

ПРОЕКТ

Р. окб
"Механосборочный завод"
- "Альвина ЛТД"
- "Технопарк "Волга"
Саратовского госуниверситета".

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ПРОЕКТУ "ВЗУ-5".**

Саратов 1995

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Современное состояние ветроэнергетики.

В последние два десятилетия во всем мире существенно повысился интерес к использованию нетрадиционных возобновляемых источников энергии (НВИЭ). Это связано с резким обострением экологических проблем, удорожанием топлива и усложнением его добычи. Кроме того невозобновляемые традиционные энергоресурсы (уголь, нефть, газ), потребляемые на планете за жизнь одного поколения, стали соизмеримы с их разведанными запасами. Весьма сильна и пока продолжает увеличиваться неравномерность в обеспечении энергией разных стран (а в СНГ и различных регионов). Она связана с неравномерным распределением естественных энергоресурсов и с отличиями в уровнях технико-экономического развития. Для обеспечения разумных потребностей общества на каждого жителя СНГ должно приходиться 9-10 квт.ч электроэнергии в год. Это соответствует общей выработке к 2010 г. 1700-2100 млрд. квт/ч. Однако по прогнозам специалистов общая выработка электроэнергии к 2010 г. составит не более 1570 млрд. квт/ч.

Экономический гидропотенциал на территории Европейских районов СНГ использован уже на 60% т.е. здесь он выработан почти весь. В Сибири строительство данных ГЭС связан с большими трудностями в первую очередь из-за экологических проблем. Их мощность составит к 2010 г. не более 10-11 млн.квт. Строительство АЭС связано с большими трудностями из-за достаточно жестких требований к безопасности и негативным отношением к ним общественности. В этих условиях использование средств нетрадиционной энергетики будет постепенно становиться все более экономически целесообразным. С помощью НВИЭ предусматривается главным образом решать задачи более широкого и надежного тепло и электроснабжения потребителей в децентрализованном секторе энергетики. Есть и другие факторы которые в ближайшие годы будут вынуждать к расширению Российского рынка НВИЭ. Это наличие огромных пространств со слабой энергетической структурой или полным отсутствием таковой (Север, степи, отдаленные районы Сибири и Дальнего Востока) при интенсивной деятельности в этих районах (добыча полезных ископаемых, рыбные и охотничьи промыслы, зверофермы и т.д.). В этом отношении Российские условия уникально благоприятствуют развитию НВИЭ. Очень важную роль должно сыграть развитие фермерства и индивидуального жилищного строительства.

Таблица 1

Стоимость электроэнергии у потребителя	
Тип электростанции	Стоимость электроэнергии
Тепловые	4.5-7.0 цент. 1кВт/ч *
Гидроэлектростанции	5.0-20.0 цент. 1кВт/ч
Атомные	5.0-9.0 цент. 1кВт/ч
Ветровые	5.0-7.0 цент. 1кВт/ч
Солнечные	40.0-56.0 цент. 1кВт/ч

* Данные для США и Западной Европы.

Среди основных видов нетрадиционной энергетики геотермальная и приливная слишком ограничены природными условиями, что сужает коммерческие возможности их применения. Солнечная по-прежнему остается самой дорогой из всех видов НВИЭ.

Среди НВИЭ основное место занимает ветроэнергетика. Из всех видов НВИЭ это наиболее дешевый вид энергии. Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) могут быть эффективно использованы в регионах, где среднегодовая скорость ветра превышает 4-5 м/с.

1.2. Развитие ветроэнергетики на Западе.

Энергетический кризис 70-х годов заставил многие промышленно развитые страны - США, Германию, Данию, Великобританию, Японию начать активно создавать ветроэнергетические установки, а также комплексы ветровых электроустановок (ВЭС). Доля электроэнергии получаемой от использования энергии ветра в мировом потреблении составляла в 1990 г. около 0.5% и к 2000 г. по оценкам зарубежных специалистов в развитых странах составит 5% и более. В настоящее время общее число ВЭУ составляет более 100 тыс. в том числе в США около 30 тыс.. В Великобритании действуют ВЭУ общей мощностью несколько десятков мегаватт и в перспективе предполагается получать от использования энергии ветра до 20 % всей электроэнергии.

Таблица 2

Страна, фирма	Мощность кВт.	Число агрег. соотв. мощн.	Диаметр ротора	V расч. миль/ч
США:				
Flowind (ротор Дарье)	150;250	148;21	16,8;18,6	38
ENERTECH	40;60	168;36	13,2	30;35
FAYETTE	75;95;250	222;1198;230	9,9;10,8	40;37;35
U.S.WINDPOWER	50;100	27;3401	16,8	35
ENERGY SCIENCES, INS	50;65;80;200	106;96;109;1	16,2;16,2;24	30;40;37
WINDPOWER SYSTEMS	40	35	11,7	30
Дания:				
HOLEC/WINDMATIC	65	26	14,4	35
MICON	60;108	221;23	15,6;19	34;30
NORDTANK	65	23	15,6	30
WESTAS	65;100	2;200	15;16,8	34;42
DANREGN WIND KRAFT/ BONUS	65;120;150	211;250;100	15;19,1;22,8	40
DANWIN	110	25	18,7	30
DANISH WIND TECHNOLOGY	340	3	30,3	30
ALTERNEGY/AEROTECH	75	4	15,3	30
WIND WORLD	100	5	19,3	27
Голландия:				
HOLEC/POLENKO	100	12	18,7	31
Великобритания:				
HOWDEN	300;750	85;1	30,6;44,7	27;29
W.E.G.	250	20	24,6	30
Бельгия:				
NMZ-WIND-MASTER	75;200;250;300	5;129;30;15	21,6;22,8;24,6	20;33;32

Германия: BSW/WAGNER	65;80	15;8	16,8;18	30
-------------------------	-------	------	---------	----

* для получения скорости ветра в м/с указанную цифру нужно умножить на 0.447

В 1992 г. начала действовать первая коммерческая ВЭС с 10 агрегатами по 400 кВт. Стоимость электростанции 3.5 млн. фунтов стерлингов, стоимость отпускаемой за год электроэнергии оценивается в 1 млн. фунтов стерлингов. В Дании эксплуатируются ВЭУ общей мощностью 300 МВт. Ежегодный ввод ВЭУ в эксплуатацию составляет 20-30 МВт. Стоимость установок от 70 тыс. долл. (55 кВт) до 144 тыс. долл. (150 кВт). Наибольшее распространение получили серийно выпускаемые ВЭУ единичной мощностью 150-500 кВт для использования в энергосистемах. На этих установках вырабатывается 94 % энергии. Они наиболее рентабельны по цене одного кВт и, как правило, работают параллельно с энергосистемой. Основные производители ВЭУ приведены в таблице 2.

Для индивидуальных потребителей в больших количествах выпускаются маломощные зарядные и автономные энергоустановки мощностью до 5 кВт.

Таблица 3

Региональное распределение мирового производства ВЭУ (по стоимости)	
1. Дания	50 %
2. Голландия	20 %
3. Япония	7 %
4. Великобритания	5 %
5. США	5 %
6. Франция	2 %
7. Италия	2 %
8. ФРГ	2 %
9. Прочие	7 %

В настоящее время разработкой и промышленным производством ВЭУ за рубежом занимаются более 300 фирм. Расходы на НИОКР достигают 1.2 млрд. долл. в год. Наиболее развитую ветроэнергетическую промышленность имеет Дания (45% мирового экспорта), в которой ветроагрегаты производят 30 фирм. Серийное производство ВЭУ большой и малой мощности организовано также в США, Нидерландах, ФРГ, Великобритании, Испании и ряде других стран. В производстве зарядных ВЭУ мощностью 100-200 вт лидирует Китай.

Таблица 4

Диаметр ветроколеса (м)	Кол-во ВЭУ шт (%)	Сумм. мощн. Мвт (%)	Общ. стоим.-т.д. США (%)	Сред. мощн. Квт	Средн. цена \$	Цена Квт \$
До 5	18106 (90)	2.475 (1)	7940 (4)	0.14	440	3208
5.1-10	115 (0.5)	0.994 (0.5)	1783 (1)	8.64	15504	1794
10.1-20	1456 (7)	134.333 (59)	109310 (53)	92.3	75075	814
20.1-30	486 (2.5)	83.940 (36)	75601 (37)	173	155560	903

30.1-40	14 (0)	5.530 (2)	4950 (2.5)	395	353571	896
Свыше 40	2 (0)	3.750 (1.5)	5120 (2.5)	1875	2560000	1365.3
Всего	20149	231.025	204704	11.47	10159	886

По современной классификации ВЭУ делятся на следующие подгруппы по диаметрам ветроколес в м.: до 5; 5-10; 10-20; 20-30; 30-40 и более 40. В таблице 4 приведено количество ветроустановок, произведенных в 1987 г. 232 компаниями мира.

Согласно прогнозам к 2000 г. суммарная мощность ВЭУ во всем мире будет составлять около 9000 МВт. В Европе планируется ввод ВЭУ общей мощности 3000 Мвт. Наибольшие масштабы ввода планируются в Нидерландах (780 Мвт), Дании (600 Мвт), ФРГ (400 Мвт). Индия планирует ввод ВЭУ общей мощностью в 500 Мвт, Китай - 300 Мвт. Прогнозы США, ФРГ, Дании и ряда других стран не предполагают доли ветровой энергии более 10% общей выработки. Эта доля считается реальной и для России. Однако есть и серьезные трудности при внедрении ветроэнергетики на Западе. Так, отмечается, что 1600 американских ВЭУ выработали половину того количества электроэнергии, которые обещали сторонники ВЭС. Переборм в выработке энергии ветроустановками связаны со следующими причинами:

- 1 - переоценка энергопотенциала ветровых ресурсов;
- 2 - несовершенная конструкция ветродвигателей;
- 3 - недостаточный контроль качества как во время изготовления, так и во время монтажа ветродвигателей;
- 4 - несоответствующее техобслуживание действующих ветродвигателей;
- 5 - неэффективное расположение ветродвигателей в составе ветроэнергетического комплекса;
- 6 - недостаточное знание о нагрузках, которые испытывают лопасти ветродвигателей.

Многие из этих проблем возникли в результате преждевременных попыток поставить на коммерческую основу несовершенную технологию.

1.3. Состояние и перспективы использования энергии ветра в России и СНГ.

Использование энергии ветра для нужд народного хозяйства у нас в стране получило широкое распространение в 20 - 55 годах и базировалось на массовом производстве горизонтально-осевых ветроустановок. В год выпускалось до 2000 ветроустановок мощностью 11 и 75 квт, была создана установка мощностью 1 Мвт. Однако производство ветроустановок было свернуто в 50-х годах.

К вопросу о целесообразности использования энергии ветра и строительства ветроэнергетических установок вернулись в конце 70-х годов. Однако разрабатывались утопические грандиозные проекты ВЭС единичной мощностью до 200 МВт, которые рассматривались как альтернативное развитие энергетики страны.

Серьезная попытка возрождения отечественной ветроэнергетики была предпринята в 1986 г., когда Госпланом СССР, Бюро Совета Министров СССР по топливно-энергетическому комплексу, Госкомитетом СССР по науке и технике были разработаны и утверждены "Мероприятия по увеличению использования в 1987 - 1990 годах нетрадиционных источников энергии в народном хозяйстве". Эта программа учитывала как довоенный отечественный опыт, так и опыт стран Запада. В соответствии с этой программой развернулись НИОКР по ВЭУ мощностями 100, 250, 400, 500, 1000, 1250 и

2500 квт. Однако, в связи с кризисом работы были свернуты, за исключением двух ВЭУ 250 квт (Ветрозн) и 1000 квт (МКБ "Радуга"). Кроме того, отсутствие специалистов по ветроэнергетике, стремление форсированно развить промышленность ВЭУ без должного технологического и конструкторского обеспечения привели к срывам сроков выпуска ВЭУ по причинам, аналогичным западным.

В 1988 году была создана независимая межотраслевая Ассоциация по развитию ветроэнергетики "Совена", в которую входят свыше 40 предприятий и организаций. При Ассоциации создан фонд развития ветроэнергетики, сеть акционерных малых предприятий по проектированию, производству, строительству и эксплуатации ветроустановок. В настоящее время созданы Волжское, Дальневосточное и другие региональные отделения Ассоциации.

В 1989 г. ГКНТ СССР провел всесоюзный конкурс на лучший проект ветроустановок. Лучшими были признаны шесть установок мощностью от 0.5 - 1250 квт. Они в настоящее время реализуются Ассоциацией. Ассоциацией разработан и частично реализован проект ветрокомплекса под г.Новороссийском, однако по ряду причин он до сих пор не запущен в эксплуатацию.

В настоящее время в стране серийно выпускаются, водоподъемные ветроагрегаты с механическим приводом и производительностью до 1 кубометра в час и ветроэнергетические агрегаты АВЭУ-6-4М единичной мощностью 4 квт (Ветрозн). Тульский комбайновый завод по лицензии Аргентины выпускает водоподъемные ветроагрегаты в количестве 100 шт. в месяц. Кроме того, налажено мелкосерийное производство зарядных ветроагрегатов мощностью 100-250 Вт.

В 1989 г. ведущим производителем ВЭУ в СССР НПО "Ветрозн" произведено 1738 агрегатов (из них 464 - для ветроэнергетических станций), но они малонадежны, нет сети техобслуживания.

В 1990 г. совместно НПО "Ветрозн" и НПО "Южное" (Украина) разработаны горизонтально-осевые ветроагрегаты мощностью 100 и 250 квт.

МКБ "Радуга" (Дубна) разработало горизонтально-осевую ВЭУ мощностью 1Мвт. В ценах 1990 г. ее цена равна 1750 тыс.руб. или 1750 руб/квт. По ценам 1990 г. для районов, находящихся вне зон централизованного снабжения допустимый уровень кап.затрат на энергоснабжение составляет 1000-2000 руб/квт, что делает рентабельным использование ВЭУ большой мощности.

НИИ "Гидропроект" (Москва) совместно с ПО "Кировский завод" (С.Петербург) разрабатывает горизонтально-осевой ветроагрегат ГП-250 мощностью 250 квт.

МКБ "Радуга" в 1992 г. поставило опытный образец горизонтальноосевого ветродвигателя мощностью 250 квт. Основные разработчики и производители ВЭУ указаны в таблице 5.

Страны СНГ и Прибалтика обладают большим ветроэнергетическим потенциалом, превышающим энергетический потенциал всех рек. Площадь зон, ветроэнергетические ресурсы которых подлежат первоочередному освоению составляет 20% территории бывшего СССР. 40% территории России имеют среднегодовую скорость ветра порядка 3-5-6 м/с., что позволяет внедрить в этих районах ветроэнергетику как для выработки электроэнергии, так и для ее использования в насосных станциях и т.д. Оценка ветроэнергетических ресурсов страны показывает, что на 8 млн квадратных километрах нашей территории, измеренная на высоте 10 м от уровня земли, скорость ветра превышает 5 м/с. Если принять, что для ветроэлектростанций можно отвести 1% этой территории, то суммарная мощность ВЭС, размещенных на этой территории превысит 300 млн. кВт., т.е. она соизмерима с суммарной установленной мощностью всех электростанций в стране. Параметры ветроустановок определяются способом их использования и регионом использования. Зоны интенсивной ветровой нагрузки в нашей стране расположены в районах Северного Ледовитого и Тихого океанов, к ним относятся также отдельные акватории Финского залива, Кольский полуостров, северные побережья Черного и Азовского морей, Прикаспий,

Оренбуржье, Челябинская область и отдельные горные местности с аномальными ветровыми условиями. Здесь возможно использование любых типов ВЭУ от небольших автономных, зарядных мощностью 0.2 кВт., работающих на зарядку аккумуляторов и обслуживающих потребности индивидуальных потребителей, до установок мощностью 1-2 МВт., подключенных к Единой Энергетической сети.

