

УДК 621.311.245

UDC 621.311.245

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ПАРАМЕТРОВ РЕЗЕРВНОЙ  
АККУМУЛЯТОРНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ  
ДЛЯ ДОИЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ**

**THEORETICAL FOUNDATION OF  
PARAMETERS FOR AN AUXILIARY  
RECHARGEABLE POWER PLANT FOR A  
MILKING UNIT**

Воронин Сергей Михайлович  
д.т.н., профессор

Voronin Sergey Mikhailovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Бабина Любовь Витальевна  
аспирантка кафедры энергетики

Babina Lyubov Vitalyevna  
postgraduate student

Овсянников Николай Сергеевич  
инженер  
*Азово-Черноморская государственная  
агроинженерная академия, Зерноград, Россия*

Ovsyannikov Nikolay Sergeevich  
engineer  
*Asov-Blacksea State Agroengineering  
Academy, Zernograd, Russia*

Установлены следующие параметры резервной аккумуляторной электростанции: мощность инвертора, емкость аккумуляторов, мощность ветроустановки, рабочая скорость ветра, конструктивные размеры ветроустановки. Установлено, что наиболее дешевая ветроэнергетическая установка должна иметь рабочую скорость ветра 6 м/с

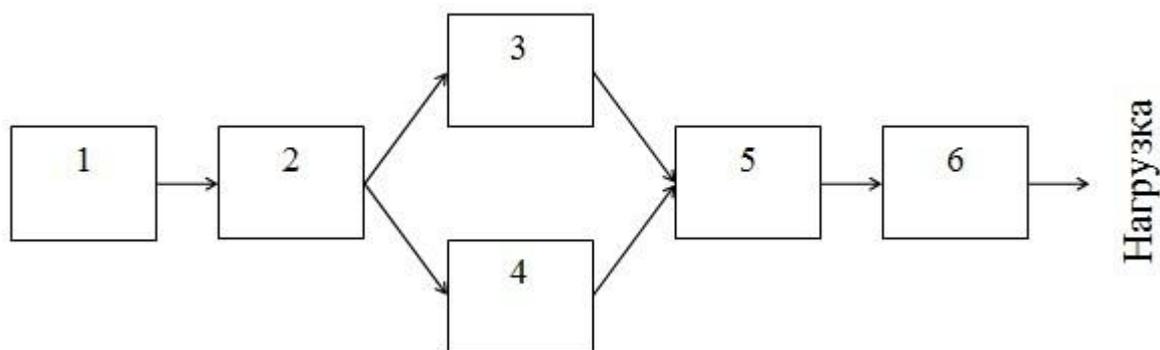
We establish the following parameters for an auxiliary rechargeable power plant: power rating of the inverter, battery capacity, and power output of the wind turbine, operational wind speed, and design dimensions of the wind turbine. It is shown, that a wind-driven rechargeable power plant is most cost-effective at the wind speed of 6 m/s

Ключевые слова: МОЩНОСТЬ ИНВЕРТОРА, ЕМКОСТЬ АККУМУЛЯТОРОВ, МОЩНОСТЬ ВЕТРОУСТАНОВКИ, РАБОЧАЯ СКОРОСТЬ ВЕТРА, РАЗМЕРЫ ВЕТРОУСТАНОВКИ

Keywords: INVERTER POWER RATING, BATTERY CAPACITY, WIND TURBINE POWER OUTPUT, WIND SPEED, WIND TURBINE SIZE

Резервная аккумуляторная электростанция обладает некоторыми преимуществами по сравнению с топливными электростанциями – исключение дорогостоящего топлива, малые затраты на обслуживание, быстрый ввод в действие, высокая экологичность. Кроме того, аккумуляторная ветроэлектростанция получает электроэнергию от возобновляемого источника энергии – ветра.

Структурная схема аккумуляторной электростанции приведена на рисунке 1.



1 – источник электроэнергии; 2 – контроллер заряда; 3, 4 – аккумуляторы; 5 – блок переключения аккумуляторов; 6 – инвертор напряжения.

Рисунок 1 – Структурная схема аккумуляторной резервной электростанции

Аккумуляторная ветроэлектростанция работает следующим образом. При наличии ветра достаточной мощности ветроэлектростанция заряжает аккумуляторы. Постоянное напряжение аккумулятора преобразуется инвертором в переменное трехфазное напряжение 380/220В (частотой 50Гц) на выходе.

