах со среднегодовыми скоростями ветра менее 5 м/с на высоте 10 м от поверхности земли, увеличить технический потенциал по возможности использования энергии ветра новыми ветровыми агрегатами ВАЮ во всех регионах мира до 5 раз относительно установленного в настоящее время для использования ВЭУ с горизонтальной осью вращения и авиационным профилем лопастей, повысить эффективность работы новых ВАЮ по коэффициенту использования мощности (КИМ) до 95 % — в зависимости от мощности агрегата и его номинальной расчетной скорости ветра в ветровой турбине — даже в регионах со среднегодовыми скоростями ветра менее 5 м/с. Показано, что все это достигается за счет использования новых технологий изготовления лопастей и ветровых турбин, которые могут хорошо улавливать тихие и слабые ветра со скоростями 1–5 м/с, имеющих максимальную продолжительность работы по времени в году до 60–70 %, но у существующих ВЭУ они относятся к штилевой зоне, так как не могут улавливаться авиационным профилем лопастей.

Эта разработка была представлена на «Ярмарке инновационных идей», которая проходила 26 мая 2010 г. в г. Минске и была организована Бизнес-союзом предпринимателей и нанимателей имени М.С. Кунявского.

### Есть ли в Беларуси ветер и каков его потенциал?

Исследования, выполненные за последние 15 лет организациями «Белгидромет», «Белэнергосетьпроект», «Ветромаш» и автором данного проекта, показали (Гистограмма 1, поз. 3), что ветер в Беларуси есть. Он дует до 95 % от годового времени, или 8322 ч в году. Но эффективно использовать его до настоящего времени еще не научились.

Потенциал Белорусских ветров представлен на Гистограмме 1: 1 — теоретический; 2 — технически возможный для использования новыми ветровыми агрегатами ВАЮ; 3 — технически возможный для использования существующими ВЭУ; 4 — экономически целесообразный потенциал ветра, рекомендованный автором данной разработки в феврале 2008 г. для программы развития ветроэнергетической отрасли РБ с целью замещения импорта природного газа на 24 %; 5 и 6 — потенциальные запасы ветра в Беларуси и годовой объем использования ветрового потенциала соответственно, представленные в Государственной программе по развитию энергетики 2005 г.



### Эффективность работы существующих ВЭУ с горизонтальной осью вращения и авиационным профилем лопастей

Проведенный автором данной разработки анализ работы лучших в мире существующих ВЭУ с авиационным профилем лопастей показал (гистограмма 1), что в связи с имеющимися у них основными недостатками — ограничением возможности использования по среднегодовой скорости ветра 5 м/с и высокой расчетной скоростью ветра в ветровой турбине 11–18 м/с, существующие ВЭУ имеют низкую эффективность по времени работы в году, которая, согласно опубликованному в 2000 г. опыту эксплуатации всех ВЭУ в Германии, не превышает 1613 ч, или 18,4 % от годового времени. При этом из имеющегося годового потенциала ветра полезно не может использоваться существующими ВЭУ до 60–75 % еще до их запуска.

## Годовая продолжительность работы ветра

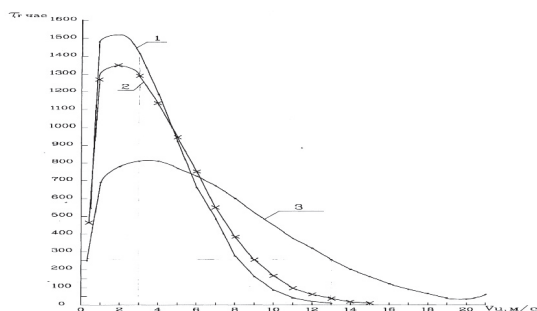


Рис. 1. Годовая продолжительность работы различных скоростей ветра на территории Беларуси ( $T_g$ ) в зависимости от истинной скорости ( $V_{и}$ ): 1 — при среднегодовой скорости ветра  $V_z = 3,5$  м/с на высоте  $H = 10$  м; 2 — при  $V_z = 4$  м/с,  $H = 10$  м; 3 — при  $V_z = 6,7$  м/с,  $H = 40$  м. Пунктирными линиями разных цветов показано возможное время работы на номинальных параметрах: черными — существующих ВЭУ с номинальной расчетной скоростью ветра  $V_n = 12$  м/с; синими — новых ВАЮ с  $V_n = 5$  м/с; красными — новых ВАЮ с  $V_n = 1$  м/с