Для сельскохозяйственных районов, характеризующихся низкой плотностью энергетической нагрузки и большим количеством мелких потребителей, не подключенных к электросетям, требуется масса ветроустановок малой мощности, рассредоточенных на большой площади. Особенно важны здесь ветроустановки для подачи воды. В степных и пустынных районах Заволжья Сибири, Казахстана и средней Азии не обеспечены электроэнергией тысячи зимовок, буровых скважин, 100 тыс. неглотрубчатых и шахтных колодцев.

Таблица 5

ОБОРУДОВАНИЕ	ПОТРЕБНОСТЬ тыс. шт	ЕДИНИЧ- НАЯ МОЩ- НОСТЬ кВт	СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ МВт	ГОДОВАЯ ВЫРАБОТКА 10*6МВт-2	ГОДОВАЯ ЭКО- НОМИЯ ТОПЛИВА млн. т
1	2	3	4	5	6
Зарядные ВЭУ	500	0.2	100	0.1	0.04
Водоподъемные ветроустановки для шахтных колодцев (без инд. потребителя)	40	0.5	20		0.01
Водоподъемные ветроустановки для трубчатых колодцев	30	4	120	0.24	0.1
Водоподъемные ветроустановки для индивидуальных потребителей	200	0.1	20		0.01
Водогрейные и отопительные установки	8	20	170	0.3	0.136
Ветродизельные электрические станции	50	20	1000	1.5	0.3
Многоагрегатные ветроэлектрические станции для работы в составе энергосистемы	120	250	30000	60	18

Итого		31430	62.2	18.6
-------	--	-------	------	------

Следует отметить, что использование ВЭУ в системе водоснабжения снижает минимальную рабочую скорость ветра до 3 м/с, что позволяет использовать их в зонах малой ветровой интенсивности. Кроме того в СНГ проложено более 5 млн.км. линий электропередач различной мощности, из них 84 % приходится на сельские линии 14.2 % которых находится в плохом состоянии и эта цифра продолжает увеличиваться. В этих условиях возможно применение ВЭУ в качестве резервного источника питания.

Велика потребность страны в передвижных ветроустановках зарядного типа, мощностью 0.2-1.5 кВт, необходимых чабанам, оленеводам, геологам, туристам, садоводам.

В связи с выделением значительного числа участков земли горожанам под дачи, коттеджи, возникла серьезная проблема их водо, тепло и энергоснабжения в связи с колоссальным удорожанием их подключения к существующим электро и тепло сетям и строительства систем централизованного водоснабжения (стоимость прокладки 1 км линии электропередач напряжением 380 V в августе 1993 года составляла, в зависимости от региона, 3.0-4.0 млн.руб.) Здесь целесообразно применять автономные ветроустановки мощностью 1.5-5.0 квт. Большая группа потребителей в сельском хозяйстве: фермеры (число которых в сентябре 1993 г. достигло 265 тыс. и 25-30 % которых располагаются в 15-20 км от населенных пунктов), кошары, мелкие населенные пункты, полевые станы требуют для своей работы электроэнергию стандартного качества и не допускают длительных перерывов в электроснабжении. Для таких потребителей пригодны ветродизель-электрические станции с резервной аккумуляторной батареей и инвертором мощностью 16-100 квт.

Следует отметить, что политико-экономическая ситуация, сложившаяся после распада СССР усугубила энергетический кризис в странах СНГ, что привело к значительному удорожанию традиционных энергоносителей одновременно со снижением их добычи. Это положение сильно повышает конкурентоспособность ветроэнергетики даже при использовании установок малой и средней мощности. В странах СНГ имеется большое количество автономного энергетического оборудования. Годовой выпуск дизель-генераторов достигал в СССР 150000 шт. В настоящее время дизель-генераторы на территории России не выпускаются. Это связано в первую очередь с многократным удорожанием топлива. При среднее суточном потреблении топлива 30 л. эксплуатация дизель-генераторов обходится чрезвычайно дорого. В результате они не находят спроса. Это свидетельствует о большой перспективе производства автономных ветроустановок.

При рыночных отношениях основное внимание в области энергетики будет уделяться максимальной экономии энергоресурсов, в частности, за счет интенсивного использования возобновляемых их видов. Это обусловлено непрерывным ростом цен на такие ископаемые в конечном итоге и дефицитные энергоносители как уголь, нефть, газ и т.п. Дорожание топлива неизбежно по мере перехода на самокупаемость производств, постепенного сокращения выделяемых государственных ресурсов и снижения участия государства в поддержании уровня развития топливных отраслей дотациями, льготными тарифами и т.п.

В этих условиях неизбежно смещение источников энергии в сторону возобновляемых видов, к которым относится и ветроэнергетика.

При общем возрастании цен будут увеличиваться и затраты на сооружение и эксплуатации ветроустановок, однако в связи с тем, что топливные источники энергии постоянно дорожают, увеличение затрат по топливным энергообъектам будет опережать рост цен ветродвигателей и повысит конкурентность последних.

Нарождающиеся и развивающиеся фермерские хозяйства и приватизированные предприятия, стремятся к минимизации всех затрат, поэтому они все

Больше будут обращаться к идее использования местных возобновляемых источников. Применительно к Саратовской области это прежде всего ветроэнергетика, так как она находится в зоне умеренных и сильных постоянных ветров. В особенности это относится к Заволжью.

К конкретным потребителям ветроэнергетики можно отнести:

1. Населенные пункты, находящиеся в зонах децентрализованного энергоснабжения. Из-за низкой плотности населения, сооружение для них крупных энергостанций и линий электропередач экономически невыгодно и в ближайшие десять лет неосуществимо. Дизельные электростанции от которых осуществляется энергоснабжение таких населенных пунктов расходует много дизельного топлива. Стоимость дизельного топлива с учетом доставки стремительно растет и приближается к уровню мировых цен (160 \$ за 1 тонну), а перебои в доставке топлива случаются все чаще.
2. В зонах централизованного электроснабжения ввиду удаленности от энергоисточников и плохого состояния сельских сетей возникают частые отключения потребителей. Имеются такие остродефицитные зоны, где отключение потребителей производится несколько раз за сутки по причине недостаточной мощности. В ряде регионов, в том числе и Саратовской области ситуация осложняется кризисом неплатежей. Эти факторы приводят к значительным потерям в сельскохозяйственном производстве.
3. Места массового размещения лечебно-оздоровительных объектов, курортов, где недопустимо ухудшение экологических условий. Примером таких зон является Черемшаны Хвалынского района Саратовской области, где благодаря Волге и холмистой местности имеется ряд перспективных ветрокоридоров.
4. Отопление и освещение, водоснабжение индивидуального жилья в поселках, местах временной работы и отдыха, садовых домиках.
5. В условиях Саратовской области весьма актуальной проблемой является поддержка работоспособности существующих оросительных систем. Только перевод на ветроэнергетические установки в качестве основного или резервного источников питания насосных станций Комсомольской оросительной системы позволит сэкономить 500 Квт/час.
6. Проблемой, связанной с мелиорацией в Поволжье является подтопление и заболачивание значительных площадей сельхоз. угодий. Сравнительно недорогие, не требующие постоянного тех. обслуживания вертикально-осевые ветродвигатели, укомплектованные водяными насосами в состоянии эффективно обслуживать системы вертикального дренажа, откачивая подпочвенные воды.
7. Весьма перспективным является использование вертикально-осевых ветродвигателей мощностью 1.5 - 3 Квт для автономного водоснабжения. Они могут быть смонтированы на усиленной стандартной водонапорной башне. Традиционные горизонтально-осевые ветродвигатели в силу своих конструктивных особенностей монтируются отдельно, что приводит к усложнению коммуникаций, потере части земель и удорожанию всей системы водоснабжения.

Группой ученых СГУ были выполнены НИОКР по созданию спектра вертикально-осевых ветродвигателей, накоплен и систематизирован материал по перспективным с точки зрения использования ветроэнергетики регионам Саратовской области. Эти результаты составляют основу эффективного решения вышеперечисленных проблем.

1.4. Теоретическое обеспечение аэродинамических расчетов.

Рассмотрим геометрические характеристики ВОВЭУ с прямоугольными лопастями параллельными оси вращения. Пусть заданы относительное удлинение лопастей λ , отношение хорды b к радиусу ветродвигателя R , коэффициент использования ветра C_p , быстроходность $\omega R/v$ $= z$, где ω - угловая скорость, требуемая мощность P , рабочая скорость ветра v . Тогда геометрические параметры ВОВЭУ определяют-

ся формулами:

$$R = \sqrt{\frac{P}{\rho v^3 2 \nu C_p}}; \quad b = \nu R; \quad c = b \lambda \quad (1)$$

где ρ - плотность воздуха, c - размах лопасти.

Мощность P , крутящий момент M , число оборотов в минуту n_ω , зависят от скорости ветра v следующим образом:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 S C_p; \quad \omega = \frac{z v}{R}; \quad n_\omega = \frac{\omega}{2\pi} 60; \quad M = P/\omega \quad (2)$$

Расчет нагрузок проводится в поточной системе координат, где ось X параллельна скорости ветра, плоскость XOY совпадает с поверхностью Земли, а ось Z совпадает с осью вращения ВОВЭУ (рис. 1).

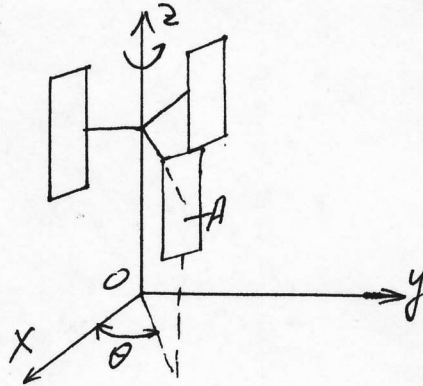


Рис. 1

Пусть ВОВЭУ имеет n лопастей, θ - угол между осью X и радиусом, проходящем через выбранную лопасть A . Если лопасти неподвижны, аэродинамическую нагрузку на лопасти и мачту можно оценить по следующим формулам:

а) ветровая нагрузка на мачту в виде трубы радиусом z_m , высотой h_m :

сосредоточенная сила

$$F_{x_m}^0 = 0,35 \frac{\rho v^2}{2} h_m z_m \quad (H) \quad (3)$$

момент относительно точки закрепления

$$M_{y_m}^0 = -\rho v^2 \cdot 0,175 h_m^2 z_m \quad (H \cdot M) \quad (4)$$

распределенная по мачте сила

$$D_{m_x}^0 = \rho v^2 z_m \cdot 0,35 \quad (H/M) \quad (5)$$

распределенный по мачте момент

$$D M_{y_m}^0 = -\rho v^2 z_m z \cdot 0,35 \quad (H)$$

$$DM_{y_{cm}}^{\circ} = -\rho v^2 z_{cm} z \cdot 0,35 \quad (H) \quad (6)$$

б) Ветровая нагрузка на неподвижную лопасть, рассчитанная по модели отрывного обтекания Н.Г.Жуковского [2].

Пусть α - угол атаки лопасти. Тогда аэродинамический коэффициент нормальной силы для крыла бесконечного размаха определяется формулой

$$C_n = \frac{2\pi \sin \alpha}{4 + \pi \sin \alpha} \quad (7)$$

аэродинамический коэффициент для тангенциальной силы $C_t = 0$, аэродинамический коэффициент момента выражается соотношением:

$$C_m = \frac{-3\pi \sin \alpha \cos \alpha}{2(4 + \pi \sin \alpha)^2} \quad (8)$$

(момент рассчитан относительно средне-аэродинамической хорды (САХ)).

Сосредоточенная результирующая сила и момент в центре крыла вычисляется по формулам

$$N_w^{\circ} = \frac{\rho v^2}{2} e b c_n \left(\frac{\sqrt{R}}{8}\right) \quad (H) \quad M_z^{\circ} = \frac{\rho v^2}{2} e b c_m \frac{\sqrt{R}}{8} \quad (H \cdot M) \quad (9)$$

Нагрузка, распределенная по САХ определяется соотношениями:

$$D_w^{\circ} = \frac{\rho v^2}{2} e b c_n \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta}{e}\right) \frac{\Delta}{e}} \quad (10)$$

$$DM_z^{\circ} = \frac{\rho v^2}{2} e b c_m \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta}{e}\right) \frac{\Delta}{e}}$$

где Δ - расстояние отчитываемое вдоль САХ.

в) Нагрузку на мачту от ветрового воздействия на неподвижные лопасти:

$$F_{xw}^{\circ} = -\frac{\rho v^2}{2} e b \sum_{i=1}^n c_n \left[\theta + (i-1) \frac{2\sqrt{R}}{n} \right] \cos \left[\theta + (i-1) \frac{2\sqrt{R}}{n} - \alpha_y \right]$$

$$F_{yw}^{\circ} = -\frac{\rho v^2}{2} e b \sum_{i=1}^n c_n \left[\theta + (i-1) \frac{2\sqrt{R}}{n} \right] \sin \left[\theta + (i-1) \frac{2\sqrt{R}}{n} - \alpha_y \right]$$

$$M_{zw}^{\circ} = \frac{\rho v^2}{2} e b R \left\{ \sin \alpha_y \sum_{i=1}^n c_n \left[\theta + (i-1) \frac{2\sqrt{R}}{n} \right] + \nu \sum_{i=1}^n c_m \cdot \left[\theta + (i-1) \frac{2\sqrt{R}}{n} \right] \right\} \quad (11)$$

где α_y - установленный угол атаки лопасти

$$\alpha_w = \frac{\sqrt{R}}{2} - (\theta - \alpha_y)$$

$$c_m(\theta) = c_m(\alpha)$$

$$L = \begin{cases} L_w; & \frac{\pi}{2} \geq \alpha \geq 0 \\ \pi + L_w; & -\pi \leq \alpha \leq 0 \\ 2\pi + L_w; & -\frac{3}{2}\pi \leq \alpha \leq -\pi \end{cases} \quad C_n(\alpha) = \begin{cases} -C_n(\alpha); & \frac{\pi}{2} \geq \alpha \geq 0 \\ C_n(\alpha); & -\pi \leq \alpha \leq 0 \\ -C_n(\alpha); & -\frac{3}{2}\pi \leq \alpha \leq -\pi \end{cases}$$

$C_n(\alpha)$, $C_m(\alpha)$ вычисляются по формулам (7,8)

г) Результирующая нагрузка на мачту при неподвижных лопастях:

$$\begin{aligned} R_x^0 &= F_{x_m}^0 + F_{x_m}^0; & R_y^0 &= F_y^0 \\ M_x^0 &= -h_m F_{y_m}^0; & M_y^0 &= M_{y_m}^0 - F_{x_w}^0 h_m; & M_z^0 &= M_z^0 \end{aligned} \quad (12)$$

д) Силы и моменты на лопасти при ее движении.

Пусть известны из теоретических или экспериментальных исследований значения аэродинамических коэффициентов $C_x(\alpha)$, $C_y(\alpha)$, $C_m(\alpha)$ для профиля; причем предполагается, что момент рассчитывается относительно носика профиля.