Резервная электростанция выдает электроэнергию периодически, только при отказе основного источника. В этом случае потребитель подключается к заряженному аккумулятору. При этом баланс энергии описывается следующим уравнением:

$$P_{ВЭС} \tau_z \eta_A \eta_{ИНВ} = P_H \tau_p \quad (1)$$

где  $P_{ВЭС}$  – мощность ветроэлектростанции, Вт;  $\tau_z$  – время заряда аккумулятора, ч;  $\eta_A$  – КПД аккумулятора;  $\eta_{ИНВ}$  – КПД инвертора;  $P_H$  – мощность нагрузки, Вт;  $\tau_p$  – время разряда аккумулятора, ч.

Таким образом, особенностью работы резервной ветроэлектростанции является ее периодическое включение, причем период зарядки аккумуляторов в несколько раз превышает период их работы на нагрузку.

Не смотря на большое разнообразие состава электрооборудования летних доильных площадок, его можно разделить по технологическим процессам следующим образом: водоснабжение; доение и перекачка молока; первичная обработка молока (охлаждение); подогрев воды для технологических нужд; освещение.

Водоснабжение обычно предусматривает накопление воды в резервуарах и в этой связи может допускать длительные перерывы в электроснабжении (до восьми часов).

Доение и перекачка молока не допускают перерывов в электроснабжении больше часа, а на летних доильных площадках задержка доения нежелательна вообще, так как приводит в свою очередь к задержке перегона животных на пастбище, дополнительному расходу заготовленных кормов и сокращению удоев.

Первичная обработка молока (охлаждение) также не допускает перерывов в электроснабжении более одного часа.

Для технологических нужд (подготовка вымени, мойка доильного оборудования и т.п.) вода подогревается в водонагревателях термосного типа, и поэтому допускает перерывы в электроснабжении до шести часов.

Освещение летних доильных площадок предусматривается при круглосуточном содержании животных в летних лагерях и должно работать бесперебойно только во время утренней и вечерней доек. Однако такая технология применяется не всегда, животные на ночь могут перегоняться в стойловые помещения, где и проводятся утренние и вечерние дойки [1].

Таким образом, следует предусматривать два варианта резервных электростанций для летних доильных площадок – с круглосуточным и дневным содержанием животных в летних лагерях. При этом бесперебойное освещение будет требоваться только во время дойки.

На рисунке 2 приведен график работы электроустановок, требующих резервного электроснабжения.



1 – доильный аппарат АИД; 2 – молочный насос; 3 – резервуар – охладитель МКЦ-150

Рисунок 2 – График работы резервируемых электроустановок

Ветровая аккумуляторная резервная электростанция характеризуется следующими параметрами, которые требуется установить: мощность инвертора; емкость аккумуляторов; мощность ветроустановки; рабочая скорость ветра; конструктивные размеры ветроустановки. Последовательность определения этих параметров следующая: мощность инвертора; аккумуляторная батарея; ветроустановка.

Как следует из графика 2, максимальная мощность резервной электростанции должна быть достаточной для работы доильного аппарата и перекачивающего молочного насоса. Приняв, что продолжительность отключения будет не более двух часов, аккумуляторная электростанция должна обеспечить подачу электроэнергии не менее 2,15 кВт.ч. В соответствии с этим можно использовать инвертор напряжения, который должен преобразовывать постоянное напряжение 12В в трехфазное напряжение 380/220В, и иметь мощность не менее 1,5кВт при дневном содержании животных и не менее 2кВт при круглосуточном содержании

животных в летних лагерях. Такие инверторы выпускаются промышленностью, например, можно применить инверторы типа SIM-1500M и SIM-2000M.

Так как структурной схемой предусмотрено инвертирование напряжения, то с учетом КПД инвертора емкость аккумуляторов определится следующим образом:

$$C_{AB} = \frac{W_{MAX}}{\eta_{ИНВ} U_{AB}} \quad (2)$$

где  $C_{AB}$  – емкость аккумуляторной батареи, А.ч;  $W_{MAX}$  – максимально возможное потребление энергии, Вт.ч;  $\eta_{ИНВ}$  – КПД инвертора;  $U_{AB}$  – напряжение аккумуляторной батареи, В.

