

ресурс] / Ю.П. Фаворский. – Режим доступа: http://www.avante.com.ua/rus/library/lib_stvormodeli.html.

9. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки / В.П. Харитонов. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.

Рассмотрены общие принципы адаптивного регулирования загрузки автономных ветроэлектрических установок в режиме переменной скорости вращения ветродвигателя.

Ветроэлектрическая установка, структурная схема, алгоритм адаптивного регулирования нагрузки.

The article discusses the general principles of adaptive load control of autonomous wind power plants in the variable specific speed wind turbine.

Wind power plant, the block diagram, the algorithm is adaptive load control.

УДК 621.311:533.6

ПОЛУЧЕНИЕ ВОДОРОДА ЗА СЧЕТ ЭНЕРГИИ ВЕТРА

Б.Х. Драганов, В.В. Козырский, доктора технических наук

Изложены основные положения гидродинамики ветра – процессы молекулярной и кинетической диффузии, турбулентная особенность потока. Отмечены зоны технической эффективности ветроэнергетической установки в зависимости от нагрузки. Приведена принципиальная схема ветроводородной установки.

Стохастичность, математическое ожидание, молекулярная и кинетическая диффузия, турбулентность, зоны эффективности, водород.

Эффективное средство экономии энергетических ресурсов заключается в использовании возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. Важным является использование энергии ветра, которую применяют во многих отраслях производства.

Заслуживает внимание проблема использования энергии ветра для получения водорода. При этом эффективно решается комплекс взаимосвязанных задач энергетики, экологии, экономики.

Цель исследований – анализ гидродинамики ветра и, как следствие, указание наиболее эффективных средств использования энергии ветра для получения водорода.

Материалы и методика исследований. Движение воздуха в земной атмосфере, начиная от слабого ветра у поверхности земли и заканчивая общей его циркуляцией, является турбулентным. Атмосферная

турбулентность определяет такие явления, как переносы тепла и влаги воздушными массами, испарения влаги с поверхности земли и водоемов, формирование климата на Земле, распространение примесей в воздушной среде.

При анализе турбулентности в атмосфере необходимо учитывать наличие в ней температурной стратификации, создающей систематическое изменение плотности среды с высотой. Как известно, в поле тяжести наличие неоднородностей плотности жидкости приводит к появлению архимедовых сил, способствующих перемещению вверх частиц, более плотных, чем окружающая среда. Эти архимедовы силы складываются с силами чисто гидродинамического происхождения, которые действуют на частицы и при отсутствии силы тяжести.

В результате частицы менее (более) плотные, чем окружающая среда, при движении вверх (вниз) получают дополнительную энергию за счет работы архимедовых сил, а при движении вниз (вверх), наоборот, теряют часть своей энергии на преодоление архимедовых сил. Тем самым потенциальная энергия может непосредственно переходить в энергию турбулентности, а энергия турбулентности может обратно переходить в потенциальную энергию неоднородной тяжелой среды.

При исследовании динамики ветряного потока следует учитывать особенности этого процесса:

- зависимость от случайных явлений, т. е. его стохастичность;
- подчиненность закономерностям молекулярной и кинетической диффузии;
- наличие флуктуации.

При формулировке задачи следует учесть условия на границах рассматриваемой области пространства [2].

Результаты исследований. Уравнения движения атмосферы в приземном слое сводится к уравнениям конвективного переноса.

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p'}{\partial x} + \mu \nabla U; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p'}{\partial y} + \mu \nabla V; \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\partial p'}{\partial z} + \mu \nabla W - \frac{g}{T_0} T', \quad (3)$$

где τ – время, с; u, v, w – компоненты вектора скорости, м/с; p' – давление, Па; μ – динамический коэффициент вязкости среды; ∇ – оператор Лапласа; g – ускорение свободного падения, м/с²; T – пульсационная температура, К; T_0 – исходное, так называемое стандартное значение температуры, К. В этих уравнениях член $-\frac{g}{T_0} T'$ учитывает влияние силы тяжести.

Уравнение неразрывности для чисел Маха вплоть до $M \leq 0,6$ может быть записано, как для несжимаемой жидкости:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0. \quad (4)$$

Кроме этих уравнений, необходимо записать уравнение притока теплоты, определяющее изменения температуры T во времени:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = a \nabla^2 T + Q, \quad (5)$$

где a – коэффициент температуропроводности; Q – приток теплоты за счет изменений фазового состояния содержащейся в воздухе влаги. Если пренебречь притоком теплоты Q , то получим известное дифференциальное уравнение теплопроводности.