Угол атаки изменяется по закону:

$$\alpha = \alpha_0 + a_2 \operatorname{ctg} \frac{\cos \theta}{z + \sin \theta} = \alpha_0 + \alpha_1 f \quad (13)$$

В связанной с лопастью системе координат (рис. 2)

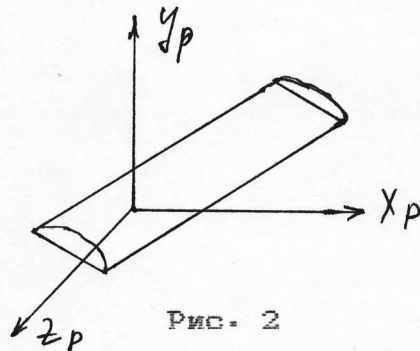


Рис. 2

сосредоточенная нагрузка на профиле вычисляется по формулам:

$$\begin{aligned} F_{x_p} &= -F_y \sin \alpha + F_x \cos \alpha \\ F_{y_p} &= F_x \sin \alpha + F_y \cos \alpha \\ M_{z_p} &= g b^2 c \frac{\pi}{8} C_m(\alpha) \\ F_x &= g b c \frac{\pi}{8} C_x(\alpha) \\ F_y &= g b c \frac{\pi}{8} C_y(\alpha), & g &= \frac{\rho v^2}{2} \end{aligned} \quad (14)$$

$$DM_{y_m}^0 = -\rho v^2 z_m z$$

Распределенная вдоль носика крыла нагрузка выражается соотношением:

$$\begin{aligned} D_{x\rho} &= D_x \sin \alpha - D_y \cos \alpha; & D_{y\rho} &= D_x \cos \alpha + D_y \sin \alpha \\ DM_{z\rho} &= \rho b^2 c c_m(\alpha) \sqrt{(1 - \frac{\Delta}{c}) \frac{\Delta}{c}}; \\ D_x &= \rho b c C_x(\alpha) \sqrt{(1 - \frac{\Delta}{c}) \frac{\Delta}{c}} \\ D_y &= \rho b c C_y(\alpha) \sqrt{(1 - \frac{\Delta}{c}) \frac{\Delta}{c}} \end{aligned} \quad (15)$$

График коэффициента давления C_p^α для профиля D-2 приведен в [3]. Расчет распределения давления при заданном угле атаки α можно выполнить по формулам:

$$p = \rho \alpha C_p^\alpha \quad (16)$$

е) Динамическая нагрузка на мачту.

Частота колебаний мачты при вращении лопасти определяется формулой

$$n_m = n_w \times n \quad (17)$$

Динамические силы на мачте:

$$\begin{aligned} F_x^d &= \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ -F_L(\theta + i \frac{2\pi}{n}) \sin(\theta + i \frac{2\pi}{n}) + F_n(\theta + i \frac{2\pi}{n}) \cos(\theta + i \frac{2\pi}{n}) \right\} \\ F_y^d &= \sum_{i=0}^{n-1} \left\{ -F_L(\theta + i \frac{2\pi}{n}) \cos(\theta + i \frac{2\pi}{n}) - F_n(\theta + i \frac{2\pi}{n}) \sin(\theta + i \frac{2\pi}{n}) \right\} \\ F_L &= F_x \cos \alpha_f - F_y \sin \alpha_f; & F_n &= F_x \sin \alpha_f + F_y \cos \alpha_f \end{aligned} \quad (18)$$

Среднюю нагрузку на мачту от вращающегося ротора можно оценить сверху по силе Магнуса, возникающей при вращении цилиндра радиусом R с угловой скоростью ω :

$$F_y^m = -2\rho v \omega R^2 c \quad (19)$$

ж) Суммарная нагрузка на мачту при вращении ротора:

$$R_x = F_{x_{\text{м}}}^0 + F_x^d; R_y = F_y^d \quad (20)$$

$$M_x = h_{\text{м}} F_y^d; M_y = M_{y_{\text{м}}}^0 - F_x^d h_{\text{м}}; M_z = 0$$

з) Крутящий момент при запуске ветродвигателя:

$$M_k^0 = M_z^0 \omega \quad (21)$$

и) Центробежная сила, действующая на крыло:

$$F_y = m \omega^2 R \quad (22)$$

1.4.1. Основные соотношения.

Рассмотрим аэродинамику лопасти в поточной системе координат, изображенной на рис. 3.

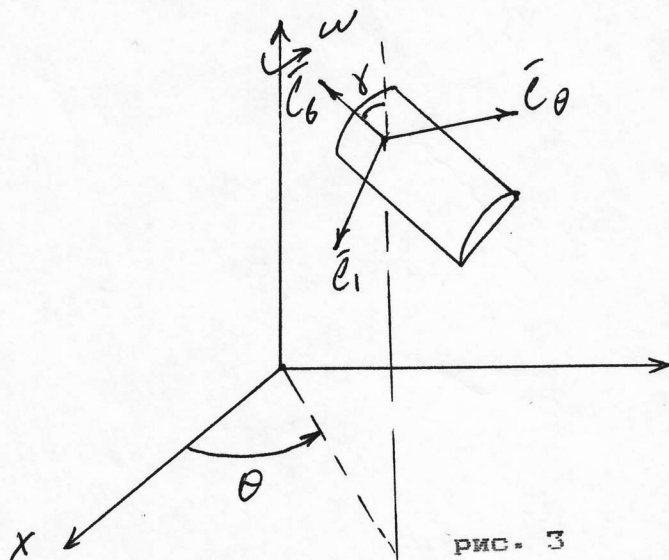


рис. 3

Здесь ось X параллельна набегающему потоку, ось Z оси вращения, а угол γ есть угол между осью вращения и касательной к лопасти, параллельной средней кромке. Скорость вращения лопасти определяется соотношениями:

$$\vec{v}_c = \omega R \vec{e}_0 \quad (23)$$

где \vec{e}_θ , вектор касательный к элементу лопасти и ориентированный в направлении ее вращения.

Пусть скорость потока около лопасти в проекции на оси системы координат представлена в виде:

$$\vec{V}_1 = V_{1x} \vec{i} + V_{1y} \vec{j} + V_{1z} \vec{k} \quad (24)$$

Тогда относительная скорость $\vec{w} = \vec{V}_1 - \vec{V}_c$ представим в виде:

$$\vec{w} = w_1 \vec{e}_1 + w_\theta \vec{e}_\theta + w_R \vec{e}_R \quad (25)$$

где \vec{e}_1 - единичный вектор, ортогональный \vec{e}_θ и \vec{e}_R , а

$$w_1 = -V_{1x} \cos \theta \cos \gamma - \sin \theta \cos \gamma V_{1y} - \sin \gamma V_{1z}$$

$$w_\theta = -V_{1x} \sin \theta + V_{1y} \cos \theta + w_R \quad (26)$$

$$w_R = -V_{1x} \cos \theta \sin \gamma - \sin \theta \sin \gamma V_{1y} + V_{1z} \cos \gamma$$

Тогда фактический угол атаки определяется формулой:

$$\alpha = \alpha_y + \alpha_f; \quad \operatorname{tg} \alpha_f = w_1 / w_\theta \quad (27)$$

Приближенные аналитические методы исследования аэродинамики ВОВЭУ основываются на различных аппроксимациях \vec{V}_1 . Зная \vec{V}_1 и аэродинамические характеристики профиля лопасти при различных углах атаки, легко рассчитать проекции мгновенной силы, действующей на ветродвигатель:

$$\begin{aligned} x(t) &= -\frac{\rho b}{2} \left\{ \int_{z_0}^{z_1} C_T w_{1\theta}^2 \frac{dz}{\cos \gamma} \sin \theta + \cos \theta \int_{z_0}^{z_1} C_N w_{1\theta}^2 dz \right\} \\ y(t) &= -\frac{\rho b}{2} \left\{ \cos \theta \int_{z_0}^{z_1} w_{1\theta}^2 \frac{dz}{\cos \gamma} - \sin \theta \int_{z_0}^{z_1} C_N w_{1\theta}^2 dz \right\} \\ z(z) &= \frac{\rho b}{2} \int_{z_0}^{z_1} C_N w_{1\theta}^2 \operatorname{tg} \gamma dz \end{aligned} \quad (28)$$

Здесь z_0, z_1 - минимальная и максимальная z координаты лопасти ветродвигателя

$$\begin{aligned} C_T &= (-C_x \sin \alpha_f + C_y \cos \alpha_f) \cdot d \\ C_N &= (-C_x \cos \alpha_f - C_y \sin \alpha_f) \cdot d \end{aligned} \quad (29)$$

Если пренебрегать изменением циркуляции по размаху лопасти то $d = 1$.
Для учета изменения циркуляции следует положить

$$d = \sqrt{\left(1 - \frac{\Delta}{D_m}\right) \frac{\Delta}{D_m}}$$

где Δ , Δ_m текущая и максимальные длины, отсчитываемые вдоль САХ лопасти.

Осредненный по обороту лопасти крутящий момент определяется формулой:

$$M = \frac{\rho V_\infty^2 R_0^3}{4\pi} m \int_0^{2\pi} \int_{z_0}^{z_1} \left(\frac{w_{1\theta}}{V_\infty}\right)^2 \left\{ \frac{C_{t2}}{\cos\delta} + v C_{m1}' \right\} dz d\theta \quad (30)$$

$w_{1\theta} = w_1 \bar{e}_1 + w_\theta \bar{e}_\theta$

Здесь V_∞ скорость ветра; R_0 - максимальный радиус ометаемой поверхности

$$z_2 \leq R_0; R = R_0 r$$

$$C_{m1}' = C_m + \delta (C_{t2} \sin\delta y + C_{n2} \cos\delta y) \quad (31)$$

$\delta = \Delta x / l$, где Δx - расстояние от носика лопасти до оси проходящей через узел крепления лопасти к тяге.

Мощность ветряка определяется формулой:

$$P = M \omega \quad (32)$$

Коэффициент использования ветра выражается соотношением:

$$C_p = \frac{M \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho V_\infty^3 S^d} \quad (33)$$

где S^d - площадь миделевого сечения ометаемой поверхности, а коэффициент крутящего момента равен:

$$C_M = C_p / 2 \quad (34)$$

1.4.2. Метод импульсов, теория одного активного диска.

Предполагается, что в каждой точке ометаемой поверхности скорость потока параллельна оси X и равна V_1 . Поток вдали от ветряка имеет скорость V_2 и также параллелен оси X .

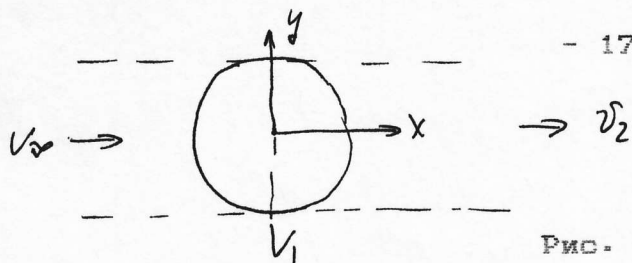


Рис. 4

Тогда по теореме импульсов, примененной к трубке тока, показанной на рис. 4 легко получить [4]

$$X = \frac{1}{2} \rho (V_\infty^2 - V_2^2) S', \quad V_1 = \frac{V_\infty + V_2}{2} \quad (35)$$

Осредняя по θ проекцию силы X , определяемую соотношением (28) и приравнявая полученное выражение X из (35) получим основное уравнение теории одного активного диска:

$$(1 - \bar{V}_1) \bar{v}_1 = - \frac{M}{8\pi R_0^2} \int_0^{2\pi} \int_0^{\beta_1} \left(\frac{w_{1\theta}}{V_\infty} \right)^2 (C_n \cos \gamma + C_i \frac{\sin \theta}{\cos \gamma}) d\zeta d\theta$$

$$\left(\frac{w_{1\theta}}{V_\infty} \right)^2 = \bar{v}_1^2 \cos^2 \theta \cos^2 \gamma + (\bar{v}_1 \sin \theta + z' z)^2 \quad (36)$$

$$\bar{v}_1 = V_1 / V_\infty ; \quad S' = S / R_0^2$$

Соотношение (26) позволяет по заданному Z вычислить \bar{v}_1 и по формулам (28-33) определить все характеристики ветродвигателя.

При постоянной нагрузке генератора имеем:

$$M \cdot \omega = K = \text{const} \quad (37)$$

где M определяется соотношением (30). Тогда легко выписать еще одно соотношение:

$$\pi V_\infty^2 \int_0^{2\pi} \int_0^{\beta_1} \left(\frac{w_{1\theta}}{V_\infty} \right)^2 \left\{ \frac{C_T z}{\cos \gamma} + V C_m' \right\} d\zeta d\theta = K,$$

$$K = 4 K_T / C_p V_\infty^2 R_0^2 \quad (38)$$

Решая совместно систему уравнений (36), (38) можно определить V_2 , Z для заданной нагрузки на генераторе K .

1.4.3. Теория двух активных дисков.

Пусть, ~~что~~ скорость потока около лопасти равна V_1 на наветренной стороне ометаемой поверхности, V_c за лопастью, V_2 на подветренной стороне ометаемой поверхности, вдали от ветродвигателя V_3 . Пусть все скорости параллельны оси X .

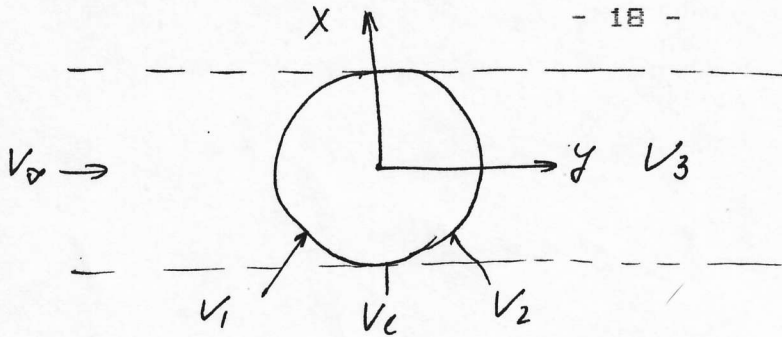


Рис. 5

Тогда аналогично предыдущему разделу по теореме импульсов легко получить соотношение для наветренного диска:

$$v_1(1-v_1)^2 - \frac{nV}{4\pi R^2} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (C_N \cos \theta + C_E \frac{\sin \theta}{\cos \gamma}) \left(\frac{w_{1\theta}}{\cos \gamma}\right)^2 d\alpha d\gamma \quad (39)$$

$$v_c = 2v_1 - 1$$

Аналогично для подветренного диска справедливо соотношение:

$$v_2 = (v_c - v_2)^2 - \frac{nV}{4\pi R^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} (C_N \cos \theta + C_T \frac{\sin \theta}{\cos \gamma}) \left(\frac{w_2}{V_0}\right)^2 d\alpha d\gamma$$

$$\left(\frac{w_2}{V_0}\right)^2 = (v_2 \sin \theta + z_2)^2 + v_2^2 \cos^2 \theta \cos^2 \gamma \quad (40)$$

Уравнения (39), (40) решаются последовательно. Из (39) определяются $v_1(z)$ и $v_c(z)$. Затем из (40) вычисляется $v_2(z)$. Зная эти безразмерные скорости легко вычислить коэффициенты C_M и C_P :

$$C_M = \frac{nV}{4\pi R^2} \left\{ F\left(\frac{\pi}{2}; \frac{3}{2}\pi; v_1\right) + F\left(-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}; v_2\right) \right\}; \quad C_P = z - C_M$$

$$F(\theta_1, \theta_2, v) = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \left\{ \frac{C_E \varepsilon}{\cos \gamma} + v C_M' \right\} w^2 d\alpha d\gamma \quad (41)$$

$$v^2 = (v \sin \theta + z_2)^2 + (v \cos \theta \cos \gamma)^2$$

Дополнительное соотношение, учитывающее постоянную нагрузку на генератор имеет вид:

$$C_M = \frac{2K}{\int V_\infty^2 R_0^2} \quad (42)$$

Оно замыкает систему (39), (40) и однозначно определяет z .

