

4. Дятлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. Учеб пособие для вту-зов. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.

Yu. Bikovsky, V. Levchenko

DEVELOPMENT OF THE METHOD ESTIMATING PARAMETERS OF MAGNETIC FIELD DISTRIBUTION WHILE USING HALL SENSORS

Methods for evaluating direct and alternating magnetic fields while using Hall sensors have been developed

Keywords: *constant(alternating) magnetic field, Hall sensors, coil*

Биковскій Ю.М., Левченко В.В.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ РОЗПОДІЛЕНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ДАВАЧА ХОЛЛА

Розроблена методика оцінювання постійного та перемінного магнітного поля за допомогою давача Холла.

Ключові слова: *постійне (перемінне) магнітне поле, давач Холла, катушка індуктивності.*

УДК 621.548

Олейников А.М., Матвеев Ю.В., Солодкий А.В.

**ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ АВТОНОМНОЙ
ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ
МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

Анализируется влияние основных параметров на характеристики автономных вертикально-осевых ветроэлектрических установок, даются рекомендации по их выбору и пример конструирования опытной ВЭУ малой мощности.

Повсеместное возрастание интереса к альтернативным источникам энергии, в том числе к автономным ВЭУ небольшой мощности, делает весьма актуальным разработку простых по конструкции и надежных в эксплуатации установок такого типа, не требующих отведения больших земельных площадей и постоянного обслуживания. Одной из перспективных представляется ВЭУ с вертикальной осью вращения, предложенная еще в начале 30-х годов прошлого века французским инженером Дарье.

При разработке такой ВЭУ на первое место выдвигаются задачи определения основных параметров ветроколеса.

Первая – это выбор количества лопастей, которое варьируется от 2 до 5 [1]. С увеличением их количества усиливается взаимное влияние между лопастями, поэтому, учитывая проблему самозапуска ротора при малой скорости ветра, число лопастей для ВЭУ рекомендуется выбрать равным трем.

Число оборотов ветроколеса (ВК) связано с коэффициентом быстроходности Z зависимостью [3]

$$Z = \frac{\Omega R}{V} = \frac{n\pi D}{60V}, \quad (1)$$

где Ω – угловая скорость; n – число оборотов в минуту; V – скорость ветра, а R и D – радиус и диаметр ветроколеса соответственно.

Быстроходность, в свою очередь, зависит от многих параметров, одним из которых является коэффициент затенения σ , определяемый как [2]

$$\sigma = \frac{n_d b}{D}, \quad (2)$$

где n_d – количество лопастей; b – ширина лопасти (хорда).

С другой стороны, с быстроходностью ВК связан коэффициент использования энергии ветра по мощности C_p . Зависимости $C_p=f(Z)$ для разных значений коэффициента затенения σ изображены на рис.1. Как видно из рисунка, даже при незначительном снижении скорости вращения ВК мощность ВЭУ резко падает, так что в качестве рабочего участка ВК следует выбрать область максимальных значений C_p , соответствующих изменениям значения быстроходности от 3 до 5 при всех значениях σ . При большем значении Z создаются опасные процессы в работе ВК, при этом возможно появление тряски и даже остановки в случае возможного “наброса” нагрузки на генератор. Кроме того, хорошо видно, что значение $Z_{\text{опт}}$, составляющее 3...4,5, лежит в пределах коэффициента затенения $0,1 \leq \sigma \leq 0,3$. При таких значениях быстроходности развивается значительная подъёмная сила, а она, в свою очередь, определяет эффективность использования энергии ветра. Вместе с тем, с увеличением быстроходности растет число оборотов ВК, а это усиливает опасность возникновения тряски. и оно