### Постановка задачи данного инновационного проекта

Разработать и создать новые ветровые агрегаты с турбинами, имеющими горизонтальную ось вращения и с новыми лопастями, которые будут способны улавливать ветра со скоростью 1–5 м/с, чтобы они могли работать с повышенной эффективностью в условиях Белорусских ветров и других континентальных регионах мира со среднегодовыми скоростями ветра менее 5 м/с.

### Пути решения задачи

1. Проведение исследований для поиска новых лопастей с аэродинамическими характеристиками, способными хорошо улавливать тихие и слабые ветра со скоростями 1–6 м/с;

2. Разработка методики аэродинамических и прочностных расчетов новых лопастей в составе колеса ветровой турбины с учетом их системы регулирования;

3. Выполнение предварительных многовариантных аэродинамических, прочностных и технико-экономических расчетов новых ветровых агрегатов ВАЮ с разработкой конструкторской и технологической документации по результатам расчетов, для проверки возможности их изготовления с различными номинальными расчетными скоростями ветра в ветровой турбине в диапазоне мощностного ряда от 1 до 300 кВт;

4. Разработать и создать опытные и серийные ВАЮ с номинальной расчетной скоростью ветра 1–9 м/с в зависимости от мощности агрегата и его номинальной расчетной скорости ветра, способных эффективно работать в регионах со среднегодовыми скоростями ветра менее 5 м/с.

### Результаты решения задачи

1. В результате поиска и исследований различных профилей с аэродинамическими характеристиками был найден нужный профиль новых лопастей, который имеет хорошие экспериментально проверенные аэродинамические характеристики в области скоростей ветра 1–6 м/с, полученные при продувках в тоннелях Саутгемтонского университета (Англия) аналогов новых лопастей парусного типа.

2. За счет улучшенных аэродинамических характеристик новых лопастей открывается возможность снижения номинальной расчетной скорости ветра в ветровой турбине с такими лопастями до 1–9 м/с в зависимости от мощности ВАЮ и его номинальной скорости ветра.

3. На новую «Лопасть-парус ветрового агрегата (ВАЮ)» был получен патент Российского агентства по патентам и товарным знакам № 2131996 от 20.06.1999 г. с приоритетом от 30.06.97 г. Автор изобретения — В.А. Юшко. Последующие технологические и конструктивные решения по разработке ВАЮ не патентовались. Они являются «ноу-хау».



## Разработка методики расчета ВАЮ

Были разработаны методики аэродинамического и прочностного расчета на ЭВМ новых лопастей в составе ветровой турбины с учетом их системы регулирования. Расчеты базируются на экспериментально проверенных данных аэродинамических продувок этих лопастей с учетом оптимизации их по изменению положения лопасти во вращающемся колесе ветровой турбины. Система регулирования предусматривает возможность работы ВАЮ на номинальной нагрузке до скорости ветра 20 м/с.

### Расчетные исследования ВАЮ

Предварительные расчетные исследования различных вариантов ВАЮ по мощности одного агрегата от 0,25 до 1000 кВт проводились на ЭВМ при номинальных расчетных скоростях ветра в диапазоне от 1 до 9 м/с для определения:

- 1) габаритов колеса ветровой турбины;
- 2) количества необходимых лопастей в колесе турбины;
- 3) проведения конструкторских и технологических проработок с целью проверки возможности изготовления ВАЮ с разными системами регулирования;
- 4) проведения технико-экономических исследований новых ВАЮ в сравнении с существующими ВЭУ аналогичной мощности.