2. Назначение изделия. Область применения.
Краткая характеристика условий применения изделия.

Вертикально-осевая ветроэнергетическая энергоустановка мощностью 5 Квт ("ВЭУ-5") имеет своим назначением производство электроэнергии (50-60 гц, 180-260 в) или получение вращающего момента (в зависимости от комплектности) с целью использования для привода в действие механического водяного насоса (другие варианты использования вращающего момента здесь не рассматриваются).

Основной областью применения ВЭУ следует считать сельское хозяйство (той или иной формы), в которой ВЭУ 5 Квт может быть использована для:

1. электро- и водоснабжения фермерских и приусадебных хозяйств, сельскохозяйственных кооперативов, садоводческих товариществ
2. осуществления подъема дренажных вод в мелиоративных и других системах
3. водоснабжения сел и поселков (для подъема воды в водонапорную башню).

Кроме того "ВЭУ-5" может быть применена для электро- и водоснабжения охотничьих, лесных хозяйств, леспромхозов и туристических баз.

Условия применения ВЭУ 5 Квт следует подразделить на две группы. Первая группа условий включает в себя совокупность требований к выбору площадки установки ВЭУ и ее обустройству:

- а) установке ВЭУ должно предшествовать обследование местности с целью изучения ветровой локальной обстановки и определения наилучшей точки расположения ВЭУ (выполнение этой работы осуществляется специалистами поставщика)
- б) площадка монтажа ВЭУ по отношению к жилым, производственным помещениям, линиям электропередач (и им подобным - радио телефонных воздушных линиям), дорогам, пешеходным дорожкам и тропинкам, должна быть расположена не ближе, чем на 50 метров (?).
- в) обустройство площади эксплуатации ВЭУ должно соответствовать требованиям техники безопасности, сформулированным в п.10 пояснительной записки, которые должны быть обязательно включены в инструкцию для пользователя ВЭУ.

Вторая группа условий применения "ВЭУ-5" включает в себя температурно-погодные характеристики. Принципиально "ВЭУ-5" может работать при любых температурах ($-50 < t < +50$) и в любых климатических зонах. Ограничения применения при очень низких ($-50 < t < -25$) или очень высоких ($+35 < t < +50$) температурах могут быть связаны (в случае в электропроизводства) только с наличием соответствующих смазочных масел и возможностью заправки или узлов трения при поставке ВЭУ конкретному потребителю в конкретную климатическую зону. (Другими словами диапазон температур применения ВЭУ должен быть определен конструкторами.) В варианте с насосом нижний технологический температурный предел $t = 0$.

По погодным условиям (дождь, снег, туман) эксплуатация ВЭУ может осуществляться в любых регионах СНГ. Естественное ограничение выставляется условиями слабой зимней оттепели (t около $+0$), сопровождающейся падающим мокрым снегом. В этом случае работа ВЭУ либо должна быть прекращена, либо должна осуществляться под наблюдением с целью своевременной остановки. Это связано с возможным накоплением масс мокрого снега на внутренних поверхностях лопастей и существенного непрогнозируемого увеличения центробежных нагрузок на лопасти, узлы крепления лопастей и ферм-тяг. Указанное ограничение может быть снято проработкой возможности подогрева внутренней поверхности лопасти (см. перечня работ, приложение 1).

3. Технические характеристики выбранного варианта ВЭУ и сравнение их с характеристиками аналогичных по мощности отечественных и зарубежных ВЭУ.

1. "ВЭУ-5"

-----Размеры-----

Размах= 7.096 м Радиус ометаемой поверхности= 3.548 м Хорда= 1.419 м

-----Мощности-----

Максимальная мощность= 152.588 квт

Минимальная мощность= 0.264 квт

-----Скорости вращения-----

Минимальная= 32 об/мин(3.382 1/с) Максимальная= 269 об/мин(28.185

Рабочая= 86 об/мин (9.019 1/с)

-----Частоты колебаний мачты:-----

Минимальная= 97 кол/мин(10.147 1/с) Максимальная= 807 кол/мин(84.55

Рабочая= 258 кол/мин (27.058 1/с)

-----Аэродинамическая нагрузка на мачту(по эффекту Магнуса)-----

Минимальная= 3682 н Максимальная= 255663 н

Рабочая= 26180 н

-----Распределенные нагрузки на лопасти:-----

а)Рабочие:

Отрицательные: X= 0.017 тн: Y= -0.153 тн

Сила F= 0.154 тн Mz= -0.044 т

Положительные: X= 0.015 тн: Y= 0.144 тн

Сила F= 0.144 тн Mz= 0.046 т

б)Максимальные:

Отрицательные: X= 0.167 тн: Y= -1.491 тн

Сила F= 1.500 тн Mz= -0.429 т

Положительные: X= 0.148 тн: Y= 1.403 тн

Сила F= 1.411 тн Mz= 0.446 т

2. Отечественным аналогом предлагаемой конструкции "ВЭУ-5" является АВЭ-4 НПО "ВЕТРОЭН", используемый как источник электропитания различных установок (водоподъемных, зарядных, тепловых и т.д.). Он представляет собой горизонтально-осевой двухлопастный ветродвигатель номинальной мощностью 4 Квт.

Таблица 6.

Характеристики	АВЭ-4	AstroWatt	ВЭУ-5
Мощность Квт	4	4	5
Диаметр ометаемой поверхности (м)	6.6	9.2	7
Размах лопасти (ВОВЭУ) (м)	3.3	4.6	7.1
Рабочий диапазон скоростей ветра (м/с)	4 - 30	2.5 - 60	3 - 25
Расчетная скорость ветра			

для достижения номинальной мощности (м/с)	9	7	8
Частота вращения ветроколеса об/мин	215	152	90
Число лопастей ветроколеса	2	2	3
Конструкция мачты	труба	-----	труба
Высота мачты (м)	9.6	-----	9
Масса (без фундамента) кг	1200	1550	1200

Его технические характеристики приведены в табл. 6. Зарубежным аналогом "ВЭУ-5" является горизонтально-осевой ветродвигатель AstroWatt. Его технические характеристики также приведены в табл. 1. Здесь же представлены параметры разрабатываемого ветродвигателя "ВЭУ-5". Очевидно, что по геометрическим и весовым характеристикам он не уступает своим аналогам, но превосходит их простотой конструкции. Уменьшение же частоты вращения ВОВЭУ приводит лишь к незначительному усложнению редуктора, но сильно повышает экологические качества ветродвигателя и убирает необходимость в механизме ориентирования на ветер и создания узла передачи энергии (электрической или вращения) с вращающейся гондолы горизонтально-осевого ВЭУ.

3. Некоторые приближенные зависимости между параметрами ВОВЭУ:

а) Пусть даны две скорости ветра v_0, v_1 и сохраняются постоянными отношения скорости ветра к частоте оборотов ветроколеса $v/n = const$. При неизменных размерах ветроколеса имеют место следующие зависимости:

Мощность P :

$$\frac{P_0}{v_0^3} = \frac{P_1}{v_1^3}$$

Крутящий момент M :

$$\frac{M_0}{v_0^2} = \frac{M_1}{v_1^2}$$

Максимальная частота вращения n :

$$\frac{n_0}{v_0} = \frac{n_1}{v_1}$$

Номинальная частота вращения n :

$$\frac{n_0}{v_0} = \frac{n_1}{v_1}$$

Силы инерции F крыла, при постоянной его массе:

$$\frac{F_0}{v_0^2} = \frac{F_1}{v_1^2}$$

Суммарные аэродинамические силы F действующие на лопасть:

$$\frac{F_0}{v_0^2} = \frac{F_1}{v_1^2}$$

Суммарные аэродинамические силы F действующие на головку ветроколеса:

$$\frac{F_0}{v_0^2} = \frac{F_1}{v_1^2}$$

б). Пусть изменяется частота вращения n ветроколеса, при сохраняющихся размерах ветроколеса и постоянной скорости ветра. График мощности P имеет вид:

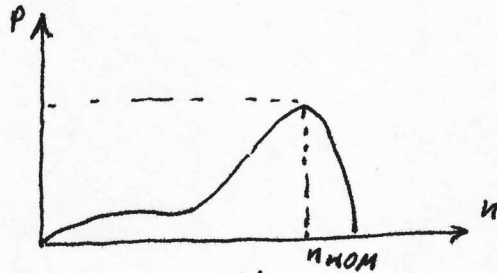
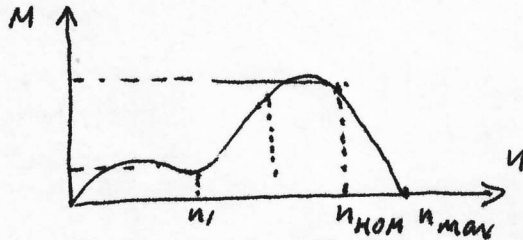


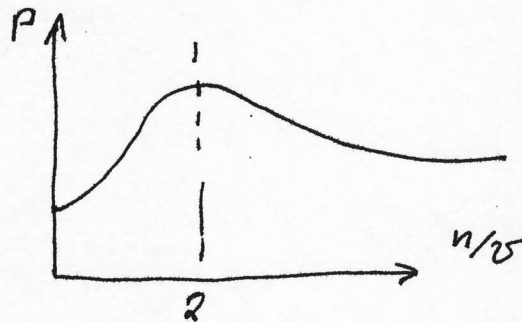
График крутящего момента M :



Здесь при отношении хорды крыла к радиусу $b/R = 0.4$, имеем для частоты самозапуска $n_1/v =$, номинальной частоты $n_{ном}/v =$, максимальной частоты $n_{max}/v =$. Силы инерции F лопасти, при постоянной ее массе:

$$\frac{F_0}{n_0^2} = \frac{F_1}{n_1^2}$$

Суммарные аэродинамические силы F действующие на головку ветроколеса, при его неизменных размерах представлены на графике:



в) Пусть даны два радиуса ометаемой поверхности S_0, S_1 ветроколеса, при постоянных: скорости ветра, длине лопастей, отношении хорды крыла к радиусу ометаемой поверхности. Тогда имеет место следующий

Соотношения: ρ :
Мощность

$$\frac{P_0}{z_0} = \frac{P_1}{z_1}$$

Крутящий момент M :

$$\frac{M_0}{z_0} = \frac{M_1}{z_1}$$

Максимальная частота вращения n :

$$\frac{n_0}{z_0} = \frac{n_1}{z_1} \quad ?$$

Номинальная частота вращения n :

$$\frac{n_0}{z_0} = \frac{n_1}{z_1} \quad ?$$

Силы инерции F лопасти, при постоянной ее массе и длине и максимальной частоте оборотов ветроколеса

$$F_0 \cdot z_0 = F_1 \cdot z_1 \quad ?$$

Суммарные аэродинамические силы F действующие на лопасть, при ее постоянной длине

$$\frac{F_0}{z_0} = \frac{F_1}{z_1}$$

Суммарные аэродинамические силы F действующие на головку ветроколеса, при ее постоянной высоте

$$\frac{F_0}{z_0} = \frac{F_1}{z_1} \quad ?$$

д) Пусть даны две длины лопастей z_0, z_1 ветроколеса, при постоянных: скорости ветра, радиусе ометаемой поверхности, отношении хор-

ды крыла к радиусу ометаемой поверхности. Имеют место следующие соотношения P :

$$\frac{P_0}{e_0} = \frac{P_1}{e_1}$$

Крутящий момент M :

$$\frac{M_0}{e_0} = \frac{M_1}{e_1}$$

Максимальная частота вращения n :

$$\frac{n_0}{e_0} = \frac{n_1}{e_1}$$

Номинальная частота вращения n :

$$\frac{n_0}{e_0} = \frac{n_1}{e_1}$$

Силы инерции F лопасти, при постоянной ее массе и максимальной частоте оборотов ветроколеса

$$F_0 = F_1$$

Суммарные аэродинамические силы F действующими на лопасть

$$\frac{F_0}{e_0} = \frac{F_1}{e_1}$$

Суммарные аэродинамические силы F действующие на головку ветроколеса

$$\frac{F_0}{e_0} = \frac{F_1}{e_1}$$

е) Изменение отношения $b/R = 0,4$ хорды лопасти к радиусу ометаемой поверхности может привести к значительному изменению характеристик (например мощность и максимальная частота оборотов ветроколеса может сни-

зиться в 4 раза).

и) Изменение способов крепления лопастей, тяг и д-р. может привести к незначительному изменению параметров ВОВЭУ, но только при согласовании с авторами проекта.

7. Силы инерции лопасти прямо пропорциональны ее массе и при реальном весе порядка 100 кг на порядок превосходят аэродинамические силы.

4. Описание и обоснование выбранной конструкции ВЭУ 5 Квт.

Ветроэнергетическая установка "ВЭУ-5" состоит из следующих основных узлов (см. фиг. 1):

- а) фундамент-основание (фиг. 1, поз. 1)
- б) несущая мачта с растяжками в два яруса ()
- в) трехлопастное ветроколесо ()
- г) вал передачи вращающего момента с механизмом торможения и с муфтой переключения редуктора и механизмом ее выключения ()
- д) редуктор с муфтой подключения нагрузки (генератора или насоса) ()
- е) электрогенератор ()
- ж) электрощит-шкаф ()
- з) частотный преобразователь и стабилизатор напряжения электроэнергии.

Фундамент-основание - железобетонный с вделанным шарниром для подъема установки, смонтированной в наклонном положении.

Мачта состоит из трех секций, возможно разных диаметров. Мачта оборудуется лестницей и рабочей площадкой.

Ветроколесо состоит из трех лопастей авиационного профиля, трех ферм-тяг подвески лопастей и вращающейся головки, к которой крепятся тяги, соединенной с валом передачи вращающего момента. Узлы крепления лопасти должны обеспечивать установку угла атаки лопасти-крыла в пределах -7 до $+15$ градусов.

Вал передачи вращающего момента расположенный внутри мачты, состоит из трех секций и подсоединяется к редуктору с помощью муфты, которая включается ручным и(или) автоматическим способом при достижении ветроколесом соответствующей угловой скорости.

Редуктор - повышающий с коэффициентом повышения 18 (требуется уточнение натурным экспериментом).

Электрогенератор стандартный (1500 об/мин, 3-х фазный или однофазный) мощностью 5 Квт. (Для опытного образца мощность генератора желательно иметь большую, чем 5 Квт, например 8 - 10 Квт. Это объясняется необходимостью максимального снятия в процессе испытаний рабочих характеристик ветроколеса и всей конструкции в целом.)

Механизм торможения - ленточно-фрикционный с ручным дистанционным приводом. Конструктивно может быть выполнен на вале передачи вращающего момента или на головке ветроколеса.

Выбор схемы вертикально-осевого ветродвигателя вместо классической схемы горизонтально-осевого ветродвигателя объясняется следующим:

1. ВОВЭУ не требует механизма ориентации на ветер, что упрощает конструкцию и уменьшает количество подвижных элементов
2. Лопастя ВОВЭУ имеют форму традиционного крыла, что существенно проще лопасти горизонтально-осевого ветродвигателя
3. Линейная скорость вращения лопасти горизонтально-осевого ветродвигателя изменяется по ее размаху от нуля в корне до околосвуковой на конце. В результате, весьма значителен шум от винта горизонтально-осевого ветродвигателя. Поэтому его невозможно размещать ближе чем на 1 км от жилых помещений и животноводческих ферм. Линейная скорость вращения лопасти ВОВЭУ постоянна по ее размаху и соответствует $M < 0.5$. Поэтому аэродинамический шум от ротора ВОВЭУ невелик, что упрощает его установку в месте, удобном для потребителя.