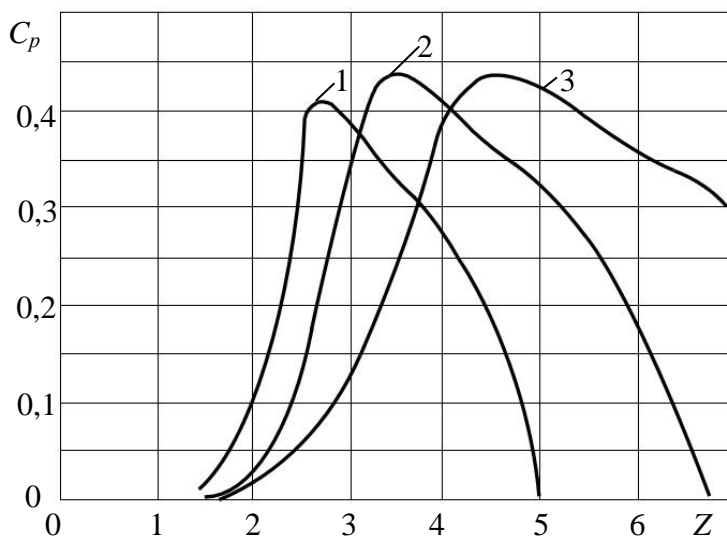


Рис.1. Зависимости $C_p=f(Z)$ для значений коэффициента затенения:

1 – $\sigma=0,4$; 2 – $\sigma=0,2$; 3 – $\sigma=0,1$

сильнее подвергается тряске. Таким образом, коэффициент затенения $\sigma=0,2$ представляется наиболее приемлемым.

Из рис. 1 также видно, что коэффициент использования энергии ветра по мощности C_p заметно меняется на восходящем участке кривой. Это означает что, для стабильной работы ВЭУ на рабочем участке, необходимо применить адаптивную схему управления с гибким алгоритмом работы по управлению отбором мощности и требованием не допускать возможности раскручивания ротора при недогрузке и остановки ВК в случае перегрузки.

При останове ротора необходимо отключить всю нагрузку, а затем

плавно подгружать ВЭУ, чтобы обеспечить ротору возможность самозапуска.

Оптимальный режим работы ВЭУ обеспечивается путем регулирования коэффициента нагрузки (управляется балластной нагрузкой).

Исключительно важно правильно выбрать лопасти с высоким аэродинамическим качеством и установить оптимальную величину их критического угла атаки, чтобы при вращении вне рабочего потока они оказывали минимальное сопротивление воздушному потоку.

На рис.2 изображены зависимости коэффициента подъёмной силы C_L от угла атаки α для трех разных профилей [5]. Две последние цифры в обозначении профиля означают наибольшую толщину лопасти в % от значения ее хорды.

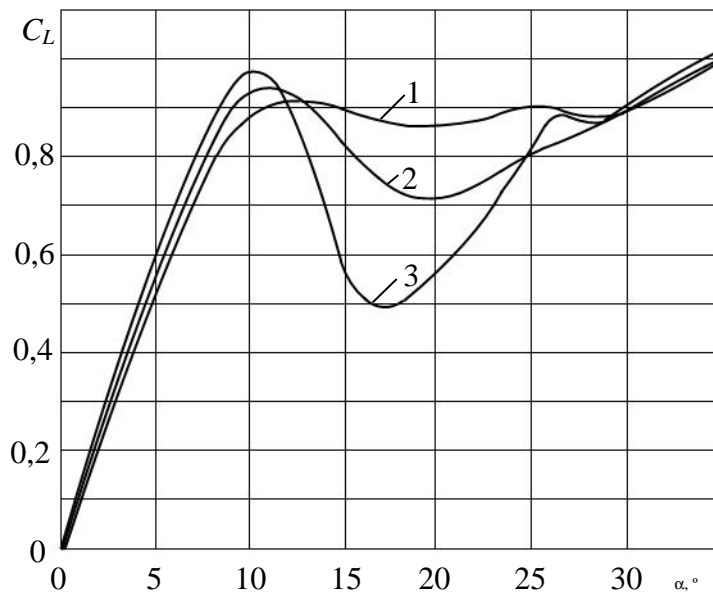


Рис. 2. Залежності $C_L=f(\alpha)$ для різних профілів:

- 1 – профіль NACA0021;
- 2 – профіль NACA0018;
- 3 – профіль NACA0015.