### Результаты расчетных исследований

Результаты предварительных расчетных исследований зависимости диаметра колеса ветровых турбин ВАЮ в диапазоне мощностей 0,25–300 кВт от номинальной расчетной скорости ветра представлены в табл. 1. Из представленных данных видно, что создание ветровых агрегатов ВАЮ с новыми лопастями парусного типа возможно реализовать на практике с различными номинальными расчетными скоростями ветра от 1 до 10 м/с в зависимости от единичной мощности ВАЮ. Например, ветровой агрегат ВАЮ-0,25-1-0,95 можно разработать и создать, который будет работать с номинальной нагрузкой 0,25 кВт и номинальной расчетной скоростью ветра 1 м/с в колесе ветровой турбины диаметром 35 м. Коэффициент использования мощности у него будет достигать 95 % за счет использования всего диапазона ветра от 1 до 20 м/с на номинальной нагрузке. Такие ветровые агрегаты способны эффективно работать даже в регионах со среднегодовой скоростью ветра 2 м/с, например в Якутии.

Таблица 1

Зависимость  $D_k$  ВАЮ от  $V_n$  в ветровых турбинах мощностью 0,25–300 кВт. Темным цветом выделены варианты возможные для изготовления лопастей, технология которых освоена на сегодня в парусном спорте

P, кВт	Dк, м	Vн, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,25	Dк,1		35	12	6,7	4,4	3,1	2,4				
5,5	Dк,2		168	59	32	21	15	11	9	7,4	6,2	5,3
7,5	Dк,3		191	67	37	24	17	13	10,3	8,5	7,1	6
11	Dк,4		231	81	44							
30	Dк,5		375	132	72	47	33	25	20	17	14	12
55	Dк,6		502	177	98	63	45	34	27	22	19	16
110	Dк,7		707	250	136	88	63	48	38	31	26	22
160	Dк,8		852	301	164	107	76	58	46	38	32	27
200	Dк,9		953	337	183	119	85	65	52	42	35	30
250	Dк,10		1066	376	205	133	95	73	58	47	39	34
300	Dк,11		1168	412	224	146	104	79	63	52	42	37

Выполненные предварительные конструкторские, технологические проработки ВАЮ различной мощности до 50 кВт и технико-экономические расчеты их в сравнении с существующими ВЭУ аналогичной мощности тоже подтвердили возможность их создания с высокой эффективностью работы и конкурентной способностью ВАЮ за счет увеличения времени работы в году на номинальной нагрузке и общего (Гистограмма 1), а следовательно, и годовой выработки электрической энергии. Основные преимущества представлены в табл. 2, на примере ВАЮ-10-5 при льготном тарифе на электрическую энергию 0,123 \$/кВт·ч, согласно Постановлению Минэкономики РБ № 20 от 28.01.2010 г.

Таблица 2

Сравнение характеристик новой ветровой турбины ВАЮ-10-5 с существующими ВЭУ-10 кВт и ВЭУ-100 кВт при работе с  $V_r = 5,2$  м/с на высоте 30 м

P, кВт	Dк, м	Vн, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,25	Dк,1		35	12	6,7	4,4	3,1	2,4				
5,5	Dк,2		168	59	32	21	15	11	9	7,4	6,2	5,3
7,5	Dк,3		191	67	37	24	17	13	10,3	8,5	7,1	6
11	Dк,4		231	81	44							
30	Dк,5		375	132	72	47	33	25	20	17	14	12
55	Dк,6		502	177	98	63	45	34	27	22	19	16
110	Dк,7		707	250	136	88	63	48	38	31	26	22
160	Dк,8		852	301	164	107	76	58	46	38	32	27
200	Dк,9		953	337	183	119	85	65	52	42	35	30
250	Dк,10		1066	376	205	133	95	73	58	47	39	34
300	Dк,11		1168	412	224	146	104	79	63	52	42	37

Из данных табл. 2 видно, что рассматриваемая ветровая турбина ВАЮ-10-5 мощностью 10 кВт с диаметром колеса 30 м, 6 лопастями, способными обеспечивать номинальную расчетную скорость ветра в турбине 5 м/с, может работать 8405 ч в году, из которых 4418 ч на номинальной нагрузке. При этом обеспечивается годовая выработка электрической энергии 54 175 кВт·ч, которая превышает по данному параметру эффективность работы существующей ВЭУ аналогичной мощности почти в 6 раз, а коэффициент использования мощности ВАЮ возрастает до 60 % с 11 % у существующего ВЭУ-10-11.