4. Аэродинамические нагрузки на лопасти ВОВЭУ распределены равномерно, что обеспечивает ее лучшие аэроупругие характеристики по сравнению с лопастью горизонтально-осевого ветродвигателя.

В результате теоретических расчетов и экспериментов в аэродинамической трубе была выбрана компоновка с тремя лопастями постоянного профиля D-2 и установочным углом атаки 8 градусов. Это обеспечивает самозапуск ветродвигателя, тогда как существующие ВОВЭУ требуют специального механизма запуска.

Геометрические пропорции: относительное удлинение $\lambda = 5$; отношение хорды к радиусу снетаемого цилиндра $V = 0.4$, как показывают расчеты и эксперимент, обеспечивают максимальные коэффициенты использования энергии ветра и быстроходности.

Выбор ВЭУ мощностью 5 Квт основан на результатах маркетинговых исследований, которые показали, что именно ВЭУ данной мощности в настоящий момент будут пользоваться наибольшим спросом. ВЭУ мощностью 0.5 - 3 Квт имеет достаточно широкий диапазон применения (электроснабжение, водоснабжение и т.д.), но недостаток мощности не позволяет применять эти ВЭУ в фермерских хозяйствах для автономного электроснабжения. ВЭУ этих мощностей пригодны в основном для дачных участков и в качестве водоподъемников. К сожалению эта категория населения в настоящее время не платежеспособна. Мощности свыше 5 Квт могут быть использованы группой фермеров и садоводческими товариществами, но ВЭУ большой мощности требуют создания инфраструктуры обслуживания.

5. Сравнение с макетом 1.5 Квт.

Макет ВЭУ Т-1 создавался с целью проведения натуральных экспериментов и проверки некоторых идей (Чертежи прилагаются). Макет ВЭУ Т-1 состоит из опоры, которая вкапывается в землю, мачты которая крепящейся к опоре с помощью болта большого диаметра. Такое крепление позволяет собирать и ремонтировать ВЭУ на земле не прибегая к дополнительным устройствам. Мачта закрепляется четырьмя растяжками, которые крепятся в свою очередь к тадрепам вкопанным в землю. На мачте закрепляется ротор, который состоит из: головки с шестерней редуктора, гибких тяг и трех лопастей, под головкой на мачте крепится два генератора по 800 вт, подсоединенных каждый через свою шестеренку к шестерне головки.

Принципиальное отличие от "ВЭУ-5" состоит в том, что он не имеет механизма автоматического изменения угла атаки лопастей, основанного на изгибе тяг подвески лопасти. Тяги в отличие от макета жесткие. Мачта крепится на фундаменте. В целом конструкция "ВЭУ-5" отличается практически всеми узлами от макета, хотя принципиальных изменений нет. Компоновка ротора, тип профиля остаются такими же, как и в макете.

6. Программа и методика испытаний макета ВЭУ Т-1 мощностью 1.5 Квт.

Аэродинамические испытания макета ВЭУ проводились с целью проверки работоспособности всей конструкции в целом, отдельных ее узлов и некоторых конструктивных идей. В частности отработывалась идея автоматического изменения угла атаки за счет изгиба упругих тяг при увеличении числа оборотов, Изгиб тяг происходит благодаря смещенному центру тяжести лопасти относительно точки подвески. Испытания проводились по следующей программе:

1) определение минимальной скорости ветра, при котором происходит са-

мозапуск ВЭУ без нагрузки и с нагрузкой

2) определение диапазона рабочих скоростей

3) определение коэффициента использования ветра C_p , максимальной быстроходности Z_m , номинальной быстроходности Z_n

4) неравномерность Z при переменном ветре.

Получение экспериментальных характеристик макета ВОВЭУ основано на законе вращающихся масс. Чтобы сообщить вращающемуся вокруг своей оси телу известное угловое ускорение ϵ , необходимо действие на него вращающего момента M , который равен

$$M = I \epsilon = I \frac{d\omega}{dt}$$

где M - вращающий момент, I момент инерции вращающегося тела, ϵ угловое ускорение. Таким образом зная, угловое ускорение в каждый момент времени и момент инерции тела относительно оси вращения можно определить крутящий момент вызванный внешними силами. Определив для каждого момента времени значение угловой скорости, находим число Z быстроходность ВЭУ:

$$Z = \frac{\omega R}{v}$$

который соответствует полученному крутящему моменту M . Приведенные выше рассуждения позволяют рассчитать следующие характеристики:

C_p , M , Z_n , Z_m . Исходными данными для этих расчетов служили скорость ветра v и число оборотов n ветроколеса. Скорость ветра определяется двумя анемометрами установленными на расстоянии 3 и 7 м. от земли. Их показания усреднялись. За скорость ветра бралось среднее значение в течении 10 сек. Визуальный контроль числа оборотов ВЭУ осуществляется с помощью частотомера ЧЗ-64. Число оборотов отмечалось с помощью электромагнитного датчика установленного на головке ветроколеса.

7. Результаты испытаний.

В результате проведенных испытаний были получены следующие данные.

1. ВЭУ самозапускается и устойчиво вращается при скорости ветра 1.5 м/сек без нагрузки и 3 м/сек с нагрузкой.
2. Рабочий диапазон изменения скоростей составляет 4 - 10 м/сек, при скоростях ветра 10 м/сек ВЭУ необходимо подтормаживать во избежания выхода из строя электрогенератора.
3. Коэффициент использования ветра C_p равен 0.34, $Z \approx 4,1$, $Z_n \approx 3,2$.
4. Неравномерность вращения при порывах ветра составляет 2 - 3%.

В целом конструкция макета ВЭУ оказалась работоспособной и пригодной для дальнейших испытаний. По отдельным узлам можно сделать следующие заключения:

1. Тяги лопастей оказались недостаточно гибкими. При вращении происходило изменение угла атаки, но на характеристиках это сказывалось слабо, так как изменение угла атаки было предусмотрено в положительную сторону (угол атаки увеличивается), а такое изменение угла атаки может осуществляться в диапазоне +1 - +20 градусов с изменением характеристик ВЭУ в пределах 20 - 25%, что недостаточно для эффективного изменения числа оборотов. Для того, чтобы изменение числа оборотов было эффективно необходимо угол атаки менять в отрицательную сторону.
2. Растяжки начт оказались недостаточно прочными в местах соединения с

талрепами, в результате чего при сильном ветре > 20 м/сек кржки растяжек разогнулись, что привело к падению ВЭУ и сделало дальнейшее проведение экспериментов с ним невозможным.

8. Патентный поиск в области ветроэнергетики и использования ветроколеса в качестве движителя, в том числе и для игрушек.

Поиск источников патентной информации проводился по патентному фонду Областной университетской библиотеки (ОУБ) г.Саратова и фонду описаний к авторским свидетельствам, и патентам СССР с грифом "ДСП" центра научно-технической информации (ЦНТИ).

По СССР были просмотрены имеющиеся в фондах полные описания к авторским свидетельствам и патентам по определенным рубрикам международной классификации изобретений (МКИ), а также формулы изобретений в бюллетенях "Открытия, изобретения" за 1990 и 1991 гг.

Ретроспектива поиска по зарубежным странам ограничена наличием патентного фонда в ОУБ с 1972 г. Просмотрены определенные тематические выпуски изданий ВНИИПИ:

- 1972-1977 гг. - Изобретения за рубежом
- 1978-1984 гг. - Изобретения в СССР и за рубежом
- 1985-1991 гг. - Изобретения стран мира.

В этих журналах содержится реферативная информация об изобретениях ведущих капиталистических стран: ФРГ, Франции, Великобритании, США, Японии, а также Швейцарии, документы стран-членов СЭВ, международные заявки (РСТ) и заявки на Европейские патенты (ЕПВ).

Целью поиска информации являлось выявление объектов-аналогов разрабатываемых объектов, выбор аналогов и прототипа конкретного технического решения для оформления заявки на выдачу патента на изобретение.

По одному направлению патентного поиска выявленный предмет охватывается следующими рубриками МКИ:

- F03D3/00 - Ветряные двигатели с осью вращения ротора, перпендикулярной направлению ветра;
 - 3/02 - ветряные двигатели с несколькими роторами;
 - 3/06 - роторы ветряных двигателей;
- F03D7/06 - управление и регулирование ветряных двигателей, когда ось вращения ротора перпендикулярна направлению ветра;
- F03D9/00 - приспособабливание ветряных двигателей для особых целей, агрегатирование ветряных двигателей с приводимыми ими устройствами;
 - 9/02 - агрегатирование ветряных двигателей с устройствами, аккумулирующими энергию.
- A63H33/40 - Игрушки-ветряные мельницы и прочие игрушки, приводимые в действие воздушным потоком.
- B63H9/00 - Движители, приводимые в действие ветром, их размещение.
- B63H9/02 - Движители, приводимые в действие ветром с использованием эффекта Магнуса.

В таблице указаны журналы, просмотренные по вышеперечисленным рубрикам МКИ.

NN ГОДЫ	FO3D																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1972	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
73	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
74	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
75	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
76	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
77	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
78	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
79	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
81	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
82	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
83	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
84	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
85	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
86	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
87	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
88	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
89	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
A63H33/40																								
1973	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
74	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
75	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
76	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
77	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
78	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
79	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
80	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
81	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
82	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
83	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
84	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
85	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
86	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
87	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
88	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
89	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
91	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
B63H																								
72-76	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
77	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
78-83	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
84	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
85-90	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

В результате проведенного тематического поиска были отобраны авторские свидетельства СССР и патенты зарубежных стран по разрабатываемой тематике.

Копии описаний к авторским свидетельствам и копии рефератов заявок на изобретения, и патентов имеются (прилож. 2).

В результате анализа отобранных аналогов и прототипа, была составлена заявка на выдачу патента на изобретение "Ротор вертикально-осевого ветродвигателя".

Разработанный вариант "ВЭУ-5" предполагается запатентовать как промышленный образец. Узел автоматического изменения угла атаки, также может быть запатентован.

9. Сведения по технике безопасности и производственной санитарии.

Безопасность эксплуатации "ВЭУ-5" следует рассматривать в двух аспектах. Первый - это безопасность технического обслуживания - профилактического осмотра и смазки узлов трения и второй - безопасность производства электроэнергии или вращающегося момента.

Техническое обслуживание осуществляется самим пользователем "ВЭУ-5" в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации в теплое время года, в безветренную погоду (при скорости ветра < 3 м/сек), при заторованном и застопоренном положении ветроколеса, при обязательном использовании монтажного страховочного пояса и защитной каски.

Безопасность производства осуществляется в значительной степени удовлетворением одного из условий применения ВЭУ - достаточной удаленностью (не менее чем на 50 метров) места расположения ВЭУ от жилых и производственных помещений, линий электропередач и других, дорог, пешеходных дорожек и тропинок. И, кроме того, наличием дискретного ограждения с радиусом 20 метров, которое выполняется из столбиков высотой 1.3 м и натянутой на них 3-х мм проволокой и прикрепленным к ним предупреждающим табличкам.

Безопасность при производстве электроэнергии обеспечивается соблюдением норм электробезопасности при проектировании электрооборудования и соблюдении инструкции по эксплуатации.

При покупке "ВЭУ-5" пользователь обязан будет получить инструктаж по технике безопасности с фиксацией в соответствующем журнале. Инструкция по эксплуатации "ВЭУ-5" должна содержать все сведения данные пользователю посредством обязательного инструктажа. Проектирование и изготовление линий электропередачи от "ВЭУ-5" к месту потребления энергии должна осуществляться соответствующими местными организациями.

Основным и единственным показателем, работы ВЭУ, который должен рассматриваться с точки зрения норм производственной санитарии является уровень шума около основания мачты, производимого ВЭУ во время работы. Есть основания считать, что на расстоянии 50 м производимый ВЭУ шум будет восприниматься как естественный шумовой фон (например, шум сильного ветра в кроне деревьев). Однако, реальные количественные оценки производимого шума можно будет выполнить только непосредственными измерениями во время испытания опытного образца.

(В соответствии с требованиями ГОСТА изложенные мысли этого пункта должны быть приведены специалистами завода.)

10. Расчеты, подтверждающие работоспособность конструкции.

На базе теоретических разработок, описанных в п.1.4. были проведены исследования позволившие оценить характеристики ВОВЭУ мощностью 1.5 - 5 Квт для трехлопастного ветряка с лопастями относительного удлинения $\lambda = 2.25$; отношения хорды к радиусу ометаемой поверхности $\gamma = 0.4$; коэффициентом использования ветра C_p ; коэффициента быстроходности Z .

Семейство двигателей Дарье-АР= 5.00 Nu= 0.400 Cp= 0.300 Z= 4.000
Число лопастей= 3
Скорость ветра 3.000 <=V<=25.000 Расчетная скорость= 8.000 м/с

I	P(квт)	R	B	L	P min	P max
1	0.150E+01	0.194E+01	0.777E+00	0.389E+01	0.791E-01	0.458E+02
2	0.500E+01	0.355E+01	0.142E+01	0.710E+01	0.264E+00	0.153E+03

-----Вариант No 1-----

Двигатель Дарье мощностью 1.500 квт

-----Размеры-----

Размах= 3.887 м Радиус ометаемой поверхности= 1.943 м Хорда= 0.777 м

-----Мощности-----

Максимальная мощность= 45.776 квт

Минимальная мощность= 0.079 квт

-----Скорости вращения-----

Минимальная= 59 об/мин(6.175 1/с) Максимальная= 491 об/мин(51.459 1/с)

Рабочая= 157 об/мин (16.467 1/с)

-----Частоты колебаний мачты:-----

Минимальная= 177 кол/мин(18.525 1/с) Максимальная= 1474 кол/мин(154.378 1/с)

Рабочая= 472 кол/мин (49.401 1/с)

-----Аэродинамическая нагрузка на мачту(по эффекту Магнуса)-----

Минимальная= 1104 н Максимальная= 76699 н

Рабочая= 7854 н

-----Распределенные нагрузки на лопасти:-----

а)Рабочие:

Отрицательные: X= 0.009 тм: Y= -0.084 тм

Сила F= 0.084 тм Mz= -0.013 т

Положительные: X= 0.008 тм: Y= 0.079 тм

Сила F= 0.079 тм Mz= 0.014 т

б)Максимальные:

Отрицательные: X= 0.092 тм: Y= -0.816 тм

Сила F= 0.822 тм Mz= -0.129 т

Положительные: X= 0.081 тм: Y= 0.768 тм

Сила F= 0.773 тм Mz= 0.134 т

-----Вариант No 2-----

Двигатель Дарье мощностью 5.000 квт

-----Размеры-----

Размах= 7.096 м Радиус ометаемой поверхности= 3.548 м Хорда= 1.419 м

-----Мощности-----

Максимальная мощность= 152.588 квт

Минимальная мощность= 0.264 квт

-----Скорости вращения-----

Минимальная= 32 об/мин(3.382 1/с) Максимальная= 269 об/мин(28.185 1/с)

Рабочая= 86 об/мин (9.019 1/с)

-----Частоты колебаний мачты:-----

Минимальная= 97 кол/мин(10.147 1/с) Максимальная= 807 кол/мин(84.556 1/с)

Рабочая= 258 кол/мин (27.058 1/с)

-----Аэродинамическая нагрузка на мачту(по эффекту Магнуса)-----

Минимальная= 3682 н Максимальная= 255663 н

Рабочая= 26180 н

-----Распределенные нагрузки на лопасти:-----

а)Рабочие:

 Отрицательные: X= 0.017 тм: Y= -0.153 тм
 Сила F= 0.154 тм Mz= -0.044 т
 Положительные: X= 0.015 тм: Y= 0.144 тм
 Сила F= 0.144 тм Mz= 0.046 т