К записанным выше уравнениям следует добавить уравнение состояния:

$$p_0 = R \rho_0 T_0, \quad (6)$$

где R – газовая постоянная.

С помощью системы уравнений можно решить задачу течения ветряного потока для данного конкретного случая. Флуктуации происходят у любых величин, зависящих от случайных факторов, и характеризует случайные отклонения физических величин от их средних значений. Количественная оценка флуктуации основана на методах математической статистики и теории вероятностей [6].

Простейшей мерой флуктуации величины x служит ее дисперсия σ_x^2 , т. е. средний квадрат отклонения x от среднего значения $\bar{x}$, $\sigma_x^2 = \overline{(x - \bar{x})^2} = \bar{x}^2 - x^{-2}$, где черта сверху означает статистическое усреднение. Эквивалентной мерой является среднеквадратичное отклонение σ_x , равное корню квадратному из дисперсии, или его относительная величина $\delta_x = \sigma_x / \bar{x}$.

Целесообразно перейти от пульсаций плотности к пульсациям температуры, легко доступным непосредственному измерению. Будем учитывать только пульсации плотности, связанные с пульсациями температуры, а гораздо меньшими пульсациями плотности, вызываемыми относительно очень малыми пульсациями атмосферного давления, пренебрежем.

При анализе турбулентных процессов атмосферы надо учитывать наличие вертикальной температурной стратификации и связанного с ней вертикального турбулентного потока тепла. С другой стороны, горизонтальной неоднородностью подстилающей поверхности, всегда в какой-то мере имеющейся в реальной атмосфере, можно пренебречь.

Атмосферные условия существенно зависят от времени суток и времени года, причем, кроме регулярных суточных и годовых колебаний,

значения любого гидродинамического элемента в данной точке атмосферы испытывают еще нерегулярные колебания самых разнообразных периодов. Эти нерегулярные колебания будем рассматривать.

При $z \gg z_0$ характеристики турбулентности на высоте будут зависеть от пяти величин: $z, \rho_0, g/T_0, u_*$ и $q/c_p \rho_0$.

Поскольку в данном случае имеется четыре независимых размерности – длина, время, масса и температура, то из этих четырех величин можно составить лишь одну (с точностью до числового множителя) независимую безразмерную комбинацию. В качестве этой безразмерной комбинации выберем величину

$$\zeta = \frac{z}{L}, \quad (7)$$

$$\text{где} \quad L = \frac{u_*^3}{\chi \frac{g}{T_0} \frac{q}{c_p \rho_0}} - \quad (8)$$

масштаб длины, составленный из параметров $g/T_0, u_*, q/c_p \rho_0$ (безразмерная постоянная Кармана χ введена в выражение для L выбрана так, чтобы было $L > 0$ при установочной термической стратификации, когда $q > 0$). Тогда можно утверждать, что зависимость от высоты любой осредненной характеристики f развитого турбулентного режима в приземном слое воздуха, независимой от свойств подстилающей поверхности, может быть записана в виде

$$\frac{\bar{f}(z)}{f_0} = F\left(\frac{z}{L}\right), \quad (9)$$

где f_0 – комбинация размерности $\bar{f}$, составленная из параметров $\rho_0, g/T_0, u_*$ и $q/c_p \rho_0$, а $F(\zeta)$ – универсальная функция. В качестве масштаба f_0 для осредненной скорости ветра мы примем величину u_*/χ , а для осредненной температуры – величину

$$T_* = -\frac{1}{\chi u_*} \frac{q}{c_p \rho_0}, \quad (10)$$

где χ – постоянная.

Согласно выводам из теории подобия, изменения скорости ветра с высотой во всех случаях должны определяться универсальной функцией $f(\zeta)$ от безразмерной высоты $\zeta = z/L$, где $L = -c_p \rho_0 T_0 u_*^3 / \chi g q$. Для непосредственной проверки этого результата и установления точного вида функции $f(\zeta)$ надо иметь наряду со значениями $\bar{u}(z)$ также и значения величин $u_* = (\tau / \rho_0)^{1/2}$ и q , позволяющие подсчитать масштаб L .