Из сравнения кривых рис.2 следует что, чем тоньше профиль, тем раньше наблюдается провал подъемной силы: для тонкого 15%-го профиля при ≈ 13 градусах угла атаки; для 18% -го профиля – при 18 градусах, а для 21% -го профиля – при двадцати градусах угла атаки.

У самого толстого профиля NACA0021 величина провала подъемной силы значительно меньше, чем у других профилей, поэтому симметричный профиль лопасти NACA0020, близкий по значениям геометрии профиля NACA0021, был выбран нами для разрабатываемой ВЭУ. Оптимальное значение угла атаки составляет $\alpha \approx 10^\circ$. Исходя из названных обстоятельств, для экспериментального образца ВЭУ бы-

ла применена фиксированная установка угла атаки при возможности установки трех углов: 5° ; 10° и 15° .

Подчеркнем еще раз, что главной проблемой подобной ВЭУ этого типа является самозапуск ротора. Во время старта, когда скорость ветра является недостаточно высокой, лопасти находятся в докритическом режиме, а пограничный слой на лопастях нестабилен. Подъемная сила и лобовое сопротивление лопасти претерпевают скачкообразные и непрогнозируемые изменения, что не обеспечивает эффекта самозапуска. В результате ВК находится в так называемой “мертвой зоне”. В аэро- и гидромеханике поведение тела в среде характеризуется безразмерным коэффициентом – числом Рейнольдса (Re), которое прямо пропорционально значениям скорости набегающего потока на крыло и хорды лопасти. Существует критическое значение числа Re , при котором сопротивление крыла воздушному потоку большое, а подъемная сила мала. Как только значение Re превысит критическое значение, сопротивление крыла воздушному потоку в несколько раз уменьшится, а подъемная сила в несколько раз увеличится и произойдет раскрутка ВК. Для обеспечения устойчивой работы и хороших пусковых характеристик ротора Дарье критическое значение числа Рейнольдса, которое должно учитываться при выборе диаметра ВК, должно быть не меньше $Re=160000$.

Для облегчения самозапуска ВК могут использоваться следующие меры [4]:

- применение дополнительных устройств парусного типа, например типа Савониуса, что, однако усложняет процесс остановки ВЭУ при сильном ветре;
- использование в ВК управляемого угла атаки лопастей, что повышает требования обеспечения механической прочности ВК;
- оптимизация характеристик ВК и использование интеллектуальной схемы управления, отслеживающей изменения внешних факторов.

Исходя из вышесказанного для облегчения самозапуска необходимо разумное применение ротора Савониуса, а также использование адаптивной схемы управления.

Для примера рассчитаем параметры трехлопастной ВЭУ малой мощности, учитывая соотношения (1) и (2). Для выбранного выше значения коэффициента затенения $\sigma=0,25$ и длины хорды лопасти $b=0,3$ м, значение диаметра D ветроколеса, с учетом заданного значения мощности, составит $D=3,6$ м.

Длину лопасти H найдем, сделав предварительно оценку мощности P на валу ветроколеса

$$P = 0,605C_pDHV^3, \quad (3)$$

где $C_p=0,35\dots0,4$ для ротора Дарье [2].

Значения P и H при $C_p=0,35$ и $V=10$ м/с, рассчитанные по соотношению (3), приведены в табл.1; для достижения максимальной мощности ВЭУ $P=1,5$ кВт требуемая длина лопасти составит $H=2$ м.

Таблица 1

Результаты расчета мощности ВЭУ в зависимости от длины лопасти

$H, \text{ м}$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
$P, \text{ Вт}$	762	1143	1524	1905	2286

Важным этапом расчета ВЭУ является согласование характеристик ВК и генератора, для чего следует произвести расчет числа n оборотов ветроколеса в зависимости от скорости ветра для данной конструкции ветроколеса.

Результаты расчета числа оборотов ВК при значении быстроходности $Z=3$ в зависимости от скорости ветра приведены в табл.2.

Таблица 2

Результаты расчета числа оборотов в зависимости от скорости ветра

$V, \text{ м/с}$	3	5	7	10	15
$n, \text{ об/мин}$	47	75	111	150	238

Как видно, ВЭУ этого типа можно отнести к классу тихоходных, поэтому представляется целесообразным рассмотреть применение в ней многополюсного низкооборотного генератора или генератора с дополнительным мультипликатором.