б)Максимальные:

 Отрицательные: X= 0.167 тм: Y= -1.491 тм
 Сила F= 1.500 тм Mz= -0.429 т
 Положительные: X= 0.148 тм: Y= 1.403 тм
 Сила F= 1.411 тм Mz= 0.446 т

Семейство двигателей Дарье-AR= 5.00 Nu= 0.400 Cp= 0.300 Z= 4.000

Число лопастей= 3

Скорость ветра 3.000 <=V<=25.000 Расчетная скорость= 8.000 м/с

I	P(квт)	R	B	L	P min	P max
1	0.100E+02	0.502E+01	0.201E+01	0.100E+02	0.527E+00	0.305E+03
2	0.150E+02	0.615E+01	0.246E+01	0.123E+02	0.791E+00	0.458E+03

-----Вариант No 1-----

Двигатель Дарье мощностью 10.000 квт

-----Размеры-----

Размах= 10.035 м Радиус ометаемой поверхности= 5.018 м Хорда= 2.007 м

-----Мощности-----

Максимальная мощность= 305.176 квт

Минимальная мощность= 0.527 квт

-----Скорости вращения-----

Минимальная= 23 об/мин(2.392 1/с) Максимальная= 190 об/мин(19.930 1/с)

Рабочая= 61 об/мин (6.378 1/с)

-----Частоты колебаний мачты:-----

Минимальная= 69 кол/мин(7.175 1/с) Максимальная= 571 кол/мин(59.790 1/с)

Рабочая= 183 кол/мин (19.133 1/с)

-----Аэродинамическая нагрузка на мачту(по эффекту Магнуса)-----

Минимальная= 7363 н Максимальная= 511327 н

Рабочая= 52360 н

-----Распределенные нагрузки на лопасти:-----

а)Рабочие:

 Отрицательные: X= 0.024 тм: Y= -0.216 тм
 Сила F= 0.217 тм Mz= -0.088 т
 Положительные: X= 0.021 тм: Y= 0.203 тм
 Сила F= 0.204 тм Mz= 0.091 т

б)Максимальные:

 Отрицательные: X= 0.237 тм: Y= -2.108 тм
 Сила F= 2.121 тм Mz= -0.859 т
 Положительные: X= 0.209 тм: Y= 1.984 тм
 Сила F= 1.995 тм Mz= 0.892 т

-----Вариант No 2-----

Двигатель Дарье мощностью 15.000 квт

-----Размеры-----

Размах= 12.290 м Радиус ометаемой поверхности= 6.145 м Хорда= 2.458 м

-----Мощности-----

Максимальная мощность= 457.764 квт

Минимальная мощность= 0.791 квт

-----Скорости вращения-----

Минимальная= 19 об/мин(1.953 1/с) Максимальная= 155 об/мин(16.273

Рабочая= 50 об/мин (5.207 1/с)

-----Частоты колебаний мачты:-----

Минимальная= 56 кол/мин(5.858 1/с) Максимальная= 466 кол/мин(48.81

Рабочая= 149 кол/мин (15.622 1/с)

-----Аэродинамическая нагрузка на мачту(по эффекту Магнуса)-----

Минимальная= 11045 н Максимальная= 766990 н

Рабочая= 78540 н

-----Распределенные нагрузки на лопасти:-----

а)Рабочие:

Отрицательные: X= 0.030 тн: Y= -0.264 тн

Сила F= 0.266 тн Mz= -0.132 т

Положительные: X= 0.026 тн: Y= 0.249 тн

Сила F= 0.250 тн Mz= 0.137 т

б)Максимальные:

Отрицательные: X= 0.290 тн: Y= -2.582 тн

Сила F= 2.598 тн Mz= -1.288 т

Положительные: X= 0.256 тн: Y= 2.430 тн

Сила F= 2.443 тн Mz= 1.338 т

Для расчета по импульсной теории необходимо знание зависимости коэф-
фициентов аэродинамического сопротивления C_x и подъемной силы C_y
от угла атаки α . Данные экспериментальных исследований для профиля
D-2 18% относительной толщины, полученные при м/сек при-

Таблица 7.

α	C_x	C_y	α	C_x	C_y	α	C_x	C_y
-90	1.05	-0.02	-30	0.35	-0.41	35	0.52	0.61
-85	1.02	-0.13	-25	0.28	-0.38	40	0.57	0.61
-80	0.97	-0.20	-20	0.21	-0.35	45	0.65	0.57
-75	0.96	-0.27	-15	0.16	-0.4	50	0.70	0.56
-70	0.90	-0.31	-10	0.07	-0.31	55	0.78	0.52
-65	0.84	-0.34	-5	0.06	-0.05	60	0.87	0.42
-60	0.77	-0.41	0	0.03	0.53	65	0.91	0.39
-55	0.72	-0.45	5	0.05	0.62	70	0.97	0.31
-50	0.65	-0.45	10	0.12	0.73	75	0.99	0.26
-45	0.83	-0.46	15	0.24	0.57	80	1.03	0.18
-40	0.76	-0.46	20	0.29	0.57	85	1.06	0.09
-35	0.43	-0.44	25	0.37	0.64	90	1.08	0.0
-30	0.35	-0.41	30	0.43	0.61			

Эти результаты и данные из атласа профилей [3] использовались в расче-
тах по импульсной теории. На рис. 5 приведена расчетная зависимость
 C_p от α , подтверждающая оценку C_p в рабочем режиме.

Результаты испытаний модели ВОВЭУ в аэродинамической трубе приведе-
ны на рис. 6-8. Они согласуются с теоретическими выкладками. На рис. 9
приведена зависимость быстроходности Z от угла атаки, полученные в

результате эксперимента в аэродинамической трубе. Легко заметить, что оптимальный по быстроходности угол атаки $\alpha = 8^\circ$.

11. Сведения об организации работ при эксплуатации изделия.

В силу автоматического запуска ветроколеса при наличии соответствующего ветра и автоматической подачи энергии в сеть потребления (или включения муфты на редуктор и, следовательно водяной насос) пользователю будет необходимо следить за тем, чтобы в нерабочем состоянии потребляющие энергию приборы были отсоединены от сети (это должно быть включено в инструкцию по эксплуатации, как все остальные пункты). Второй обязанностью пользователя во время эксплуатации ВЭУ в зимнюю оттепель будет наблюдение и своевременная остановка ВЭУ при наличии падающего мокрого снега.

Техническое обслуживание "ВЭУ-5", заключающееся в проведении периодического осмотра и смазки узлов трения, согласно инструкции по эксплуатации может быть выполнено самим пользователем и, следовательно, необходимости в содержании специального обслуживающего персонала нет никакой.

12. Ожидаемые технико-экономические показатели.

Расчет главного экономического показателя - времени самоокупаемости "ВЭУ-5" делался в обоснованном предположении, что в небольшой окрестности желаемой точки установки ВЭУ всегда можно будет найти ветровой коридор, который действует 80% годового времени и имеет среднюю скорость ветра 8 м/сек. Исходя из этого предположения цены "ВЭУ-5"

25 млн. руб., а также цены 1 Квт/час равной в настоящее время 40 рублям, что практически в 10 раз меньше цены 1 квт/час в 1990 г. и цены (10 центов) в странах Запада, срок самоокупаемости составляет 18 лет без учета инфляции.

При выравнивании цены 1 квт/час с мировой, срок самоокупаемости составит 5 - 6 лет максимум, минимум 2 года.

13. Уровень стандартизации и унификации.

Основные узлы "ВЭУ-5", именно, редуктор, электрогенератор, водяной насос, преобразователь частоты и стабилизации напряжения (например АПБ-63) могут быть подобраны стандартными - серийно выпускаемыми промышленностью России.

Ветроколесо, мачта и ее функцией также могут быть выполнены из стандартных расходных материалов (уголок, швеллер, двутавр, труба, лист, крепежный материал, лаки, краски и т.д.). Единственной деталью, изготовление которой требует больших вложений является нервюра лопасти - крыла.

Таким образом уровень стандартизации и унификации всей конструкции в целом можно считать достаточно высоким. (В соответствии с требованиями ГОСТА изложенные в этом пункте мысли должны быть приведены специалистами завода.)

(Пункты 2, 5, 9, 11, 13 и д.р. требуют доработки при участии специа-

листов завода.)

Приложение 1.

Перечень работ.

1. Проработка общего вида всей конструкции "ВЭУ-5" и расположения ее отдельных узлов.
2. Разработка комплекта КД для изготовления лопасти - крыла с выполнением прочностных расчетов по заданным максимальным нагрузкам (исходные данные приведены в п. пояснительной записки). (Проработать при этом возможность изготовления из стеклоткани укрепленной ленточной фольгой.)
3. Разработка комплекта КД для изготовления головки ветроколеса с выполнением прочностных расчетов по заданным максимальным нагрузкам (см. п.).
4. Разработка комплекта КД для изготовления фермы - тяги подвески лопасти с выполнением прочностных расчетов по максимальным нагрузкам (). Предусмотреть для опытного образца возможность дискретного изменения угла атаки лопасти - крыла в пределах от -7 до +15 градусов. Для серийного образца предусмотреть автоматическое двухступенчатое изменение угла атаки (с +8 до 0, с 0 до -7 градусов).
5. Разработка комплекта КД для изготовления несущей мачты с растяжками и основанием - фундаментом с выполнением прочностных расчетов по заданным максимальным нагрузкам ().
6. Разработка комплекта КД для изготовления вала передачи вращающего момента (от головки к редуктору) с муфтой подсоединения редуктора и механизма ее автоматического и(или) включения.
7. Разработка комплекта КД для изготовления механизма торможения (до полной остановки ветроколеса) и стопорения (расположенного на вале передачи момента, либо на головке ветроколеса). Предусмотреть дистанционный привод.
8. Проработать возможность разработки механизма балансировки всего ветроколеса и методики его использования.
9. Проработать возможность подогрева внутренней поверхности лопасти с целью борьбы с накоплением мокрого снега во время слабой зимней оттепели. (Предусмотреть ручное и автоматическое включение/выключение.)
10. Изготовление опытного образца ветроколеса с целью проведения статических испытаний и разработка методики испытаний.
11. Изготовление опытного образца "ВЭУ-5" для проведения натурных испытаний и разработка методики проведения испытаний. (Опытный образец может иметь ручное включение муфты привода редуктора, не дистанционное включение механизма торможения, стандартный повышающий редуктор с коэффициентом 15 - 22, стандартный генератор (220 в, 380 в, 50 гц), стандартный преобразователь и стабилизатор АПВ-63.)
12. Разработка комплекта КД для изготовления электрощита - шкафа.

13. Проработка возможности создания генератора собственной конструкции (с вращающимся статором и ротором) с целью упразднения необходимости применения редуктора.
14. Проработка возможностей приобретения (стандартных) редуктора и генератора и разработка КД на их компоновку с ВЭУ.
15. Разработка комплекта КД на изготовление редуктора.
16. Выявление в процессе создания и испытания ВЭУ различного рода сложностей и их устранение посредством соответствующей проработки и корректировки комплекта КД "ВЭУ-5".

Приложение 2.

Патенты.

Приложение 3.

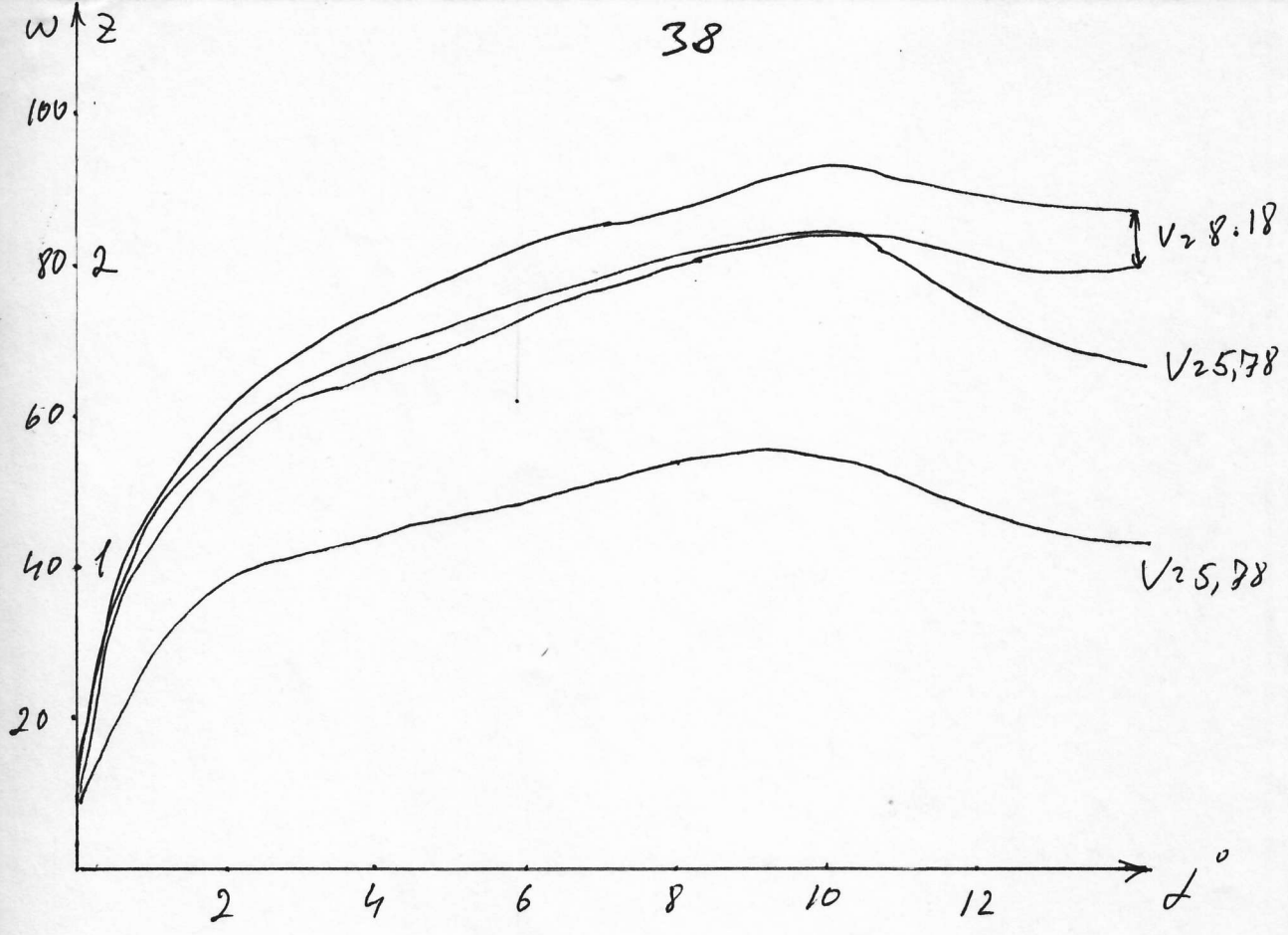
Список использованной литературы.

1. В.М. Шагин. Гидромеханика. М. Высшая школа. 1990 г.
2. И.Е. Кочин, И.А. Кибель, И.В. Розе. Теоритическая гидромеханика. т.1 М. ФМ. 1963г.
3. Атлас аэродинамических профилей. изд. БНТ НКАП при ЦАГИ 1940г.
4. Е.Р.Абрамовский, С.В.Городько, Н.В.Свиридов. Аэродинамика ветродвигателей. ДГУ. 1987г.
5. Ю.А.Блинков, Б.И.Кондрашов, В.В.Мозжилкин, А.М.Чернов. Сравнительный анализ роторов Флетнера с мягкой и жесткой оболочкой. в сб. Аэродинамика. СГУ. 1993 г.
6. "Энергетическое строительство" N 1. 1992 г.
7. "Энергетическое строительство" N 3. 1991 г.
8. "Энергетик" N 9. 1993 г.
9. Д.Рензо "Ветроэнергетика" 1982 г.
10. "Деловой мир" 1993 г.