Один ветровой агрегат ВАЮ-10-5 мощностью 10 кВт с номинальной расчетной скоростью ветра в турбине 5 м/с может вырабатывать в году столько же электроэнергии, сколько вырабатывает существующая ВЭУ мощностью 100 кВт, т. е. один ВАЮ-10-5 по годовой выработке электроэнергии может заместить одну существующую ВЭУ, имеющую мощность в 10 раз превышающую мощность ВАЮ. При этом срок окупаемости ВАЮ-10-5 при льготном тарифе на электроэнергию 0,123 \$/кВт·ч снижается до 8–12 лет относительно 40–47 лет у существующих ВЭУ.

#### Результаты проведенных исследований

Результаты проведенных 15-летних исследований автором данной разработки в инициативном порядке показали:

- возможность разработки и создания новых лопастей и ветровых турбин различной мощности, способных улавливать ветра со скоростью 1–5 м/с, со снижением номинальной расчетной скорости ветра в турбине до 1–9 м/с, которые обеспечивают высокую эффективность работы в регионах со среднегодовыми скоростями ветра менее 5 м/с, с повышением коэффициента использования установленной мощности (КИМ) до 95 % в зависимости от мощности ВАЮ и номинальной расчетной скорости ветра;

- правильность выбранного направления дальнейшего развития ветроэнергетики для повышения эффективности работы ветровых агрегатов по КИМ;

- повышение технической возможности использования энергии ветра в различных регионах мира за счет новых технологий ВАЮ, позволяющих расширить диапазон используемых в работе ветров в область низких скоростей 1–5 м/с, имеющих максимальное время работы в году;

- открыли возможность для эффективного ис-

пользования ветровой энергии в различных регионах мира со среднегодовыми скоростями ветра менее 5 м/с за счет устранения новыми технологиями ВАЮ порога по среднегодовой скорости ветра 5 м/с, существующего на сегодня для использования ВЭУ;

- возможность расширения рабочих мест при организации производства, строительства и эксплуатации ВАЮ, а также рынка сбыта в мире для новой технологии и техники по использованию энергии ветра с ветровыми агрегатами ВАЮ;

Учитывая вышепредставленные преимущества новых технологий, используемых в ветровых агрегатах ВАЮ, они рекомендуются для дальнейшей разработки, создания и внедрения новых образцов конкурентно способной продукции различной мощности на внутреннем и на внешнем рынке в различных отраслях деятельности для замещения органического, постоянно дорожающего топлива, за счет эффективного использования, имеющегося во всех регионах мира собственного экологически чистого возобновляемого источника энергии — ветра, без ограничения его среднегодовой скорости.

#### Ориентировочная стоимость инновации

Планируемые затраты на создание опытных и серийных образцов ВАЮ будут разные в зависимости от их мощности и номинальной расчетной скорости ветра в турбине.

Из мировой практики создания опытных и серийных образцов известно, что стоимость опытного образца может превышать стоимость серийного образца от 2 до 4 раз.

Для обеспечения конкурентной способности ВАЮ и сохранения его срока окупаемости не более 10 лет удельная стоимость серийного образца, например ветровой турбины ВАЮ-10-5, не должна превышать 2970 \$/кВт, а общая с вспомогательными материалами — 6776 \$/кВт при существующем на сегодня льготном тарифе на электроэнергию в Беларуси 0,123 \$/кВт·ч.

#### Возможные сроки реализации инновации

Согласно предварительным оценкам, для реализации инновации ВАЮ необходимо от 2 до 3 лет.

#### Состояние инновации к реализации

Степень готовности инновации — в настоящее время она выведена на стадию НИОКР.

#### Возможные пути реализации инновации

- создание совместного производства ветровых турбин и агрегатов ВАЮ;

- продажа ноу-хау.