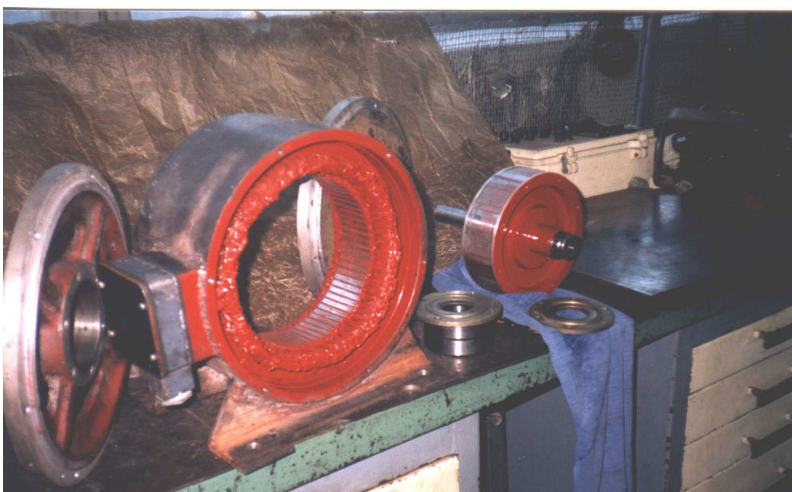


Рис. 3. Основные элементы опытного образца СГПМ 2,5-375 перед сборкой генератора

В экспериментальной ВЭУ с вертикальной осью вращения установлен синхронный генератор на постоянных магнитах (СГПМ) с номинальной мощностью 2,5 кВт при скорости вращения $n_n=375$ об/мин. Основные элементы опытного образца СГПМ 2,5-375 перед сборкой генератора показаны на рисунке 3.

На рисунке 4 изображена трехмерная сборка конструкции ВЭУ, выполненная в программе Компас-3D.

В состав ВЭУ входит также электронная схема управления с аккумуляторной батареей, инвертором и соединительным кабелем.

Для обеспечения прочности лопасти ВК имеют в основе легкий дюралюминиевый каркас из нервюр, выполненных по профилю НАСА0020. Поверхность лопасти покрыта стеклопластиком. Крепление лопастей ВК сделано в два яруса с боковыми траверсами, выполненными из труб марки Д-16Т. Длина лопастей 2 метра, общий диаметр ветроколеса около 4 метров.

Особенностью данной конструкции является то, что в целях продления срока службы генератора сделана разгрузка вала генератора от веса ветроколеса путем применения дополнительного переходника.

ВК посредством шлицевого прямообочного соединения соединяется с переходником 2, закрепленным на корпусе основания 3 с помощью болтов с гайками.

Переходник включает вал, подшипниковые щиты с радиально-упорными подшипниками 40x68 и стальной каркас. Соединение щитов осуществляется шпильками через стальной каркас. ВК закрепляется на валу переходника гайкой со стопорной шайбой, а другой конец вала переходника также имеет шлицевое прямообочное шлицевое соединение с втулочно-пальцевой муфтой. Посредством муфты вал генератора соединяется с валом переходника.

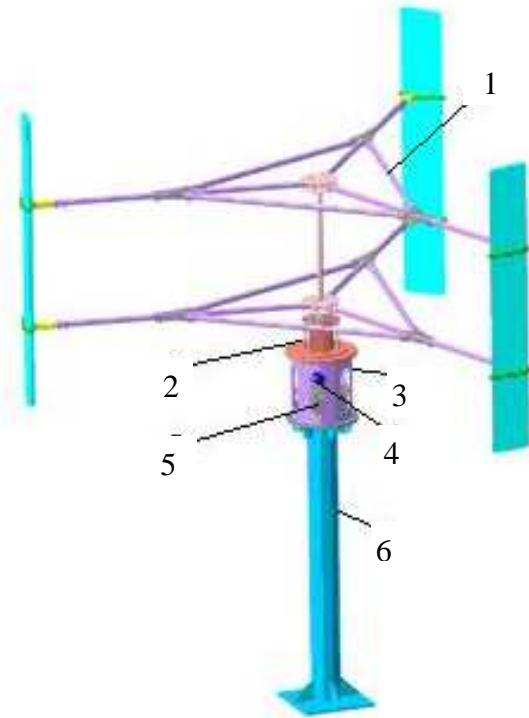


Рис.4. Трехмерная сборка конструкции ВЭУ, выполненная в программе Компас-3D:

- 1 – ветроколесо; 2 – переходник; 3 – корпус основания;
4 – втулочно-пальцевая муфта; 5 – синхронный генератор;
6 — стойка

сборочном участке цеха, показан на рис.5.

В заключение следует отметить, что в процессе создания экспериментальной ВЭУ были разработаны:

два типа многополюсных тихоходных синхронных генератора с постоянными магнитами, на которые получены патенты Украины;

методика и программа расчета тихоходного синхронного генератора на постоянных магнитах, реализованная в среде Mathcad;

математические модели, описывающие работу горизонтально - и вертикальноосевых ВЭУ, реализованные в среде Mathcad.

В заключение следует отметить, что в процессе создания экспериментальной ВЭУ были разработаны:

два типа многополюсных тихоходных синхронных генератора с постоянными магнитами, на которые получены патенты Украины;

методика и программа расчета тихоходного синхронного генератора на постоянных магнитах, реализованная в среде Mathcad;

Основная функция муфты заключается в защите генератора от перегрузок и для компенсации возможной несоосности валов генератора и переходника.

Синхронный генератор 5 закреплен на стойке ВЭУ внутри корпуса основания 3. Электрический кабель, проложенный в стойке, соединяет генератор с электронной схемой управления, которая выполняет функции контроля, управления, защиты и преобразования энергии.

Накопителем вырабатываемой ВЭУ энергии является аккумуляторная батарея, а для снабжения потребителей переменным напряжением 220 В, 50 Гц предполагается применение внешнего инвертора. Для обеспечения полной безопасности торможение ВК осуществляется дополнительной тормозной электромагнитной муфтой и путем увеличения тока нагрузки на генератор. Экспериментальный макет описанной автономной ВЭУ, собранный на

математические модели, описывающие работу горизонтально - и вертикальноосевых ВЭУ, реализованные в среде Mathcad;

схема управления автономной ВЭУ.

Кроме того, выполнен анализ устойчивости работы автономной ВЭУ с синхронным генератором на постоянных магнитах при различной нагрузке. Следует при этом отметить, что вопросы аэродинамического расчета и изготовления простых по конструкции и надежных в эксплуатации лопастей для автономных вертикально осевых ВЭУ, а также проблемы регулирования скорости их вращения требуют дальнейшего изучения.

Выводы:

1. Выполненные и отработанные вопросы моделирования, расчета и конструирования автономной ветроустановки малой мощности, а также их практическая реализация в экспериментальном образце ВЭУ, показали правильность научного и инженерного подхода к ее разработке;
2. Проведенные исследования подтвердили перспективность использования таких ВЭУ для автономного электроснабжения;
3. Результаты выполненной работы могут найти свое воплощение не только при индивидуальном изготовлении, но и при поточном производстве автономных ВЭУ.