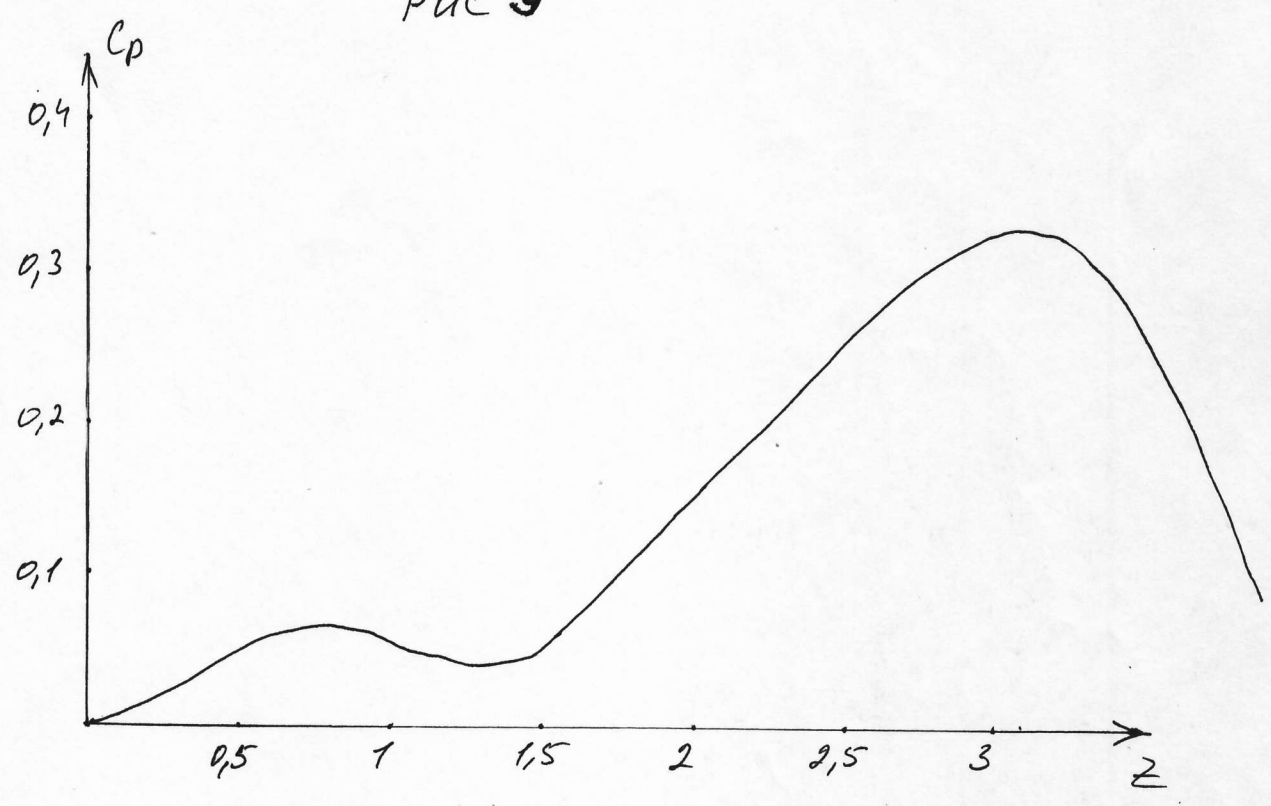
Приложение 4.

Конструкторская документация
по ВОВЭУ 1.5 Квт.

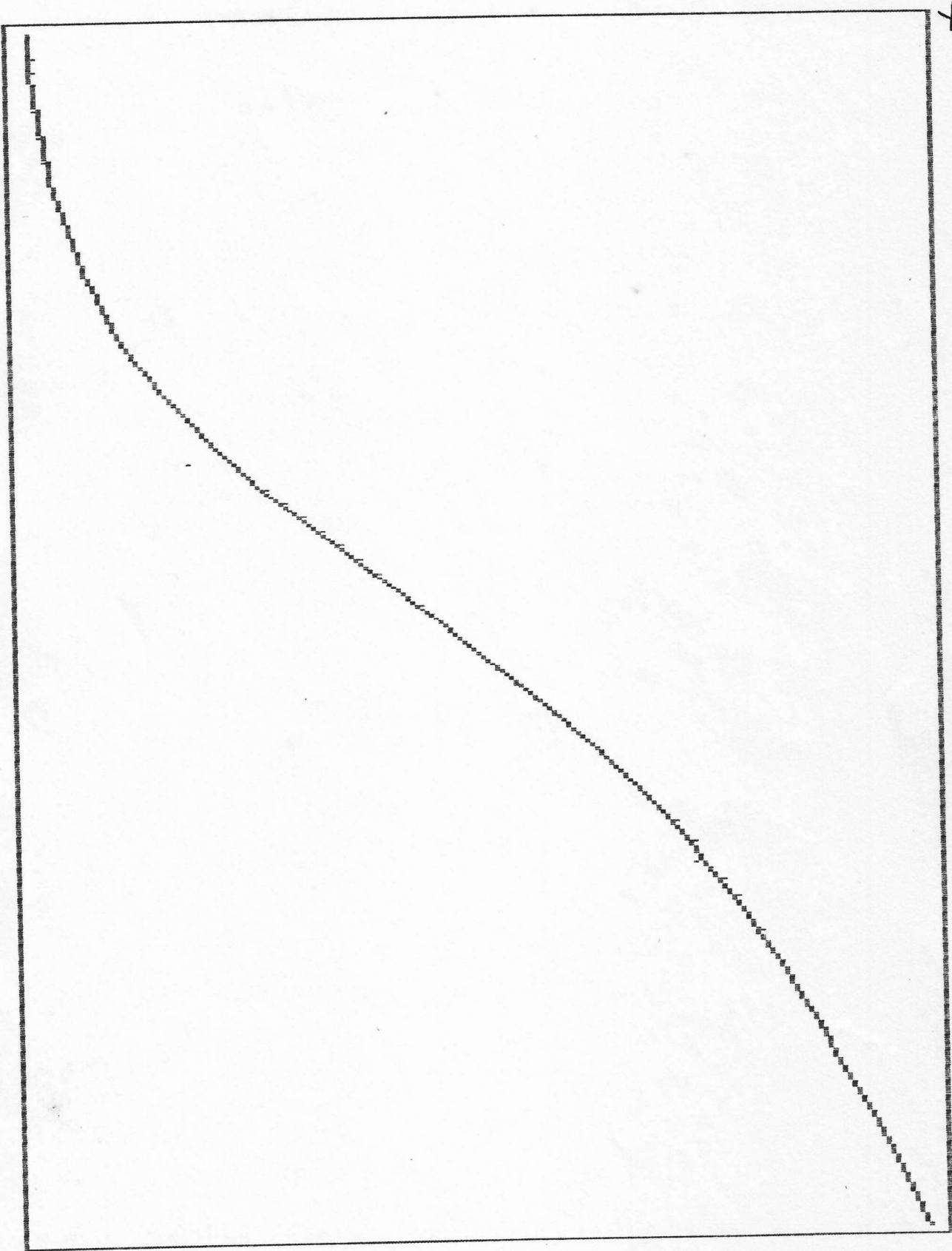
38



Puc 9



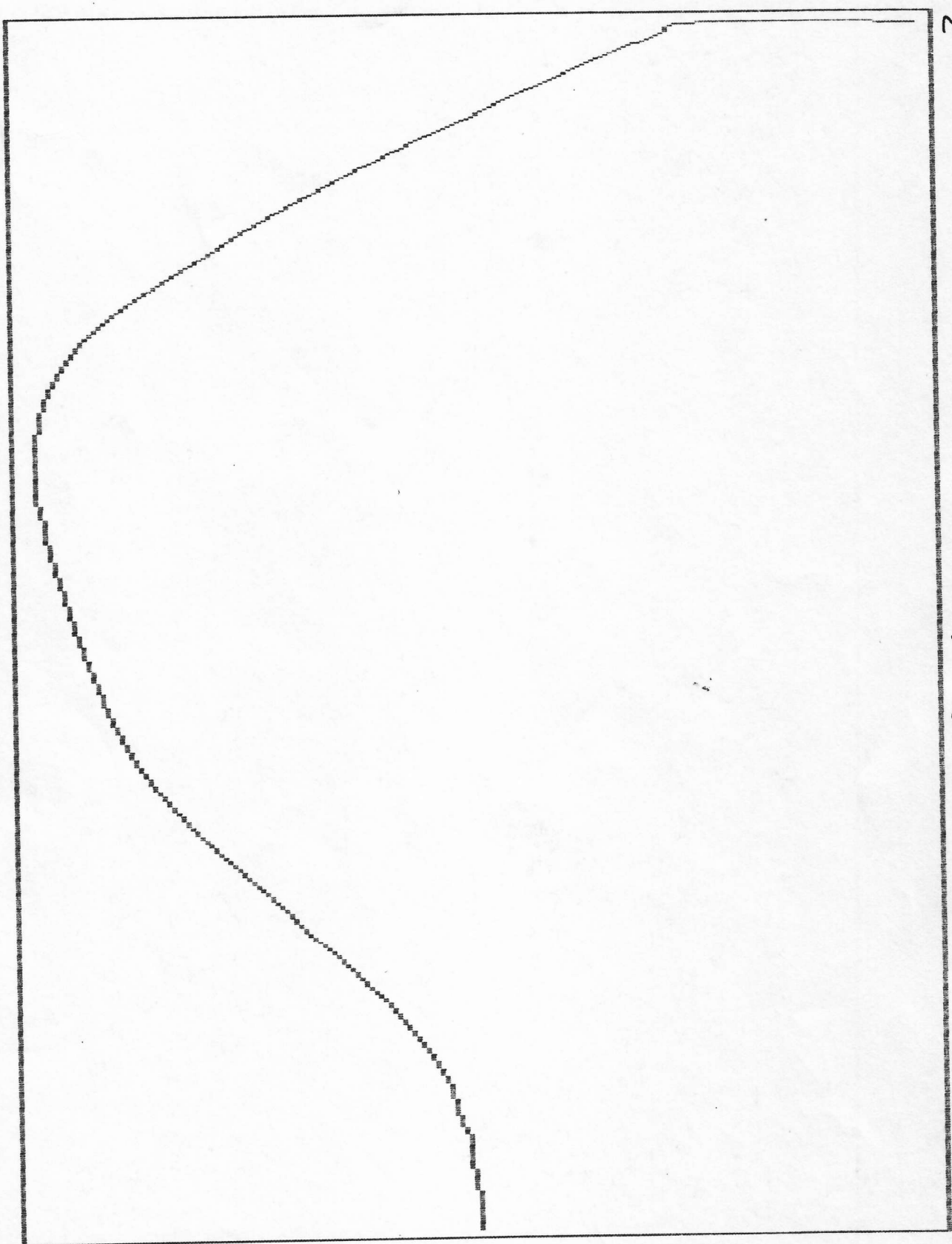
Puc. 5



w

z

Рис. 6



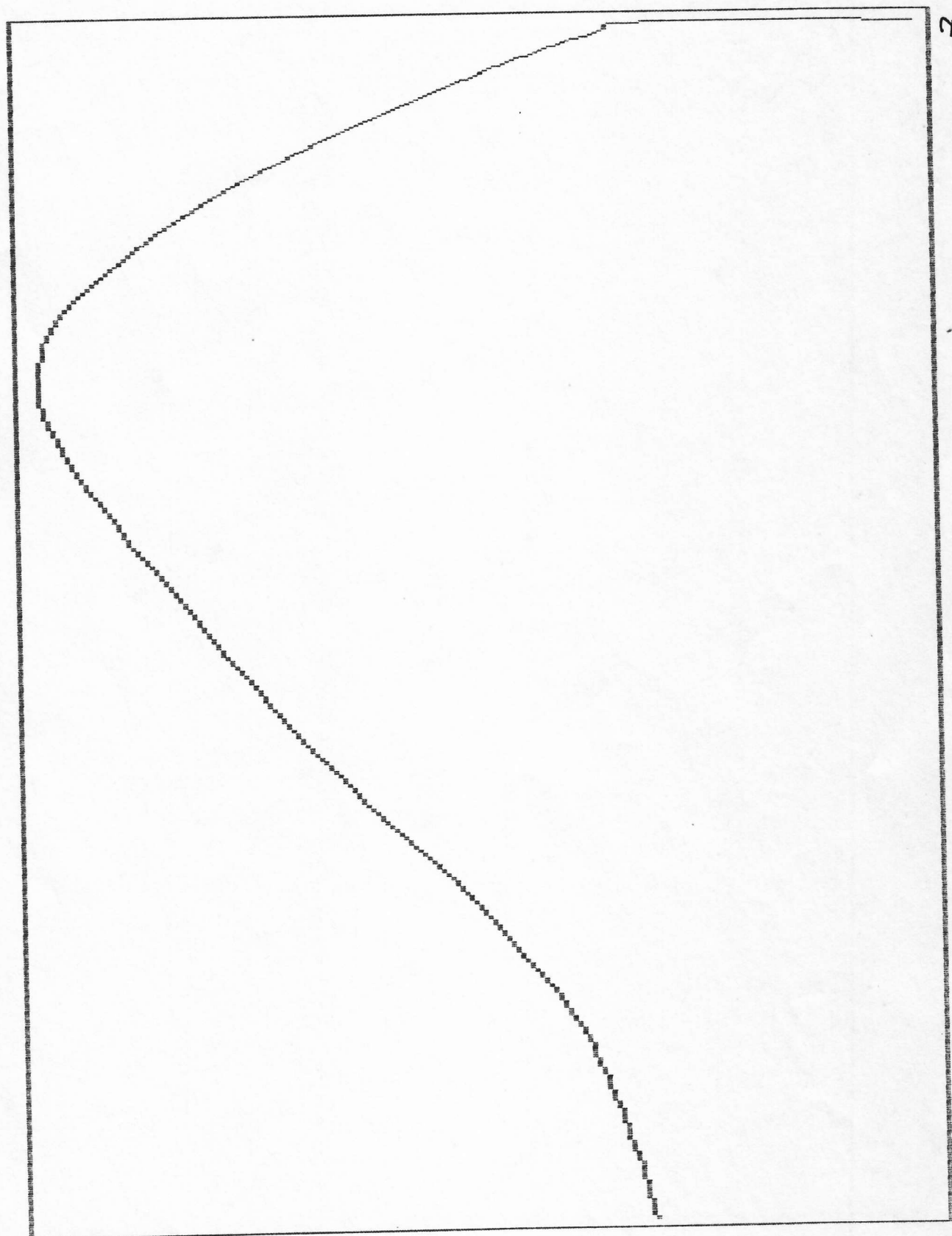
Z

M

Рис. 7

Z

Рис. 8



P

В2г. N -87 США Патент N 4274809
FO3Д 3/06; 7/06; Публ В1г. 23.06 т.1007, N 4

Воздушная турбина с вертикальной осью вращения.

(патент аналог Великобритании)

ИСМ N 10, вып 90, 88 год США

FO3Д 7/06; Патент N 4718821
НКИ 416-44 Публ. 88-01-12 т.1086 N 2
УДК 621.548.3

Лопасть ветряной мельницы.