Экспериментально проведенные исследования указывают на зависимость турбулентной энергии ветра от высоты, исчисляемой с поверх-

ности земляного покрова. По данным Lamlej J. L. и Panofsky H. A. на небольших высотах ($z = 2$ м) изменение турбулентности пренебрежимо мало. На больших высотах (в пределах от $z = 25$ до $z = 100$ м) обнаруживается заметная неустойчивость диффузии энергии, которая играет значительную роль в общем балансе турбулентной энергии. Та же закономерность подтверждается исследованиями, результаты которых приведены в монографии [3].

Кроме турбулентности необходимо принимать во внимание приток тепла, приводящий к изменению во времени температуры T .

Уравнение притока тепла имеет вид:

$$c_p \rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = c_p \rho \alpha \Delta T + Q, \quad (11)$$

где c_p – теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг·К; ρ – плотность, кг/м³; t – время, с; u, v, w – соответствующие скорости в направлении координат x, y, z , м/с; Q – приток тепла за счет излучения и изменения фазового состояния содержащийся в воздухе аэрозоли (другими формами притока тепла, в частности притоком тепла за счет диссипации кинетической энергии в приземном слое вполне можно пренебречь), Дж.

Водород является высококалорийным топливом. При воздействии водорода с кислородом выделяется тепло на единицу массы в 2,5–3,5 раза больше, чем при сгорании любого другого органического топлива (уголь, природный газ, нефть).

Другое преимущество водорода перед органическим топливом в том, что уменьшаются техногенные выбросы в окружающую среду.

В качестве топлива водород используется в газообразном или жидком состоянии. В газообразном состоянии его применяют в двигателях внутреннего сгорания, в жидком – в ракетных двигателях [5].

Жидкий водород получают в криогенных установках. Опыт накопленный при использовании жидкого водорода в ракетной технике, доказывает возможность и обоснованности его применения во многих областях техники [7, 8].

Одним из наиболее распространенных методов получения водорода является термодинамическое разложение воды на водород и кислород при использовании большого количества теплоты, вследствие чего получают практически чистый водород (99,6...99,9 %).

Теоретически количество энергии, затраченной на получение одного моля водорода, равно его теплоте сгорания.

Один из перспективных путей производства водорода основан на электролизе за счет ветроэнергетических установок [7].

Перспективна следующая структурная схема: использование энергии ветра в период, когда электроэнергия не требуется. Ее в этом случае направляют в электролизную систему с целью получения водорода.

При этом полученный водород может аккумулироваться в баллонах, ресиверах, газгольдерах и использоваться как топливо для разных производственных целей.

Схематическое ветроводородной установки приведена на рис. 1 [4].

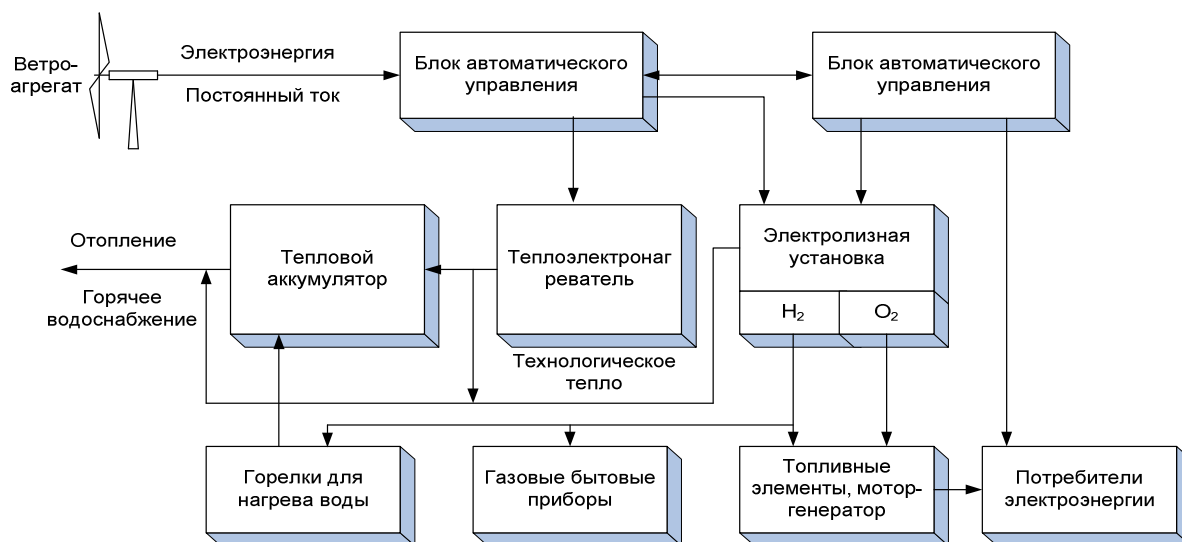


Рис. 1. Схема ветроводородной станции

Другие варианты решений ветроводородной установки приведены в работе [1].