Для летней доильной площадки дневного содержания животных емкость аккумуляторной батареи при напряжении 12В должна быть не менее 360 А.ч., то есть достаточно двух параллельно включенных аккумуляторов 6СТ-190. При круглосуточном содержании животных в летних лагерях потребление электроэнергии в вечернее время увеличивается за счет необходимости освещения рабочих мест, и максимальное потребление, требующее резервирования, достигает 2,35 кВт.ч. Минимальная емкость аккумуляторной батареи при этом составит 400 А.ч, что возможно обеспечить двумя параллельно включенными аккумуляторами 6СТ-210.

Потребление электроэнергии на зарядку аккумулятора определяется с учетом его КПД:

$$W_{ПОТР} = \frac{C_{AB} U_{AB}}{\eta_{AB}} \quad (3)$$

где  $W_{ПОТР}$  – потребляемая электроэнергия на зарядку аккумулятора, Вт.ч;  $\eta_{AB}$  – КПД аккумуляторной батареи.

В соответствие с расчетами потребляемая электроэнергия на один цикл работы (разряда на резервируемый потребитель) аккумуляторной

электростанции составляет 6,85кВт.ч для дневного и 7,60кВт.ч для круглосуточного содержания животных. При таком потреблении возможно в качестве зарядного источника электроэнергии применять ветроэлектростанцию [1].

Фактическое время зарядки аккумулятора, мощность ветроэнергетической установки, а также ее размеры зависят от рабочей скорости ветра. Наибольшую энергию ветроустановка будет выдавать при определенной скорости ветра. Для того чтобы определить рабочую скорость ветроэнергетической установки, необходимо рассмотреть следующие зависимости: зависимость вырабатываемой энергии ветра от его скорости, зависимость отношения энергии ветра к ометаемой площади от его скорости, зависимость времени зарядки аккумулятора от скорости ветра.

Удельная мощность ветрового потока определяется из следующего выражения:

$$N_B = \frac{\rho}{2} v_p^3 \quad (4)$$

где  $v_p$  – скорость ветра, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг / м<sup>3</sup>;  $\rho = 1,3$  кг / м<sup>3</sup>.

Энергия ветра за время между отключениями:

$$E = N_B \cdot \tau_\phi \quad (5)$$

где  $\tau_\phi$  – время, за которое не произойдет отключения, час.

Фактическое время зарядки определяется по следующей формуле:

$$\tau_\phi = \tau_3 p(v \geq v_p) \quad (6)$$

где  $\tau_3$  – время между отключениями,  $\tau_3 = 168$  час;  $p(v \geq v_p)$  – вероятность того, что скорость ветра будет больше рабочей скорости.

График зависимости вырабатываемой энергии от рабочей скорости ветра показана на рисунке 1.