OFFICIAL GAZETTE



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1601411 A 1

(51)5 F 03 D 3/00 ✓

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ
К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

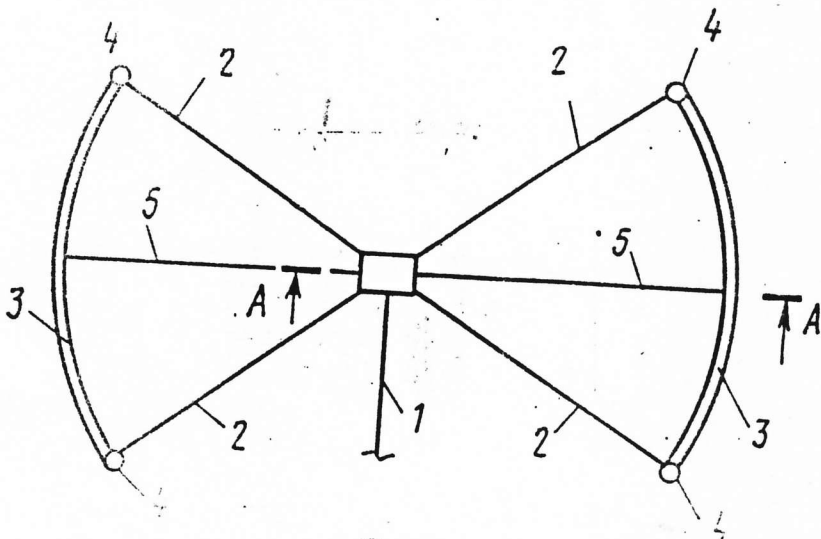
Саратовская областная
НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА

1

2

- (21) 4610760/25-06
(22) 30.11.88
(46) 23.10.90. Бюл. № 39
(71) Институт электродинамики АН УССР
(72) В. И. Валенко, В. Ф. Резцов,
А. П. Васильев и В. С. Валенко
(53) 621.548(088.8)
(56) Заявка Франции № 2285527,
кл. F 03 D 3/00, опублик. 1976.
(54) РОТОР ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ
(57) Изобретение позволяет увеличить на-
дежность работы ротора ветродвигателя
на вертикальном валу 1 и гибкими про-
дольными лопастями 2. Усиление ветра

в результате расположения центра тяжести лопасти вне плоскости, проходящей через ось вращения вала и сферические шарниры 4, с помощью которых лопасть связана с радиальными державками 2, закрепленными на валу, приводит к скручиванию лопастей на траверсах 5 под действием центробежных сил. Углы атаки лопастей изменяются, растет их аэродинамическое сопротивление, приводящее к сохранению частоты вращения ротора на безопасном уровне, что увеличивает надежность в работе ротора в широком диапазоне скоростей ветра. 1 - в. п. вала, 4 - ш.



Фиг.1

(19) SU (11) 1601411 A 1

Изобретение относится к ветроэнергетике и касается роторов ветродвигателей с вертикальной осью вращения.

Цель изобретения — увеличение надежности работы.

Изобретение схематично представлено на фиг. 1 — общий вид ветродвигателя; на фиг. 2 — сечение А—А на фиг. 1; на фиг. 3 — то же, вариант; на фиг. 4 — элементы шарнирной связи.

Ротор ветродвигателя содержит вертикальный вал 1, закрепленные на нем радиальные державки 2 и гибкие профилированные лопасти 3, расположенные вдоль вала 1 и связанные с державками 2 при помощи шарниров 4, установленных на концах каждой лопасти 3. Ротор также содержит горизонтальные траверсы 5, закрепленные на валу 1 и жестко связанные со средними частями лопастей 3. Шарниры 4 выполнены сферическими. Центр 6 тяжести каждой лопасти 3 расположен вне плоскости 7, проходящей через ось 8 вращения вала 1 и шарниры 4 лопасти 3. Шарниры 4 расположены в теле лопастей 3. В зависимости от условий работы и регулирования центр 6 тяжести может быть смещен относительно плоскости 7 как в направлении вращения, так и на

против направления вращения. Державки 2 могут иметь в своем поперечном сечении, как и лопасти 3, аэродинамический профиль.

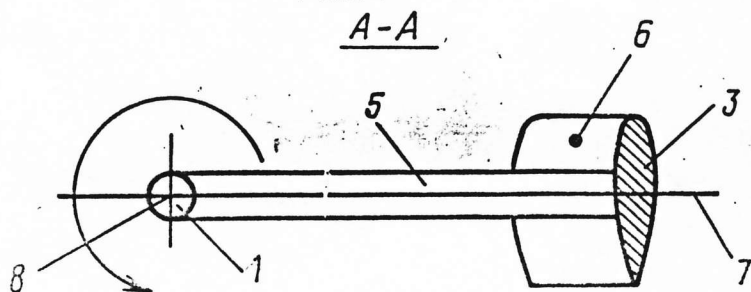
Вращение ротора происходит в результате взаимодействия лопастей 3 и держа-

вок 2 с набегающим потоком. Усиление ветра вызывает кратковременный рост частоты вращения ротора и увеличение центробежных нагрузок, действующих на лопасти 3. Так как центр 6 тяжести расположен вне плоскости 7, то центробежные силы скручивают лопасти 3, в результате чего изменяются их углы атаки и растет аэродинамическое сопротивление, приводящее к снижению частоты вращения ротора до первоначального рабочего значения, которое не является опасным для ротора. В результате увеличивается диапазон скоростей ветра при высокой надежности работы ротора.

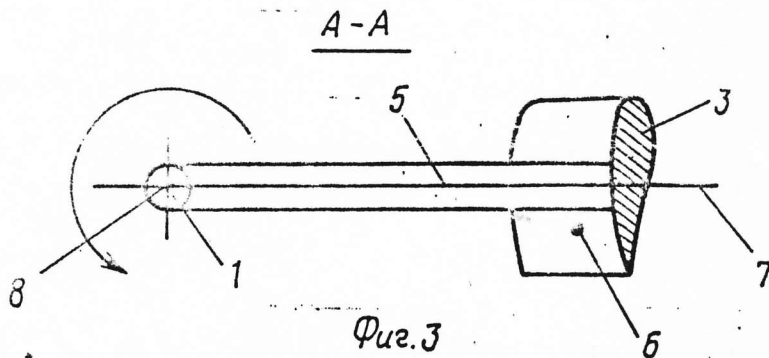
Формула изобретения

1. Ротор ветродвигателя, содержащий вертикальный вал, закрепленные на нем радиальные державки и гибкие профилированные лопасти, расположенные вдоль вала и связанные с державками при помощи шарниров, установленных на концах каждой лопасти, отличающийся тем, что, с целью увеличения надежности работы, ротор дополнительно содержит горизонтальные траверсы, закрепленные на валу и жестко связанные со средними частями лопастей, шарниры выполнены сферическими, а центр тяжести каждой лопасти расположен вне плоскости, проходящей через ось вращения вала и шарниры лопасти.

2. Ротор по п. 1, отличающийся тем, что шарниры расположены в теле лопастей.



Фиг. 2



Фиг. 3

Союз Советских
Социалистических
Республик



Государственный комитет
СССР
по делам изобретений
и открытий

О П И С А Н И Е ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

(11) 992799

(61) Дополнительное к авт. свид-ву -

(22) Заявлено 05.01.81 (21) 3230849/25-06

с присоединением заявки № -

(23) Приоритет -

Опубликовано 30.01.83. Бюллетень № 4

Дата опубликования описания 30.01.83

(51) М. Кл.³

F 03 D 3/00

(53) УДК 621.548.4
(088.8)

(72) Автор
изобретения

С. И. Погребной

(71) Заявитель

(54) КАРУСЕЛЬНЫЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЬ

1

2

Изобретение относится к ветроэнергетике и может быть использовано в ветроэлектрических агрегатах небольшой мощности.

Известен карусельный ветродвигатель, содержащий расположенное на башне ветроколесо со ступицей и закрепленными на ней махами, к концам которых шарнирно прикреплены подпружиненные профилированные лопасти, и генератор [1].

Однако такому устройству присущи недостаточный высокий КПД и повышенная материалоемкость.

Цель изобретения - повышение КПД и уменьшение материалоемкости карусельного ветродвигателя.

Поставленная цель достигается тем, что ветродвигатель снабжен закрепленной на башне неподвижной осью, махи выполнены в виде ферм, состоящих из обтекаемых стержней, а ступица установлена на оси с возможностью вращения и соединена с генератором.

На чертеже изображена схема карусельного ветродвигателя.

Карусельный ветродвигатель содержит расположенное на башне 1 ветроколесо со ступицей 2 и закрепленными на ней махами 3, к концам которых

шарнирно прикреплены подпружиненные посредством пружин 4 профилированные лопасти 5, и генератор 6. Ветро-
двигатель снабжен закрепленной на башне 1 неподвижной осью 7, а махи 3 выполнены в виде фермы, состоящей из обтекаемых стержней 8, а ступица 2 установлена на оси 7 с возможностью вращения и соединена с генератором 6.

Работа карусельного ветродвигателя осуществляется следующим образом.

При возникновении достаточно сильного ветра лопасти 5 начинают вращаться вокруг оси 7, при этом энергия от них передается через махи 3 и ступицу 2 на генератор 6. Выполнение махов 3 в виде стержневых ферм из обтекаемых стержней 8 обеспечивает уменьшение аэродинамического сопротивления ветроколеса, что приводит к увеличению КПД ветродвигателя. Кроме того, выполнение маха 3 в виде стержневой фермы позволяет повысить прочность и надежность ветроколеса и существенно снизить затраты материала на изготовление махов.

Таким образом, такое выполнение карусельного ветродвигателя позволя-

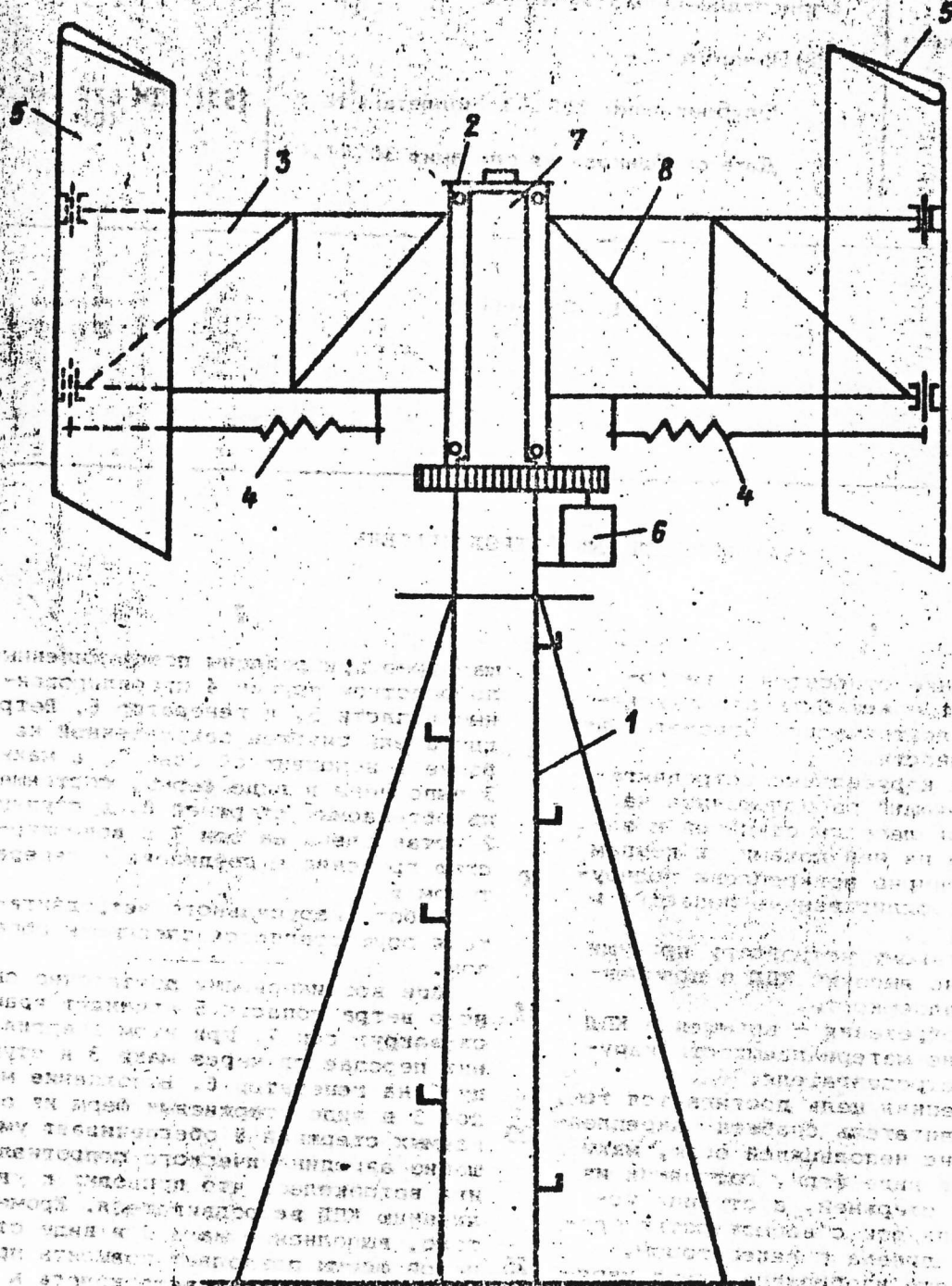
ад увеличить КПД устройства, снизить материалоемкость и увеличить надежность агрегата в целом.

формула изобретения

Карусельный ветродвигатель, содержащий расположенное на башне ватерколесо со ступицей и закрепленными на ней махами, к концам которых шарнирно прикреплены подпружиненные профилированные лопасти, и генератор,

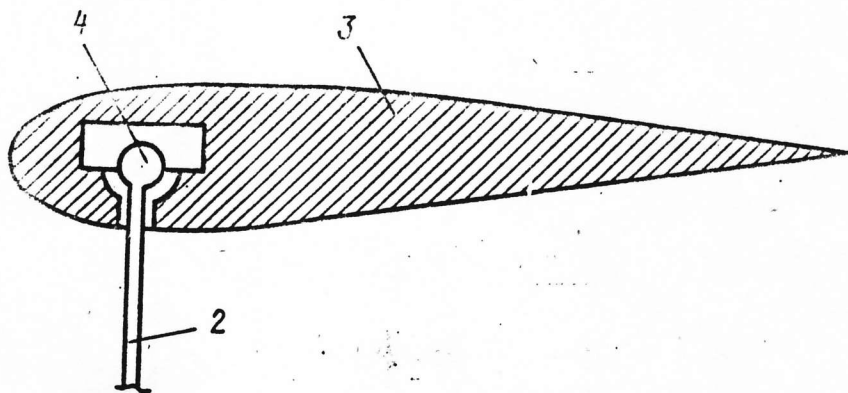
отличающийся тем, что, с целью повышения КПД и уменьшения материалоемкости, он снабжен закрепленной на башне неподвижной осью, махи выполнены в виде ферм, состоящих из обтекаемых стержней, а ступица установлена на оси с возможностью вращения и соединена с генератором.

Источники информации, принятые во внимание при экспертизе
1. Авторское свидетельство СССР № 333285, кл. F 03 D 3/00, 1972.



ВНИИПИ Заказ 405/42 Тираж 499 Подписное

филиал ППП "Патент", г.Ужгород, ул.Проектная, 4



Фиг. 4

Редактор С. Патрушева
Заказ 3261

Составитель П. Баклушин
Техред А. Кравчук
Тираж 360

Корректор В. Гирняк
Подписное

ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., д. 4/5
Производственно-издательский комбинат «Патент», г. Ужгород, ул. Гагарина, 101