Рис.5. Экспериментальный образец автономной ВЭУ в цехе сборки

ЛИТЕРАТУРА

1. Неисчерпаемая энергия. Кн.2. Ветроэнергетика / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. –Учебник. – Харьков, Севастополь: Изд-во Нац. аэрокосмического ун-та, Севаст. нац. техн. ун-та, 2004. –519 с.
2. Автономные ветроэнергетические установки: учебно-методическое пособие для студентов технических высших учебных заведений/А.М. Олейников, Ю.В Матвеев [и др.]; под ред. Олейникова А.М. –Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2009. – 192 с.
3. Олейников А.М. Моделирование режима ветроэлектрической установки малой мощности / А.М. Олейников, Ю.В. Матвеев, Л.Н. Канов // Электротехника и электромеханика.– 2010. – № 2.– С.16–20.
4. Олейников А.М. Математическая модель автономной безредукторной ветроэлектрической установки на генераторе с постоянными магнитами / А.М. Олейников, Л.Н. Канов, Ю.В Матвеев, Е.И. Зарицкая // Электротехника и электроэнергетика.– 2010.– № 2. – С.62 – 67.
5. Sheldahl R. E. Aerodynamic characteristics of 7 symmetrical airfoil sections through 180-degree angle of attack for use in aerodynamics analysis of vertical axis wind turbine [Report-SAND80-2114] / R. E. Sheldahl, P. C. Klimas. – Albuquerque, NM: Sandia National Laboratories, 1981. – 120 с.

Oleynikov A.M., Matveev Y.V.

EXPERIENCE DESIGN OF THE AUTONOMOUS VERTICAL AXIS WIND-ELECTRIC SETTING OF SMALL POWER

Explores ways to create a standalone vertical-axis wind-electric installations and provides guidance on their creation.

Keywords: rotor, blades, generator, wind, wind-wheel.

Олейніков О.М., Матвєєв Ю.В., Солодкий А.В.

ДОСВІД КОНСТРУЮВАННЯ АВТОНОМНОЇ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЬОВИ ВІТРОЕЛЕКТРИЧНІ УСТАНОВКИ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Аналізуються шляхи створення автономних вертикально-осьових вітро-електричних установок і даються рекомендації з їх створення.

Ключові слова: ротор, лопата, генератор, вітер, вітроколесо.

УДК 551.465

Дегтерев А.Х., Мордашев В.И.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСА РАСПРЕСНЕННЫХ ВОД ВБЛИЗИ БЕРЕГА МОРЯ

Предложена модель, описывающая адвективный перенос и турбулентную диффузию примеси по методу Монте-Карло. В качестве примера приведены результаты расчета переноса распресненных вод Восточно-Гренландским течением в Северной Атлантике. Показано, что за время теплого сезона воды арктического происхождения не успевают равномерно распределиться в зоне 50–70° с.ш., как это предполагается при моделировании термохалинной катастрофы. При ширине течения 100 км и значении коэффициента горизонтальной турбулентной диффузии 1000 м²/с через 1,5 месяца счетного времени концентрация соответствующих частиц на расстоянии 250 км от берега на два порядка меньше, чем у берега.

Ключевые слова: численное моделирование, термохалинная катастрофа, таяние льдов, течение, горизонтальная турбулентность, метод Монте-Карло.

Данные современных прецизионных исследований проб льда из ледников Гренландии и осадков на дне нескольких озер в Великобритании и других странах Северной Европы показывают, что несколько тысяч лет назад при медленном потеплении климата в Европе происходили быстрые похолодания [1]. Так, 8200 лет назад всего за 1-2 года среднегодовая температура на севере Европы уменьшилась почти на 10°C, в основном за счет понижения зимних температур. Причем это был не просто один аномальный год – низкие температуры держались потом в течение 200–300 лет, все это время в Великобритании зимой стояли сибирские морозы. Климатологи связывают это явление с таянием льдов Арктики, которое привело к поступлению большого количества распресненных талых вод в Северную Атлантику и тем самым усилило вертикальную стратификацию в районах формирования глубинных вод. При этом блокировалась вертикальная циркуляция и, как следствие, прекращался перенос теплых вод Гольфстримом. В связи с этим в последние годы наряду с широко известной проблемой прогнозирования глобального потепления большое внимание уделяется изучению этого явления. Быстрое таяние арктических льдов может и в наше время привести к аналогичным последствиям, что обуславливает актуальность работ по изучению перераспределения пресных вод в Северной Атлантике.

Из наблюдений хорошо известен тот факт, что при наличии прибрежного течения вблизи берега образуется сравнительно узкая полоса загрязненных стоками вод, тогда как мористее воды гораздо чище. Это характерно, например, для западного побережья Черного моря, где основное Черноморское течение переносит разбавленные воды Дуная и Днепра. Очевидно,