Результаты расчетов показывают, что при современных технико-экономических показателях оборудования водородная система пока еще не конкурентоспособна по сравнению с дизельной электростанцией, но в ближайшее время станет экономически эффективной [1].

Эффективность вариантов ветроводородных станций определена на основе расчетных данных.

На рис. 2 показаны зоны эффективности работы ветроэнергетической установки (ВЭУ) по сравнению с аналогичными энергетическими установками при нагрузке 50 кВт. Подобные зависимости при нагрузке 1000 кВт показаны на рис. 3 [1].

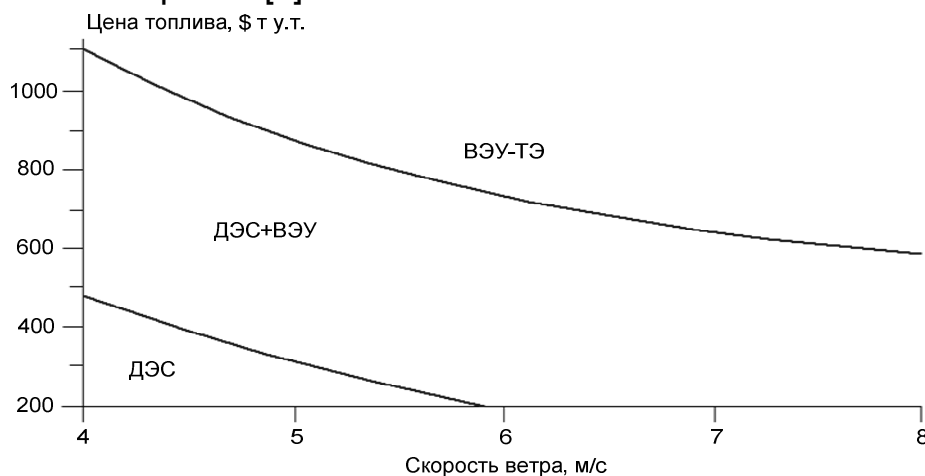


Рис. 2. Зоны эффективности технологий при нагрузке 50 кВт

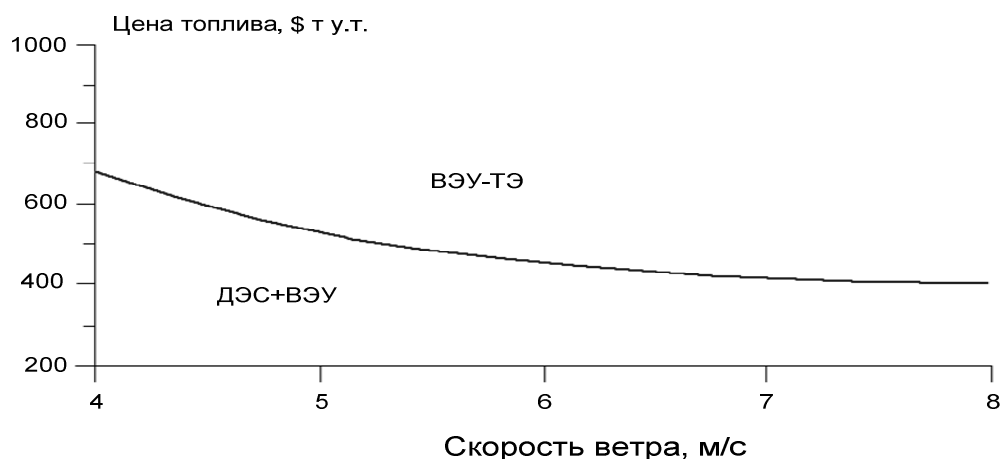


Рис. 3. Зоны эффективности технологий при нагрузке 1000 кВт

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что при малых скоростях ветра в дешевом топливе для электроснабжения потребителей целесообразно использовать ДЭС (при нагрузке до 50 кВт). С увеличением цены топлива и скорости ветра более экономичной является ветродизельная система и ВЭУ с водородной системой. При этом ВЭУ играет роль базисного источника энергии, ТЭ — пикового. Применение ВЭУ и ТЭ дает возможность при нагрузке 1000 кВт достигнуть экономичности при меньших скоростях ветра и ценах на дизельное топливо, чем при нагрузке 50 кВт, вследствие лучших удельных показателей более крупных энергоисточников.