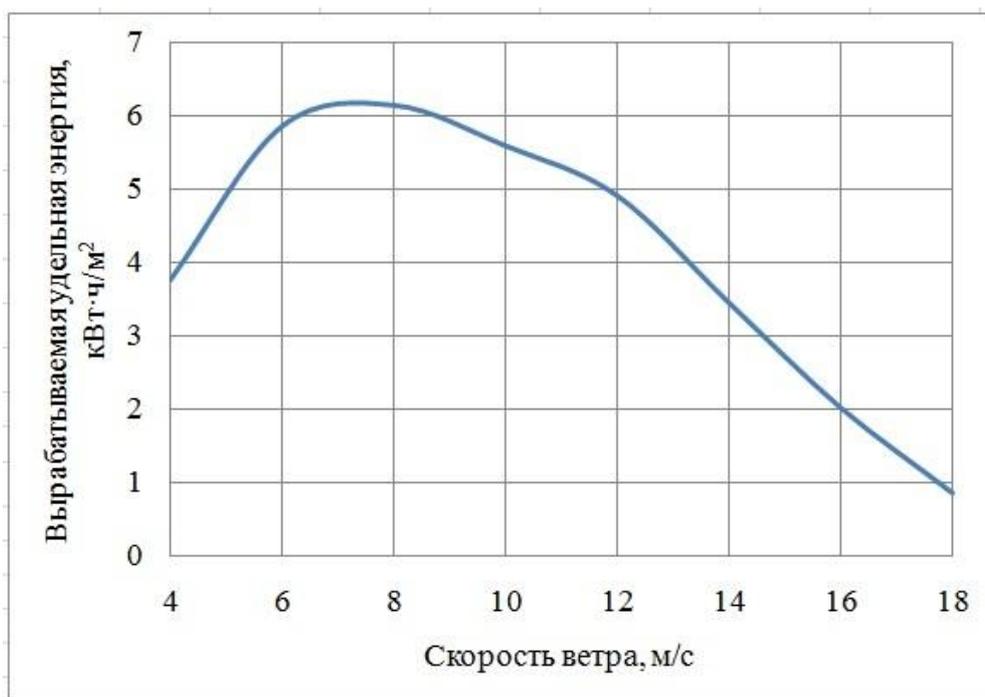


Рисунок 3 – График экспериментальной зависимости энергии ветра от скорости ветра.

Из графика на рисунке 3 следует, что рабочая скорость ветра, при которой энергия максимальна, находится в диапазоне 6 – 9 м/с.

Размеры, а, следовательно, и стоимость ветроустановки зависит от ометаемой площади. В зависимость от мощности ветроустановки, ометаемая площадь определяется по формуле:

$$F_{BK} = \frac{E_{номр}}{N_B \cdot t_\phi} \quad (7)$$

где  $E_{номр}$  – потребляемая энергия, кВт·ч.

Потребляемая энергия определяется следующим образом:

$$E_{номр} = \frac{C_A \cdot U}{N_B \cdot t_\phi} \quad (8)$$

где  $C_A$  – емкость аккумуляторной батареи, А·ч;  $U$  – напряжение, В.

Так как вырабатываемая энергия зависит от рабочей скорости ветра, которая определяет и ометаемую площадь ветроколеса, то представляет

интерес удельный показатель вырабатываемой энергии к ометаемой площади (рисунок 4).

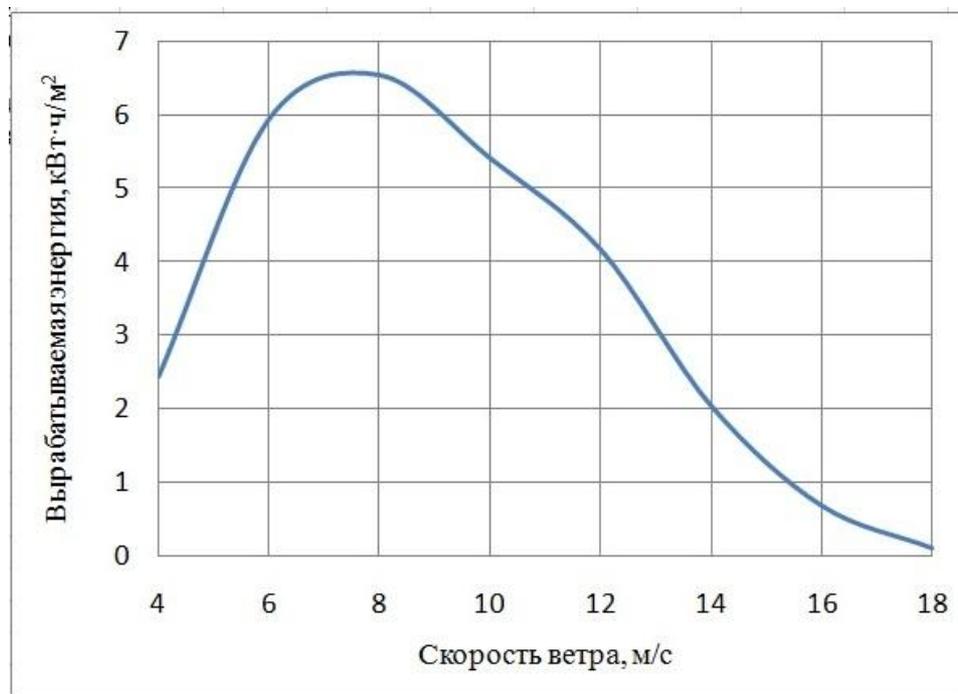


Рисунок 4 – График зависимости отношения энергии ветра к ометаемой площади от скорости ветра.