Выводы

Возобновляемые источники энергии, в первую очередь, энергия солнечного излучения, имеют выраженный стохастический характер. Следует отметить, что на интенсивности солнечной радиации большое влияние оказывает облачность. Взаимосвязь между указанными факторами можно рассматривать как линейную. Подобный подход к анализируемым явлениям позволяет с достаточно высокой точностью моделировать изучаемые процессы.

Приведен метод определения статистических характеристик взаимокорреляционных функций случайных величин.

Список литературы

1. Кривцова В.И. Неисчерпаемая энергия: учеб. [у 4 кн]. Кн. 4. Ветроводородная энергетика / Кривцова В.И., Олейников А.М., Яковлев А.И. — Харьков: Нац. аэрокосм. ун.-т, Харьков. Нац. ин.-т, 2007. — 606 с.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газов / Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука, 1970. — 904 с.
3. Монин А.С. Статистическая гидродинамика / А.С. Монин, А.М. Яголом. — М.: Наука, 1965. — 639 с.
4. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии / Н.М. Мхитарян. — К.: Наук. думка, 1999. — 320 с.
5. Перспективы использования водородного топлива в тепловой энергетике / Ю.М. Мацевитый, В. В. Соловей, В. Н. Голощанов, О. В. Кравченко // Во-

зобновляемая энергетика XXI столетия: материалы VII междунар. конф., А. Р. Крым, п.г.т. Николаевка, 11–15 сент., 2006.

6. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М.: Мир, 2002. – 462 с.

7. Якименко Л.М. Электролиз воды / Якименко Л.М., Модылевская Л.М., Ткачек З.А. – М.: Химия, 1970. – 204 с.

8. Яковлев А.И. Химический источник электропитания с расходуемым электродом / А.И. Яковлев, А.А. Бояркин // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: сб. наук. праць держ. аерокосм. ун-ту ім. М. С. Жуковського «ХАІ»*. Вип. 5. – Харків, 1999. – С. 128 – 132.

Викладено основні положення гідродинаміки вітру – процеси молекулярної і кінетичної дифузії, турбулентна особливість потоку. Визначено зони технічної ефективності вітроенергетичної установки залежно від навантаження. Наведено принципову схему вітроводневої установки.

Стохастичність, математичне сподівання, молекулярна і кінетична дифузія, турбулентність, зони ефективності, водень.

The basic position of the wind hydrodynamics - the processes of molecular and kinetic diffusion, turbulent flow feature. Marked areas of technical efficiency of the wind power plant, depending on the load. Shows a schematic diagram vetrovodorodnoy installation.

Stochastics, mathematical expectation, and the kinetic molecular diffusion, turbulence, zone efficiency, hydrogen.

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ ТА ЯКОСТІ ВИПУСКНИХ РОБІТ

В.В. Козирський, Г.Б. Іноземцев, доктори технічних наук

Наведено та проаналізовано найхарактерніші недоліки, які мають місце при виконанні та захисті випускних робіт. Запропоновано ряд пропозицій щодо усунення недоліків та покращення якості цих робіт.

Необхідність публікації пов'язана із ситуацією, яка склалася останнім часом із рівнем і якістю підготовки, виконанням і захистом випускних робіт, їх відповідності існуючим вимогам. Незважаючи на пропозиції, які наводилися раніше у відповідній науково-технічній літературі [1–3], автори вважають за необхідне повернутися до цих питань ще раз, тому що існуючі недоліки, на жаль, набувають систематичний характер і потребують їх виправлення.

Мета досліджень – аналіз найхарактерніших недоліків при виконанні випускних робіт, їх захисті та надання пропозицій щодо підвищення кваліфікаційного рівня та покращення якості при їх виконанні.