Как видно из приведенного графика (рисунок 4), функция вырабатываемой энергии зависит от распределения скоростей ветра и имеет явно выраженный максимум 6-9 м/с.

На рисунке 5 приведена зависимость фактического времени заряда аккумулятора от рабочей скорости ветра. Из рисунка 5 следует, оптимальная рабочая скорость ветра равна 6 м/с.

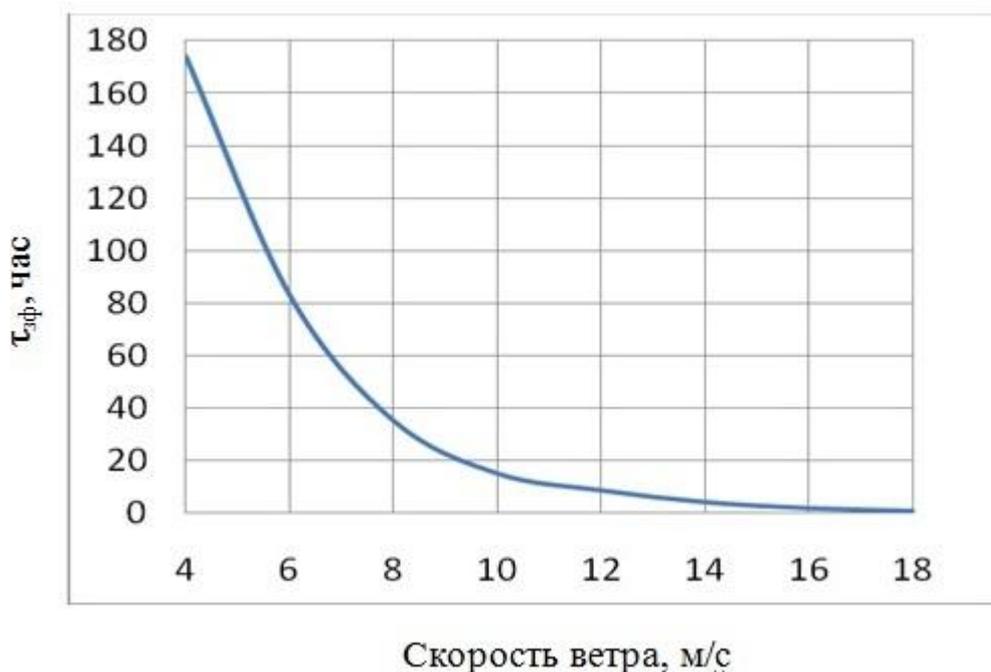


Рисунок 5 – График зависимости времени фактической зарядки аккумулятора от скорости ветра.

Вырабатываемая энергия и удельная энергия достигают экстремальных значений при одной и той же скорости ветра, находящейся в диапазоне 6-9 м/с. С учетом времени зарядки аккумулятора рекомендуется принимать для резервных ветроэлектростанций рабочую скорость 6 м/с. Фактическое время заряда аккумулятора при такой рабочей скорости ветра 80 часов.

Мощность ветроэнергетической установки определяется по формуле [2]:

$$N_{ВГ} = \frac{C_{АБ} \cdot U_{зар}}{h_{АБ} \cdot t_з}, \quad (9)$$

где  $U_{зар}$  – напряжение заряда аккумулятора,  $U_{зар}=13,5В$  ;  $\eta_{АБ}$  – КПД аккумулятора,  $\eta_{АБ}=0,75$ .

Мощность ветроколеса можно определить по следующим формулам [2]:

$$N_{ВК} = \frac{N_{ВГ}}{h_{Г}}, \quad (10)$$

$$N_{ВК} = N_{В} \cdot C_N, \quad (11)$$

где  $N_B$  – мощность генератора;  $\eta_G$  – КПД генератора,  $\eta_G=0,8$ ;  $N_B$  – мощность воздушного потока, Вт;  $C_N$  – коэффициент использования мощности ветра.

Коэффициент использования мощности ветра для роторных ортогональных установок (например, ротор Н-Дарье) составляет 0,4.

Мощность воздушного потока через ометаемую площадь ветроколеса при рабочей скорости ветра определяется по формуле [2]:

$$N_B = 0,65 \cdot v_P^3 \cdot F_{BK}, \quad (12)$$

где  $v_P$  – рабочая скорость ветра,  $v_P=6$  м/с;  $F_{BK}$  – ометаемая площадь ветроколеса, м<sup>2</sup>.

Ометаемая площадь ветроэнергетической установки определяются по формулам:

$$F_{BK} = \frac{N_B}{0,65 v_P^3 C_n}, \quad (13)$$

$$F_{BK} = 2Rl \quad (14)$$

Линейные размеры ветроустановки типа Н-Дарье показаны на графике (рисунок б).

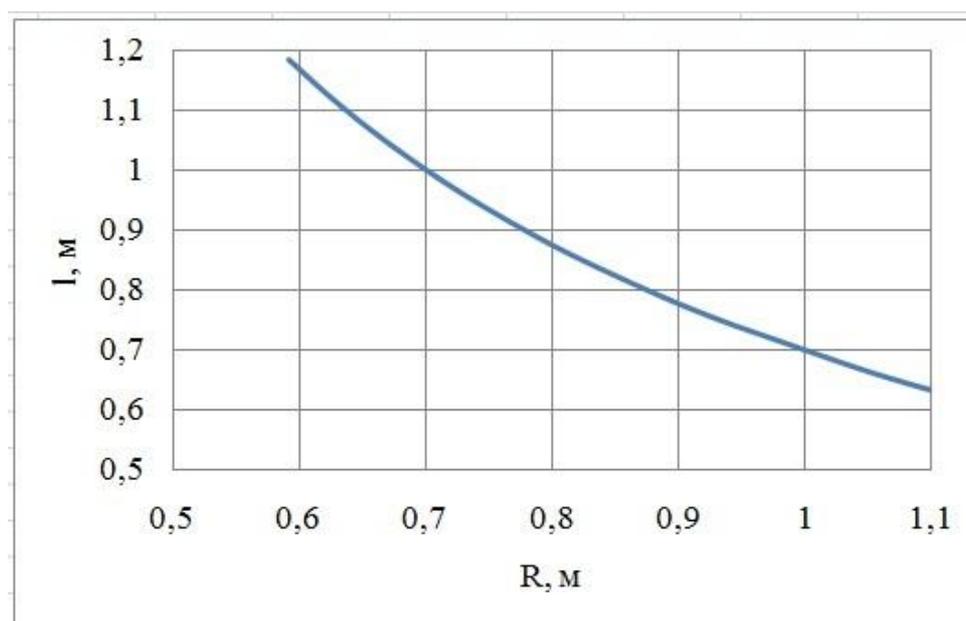


Рисунок б – Линейные размеры ветроустановки типа Н-Дарье

Состав и параметры аккумуляторной резервной электростанции для летних доильных площадок с учетом варианта содержания животных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав аккумуляторной резервной электростанции для летней доильной площадки

Элементы электростанции	Рекомендуемый тип и параметры	
	При дневном содержании животных	При круглосуточном содержании животных
1. Аккумуляторная батарея	2 × 6СТ-190	2 × 6СТ-210
2. Инвертор напряжения	SIM-1500M	SIM-2000M
3. Ветроустановка	90 Вт	90 Вт

Установлено, что наиболее дешевая ветроэнергетическая установка должна иметь рабочую скорость ветра 6 м/с [2]. Мощность резервной аккумуляторной ветроустановки при этом составляет 90 Вт, ометаемая площадь ветроколеса  $F_{BK}=1,4 \text{ м}^2$  при мощности электропотребителей 1,1 кВт. Рекомендуемые параметры ветроустановки: радиус ветроколеса 0,6м, длина лопасти 1,2м. Такие параметры резервной ветроэлектростанции гарантируют надежность резервирования не менее 0,999.

### ***Библиографический список***

1. С.М.Воронин, Н.С.Овсянников, О.С.Меняйлов, Л.В.Бабина Резервная аккумуляторная электростанция для летних доильных площадок // Сборник научных трудов по материалам 74-й научно-практической конференции СТГАУ, 2010. С.129-132
2. С.М. Воронин. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Зеленоград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008
3. Дж. Твайделл, А. Уэйр. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1990