

II. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

УДК 621.383: 621.548

В. А. Дзензерский, Н. Е. Житник, С. В. Плаксин, Л. М. Погорелая, И. И. Соколовский

Принципы построения гибридных ветро-солнечных энергоустановок

Проанализированы принципы построения гибридных ветро-солнечных энергетических установок с общими устройствами накопления и преобразования энергии и с использованием активных демпфирующих устройств в ветросиловых агрегатах.

Введение. Гарантированное бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией высокого качества, представляющее собой основу для устойчивого экономического роста, остается главной задачей развития энергетики.

Существующая в Украине и являющаяся по сути традиционной для других стран энергетическая система содержит центры генерации электроэнергии, включающие объединения различных электростанций – тепловых, атомных, гидроэлектростанций, снабжающих центры потребления и обеспечивающих баланс генерации. Баланс нагрузки осуществляется соединяющимися локальными энергорынками, различными по структуре потребления. И хотя интегрально Украина в настоящее время обеспечена электроэнергетическими ресурсами, существующая энергосистема, во-первых, в недостаточной мере снабжена резервами (то есть, аварийными запасами, которые могли бы быть использованы в экстраординарных условиях, таких как – неблагоприятная погода, временный недостаток электроресурсов в отдельных регионах страны, аварии и т. д.). Во-вторых, энергосистема не обеспечена источниками, которые бы обеспечивали поставки электричества с целью экономической оптимизации генерации. В третьих, не решены многие задачи динамической устойчивости, возникающие при больших возмущениях в энергосистеме.

Существующие технические решения по бесперебойному обеспечению электроэнергией различных регионов страны от единой энергетической сети, работающей по диспетчерским графикам нагрузок (которые регулируют распределение мощностей между центрами генерации электроэнергии и потребителями для покрытия неравномерности потребления энергии) неэффективны. Соответствующая система распределения громоздка и малооперативна из-за избыточной сконцентрированности центров генерации. Энергетики вынуждены решать сложные задачи управления электромеханическими переходными процессами при перегрузках в энергосистеме и для обеспечения ее динамической устойчивости прибегать к использованию управляемых источников реактивной мощности – специальных нагрузочных сопротивлений, статических тиристорных компенсаторов, управляемых реакторов. Указанные технические приемы позволяют предотвратить в первых циклах взаимных качаний роторов выпадение из синхронизма отдельных генераторов или

их взаимосвязанных групп (подсистем), обеспечить затухание переходного процесса и тем самым временно (до следующей аварийной ситуации) стабилизировать режим электроэнергетической системы. Полное же решение задачи обеспечения надежности энергосистемы может быть получено лишь посредством включения в энергосистему мощных накопителей энергии и дополнительных генерирующих источников, которые могли бы в короткое время быть подключены (или отключены) к энергосистеме и с использованием которых можно было бы простыми средствами учесть сезонное и суточное изменение мощности генерирования и потребления электроэнергии.

Для этого к большой энергосистеме необходимо подключить цепочку локальных электростанций небольшой мощности (по сравнению с мощностями основных генерирующих центров), которые были бы расположены в непосредственной близости к потребителям электроэнергии и которые при сбоях в большой энергосистеме могли бы в течение некоторого времени обеспечить децентрализованное электроснабжение бытовых, промышленных и сельскохозяйственных объектов [1]. В качестве таких локальных электростанций следует использовать фотоэлектрические (ФЭУ) и ветроэнергетические установки (ВЭУ) и их комбинации, устойчивая тенденция в развитии которых наблюдается в промышленно развитых странах Европы и в США [2].

Особенности функционирования ветро-солнечных электростанций

Украина обладает значительным потенциалом солнечной энергии. Как следует из Атласа энергетического потенциала возобновляемых источников энергии [3], общий потенциал солнечного излучения для Украины эквивалентен $89,4 \cdot 10^9$ т условного топлива (у. т.) в год, технически достижимый потенциал составляет $42,6 \cdot 10^7$ т у. т., а целесообразно-экономический потенциал эквивалентен $5,99 \cdot 10^5$ т у. т. Технически достижимый потенциал ветровой энергии составляет около 30 млрд. кВт·час. В таких регионах Украины как Азово-Черноморское побережье, Одесская, Херсонская, Николаевская, Запорожская, Донецкая и Луганская области, АР Крым и район Карпат, удельный технически достижимый потенциал энергии ветра близок к целесообразно-экономическому потенциалу.

Сложность в реализации столь значительных энергетических потенциалов состоит в том, что из-за относительно невысокой плотности потоков, значительных изменений их величины во времени (носящих случайный характер) вырабатываемая ФЭУ и ВЭУ электроэнергия является низкокачественной. Для решения этой проблемы необходимо разработать методы и устройства преобразования энергии низкого качества в энергию более высокого качества. Причем, чем выше требуется качество выходной электроэнергии и чем ниже качество входной, тем выше стоимость соответствующих преобразовательных устройств.

В связи с этим при разработке ФЭУ и ВЭУ требуется решить целый ряд задач, основными из которых являются: во-первых, стабильный съем энергетических потоков малых плотностей от источников солнечной и ветровой энергии в широком диапазоне их изменений; во-вторых, высокоэффективное преобразование полученной энергии в электрическую по заданным характеристикам электрических нагрузок; в-третьих возможность подключения к существующему энергогенерирующему оборудованию традиционного типа.

Решение этих задач следует осуществлять путем повышения эффективности ветроагрегатов и солнечных энергоустановок, усовершенствования имеющихся и создания новых типов электрогенераторов с учетом особенностей их работы в составе ВЭУ, а также – путем эффективного преобразования электроэнергии постоянного тока, получаемой от ФЭУ, в электроэнергию переменного тока.

Основным элементом ВЭУ является ветроколесо, характеризующееся коэффициентом использования энергии ветра. Данный коэффициент определяется как отношение механической мощности на валу ветроколеса P_M к мощности воздушного потока P_B :

$$K_H = P_M / P_B . \quad (1)$$

Согласно [4] справедливо соотношение:

$$P_B = \rho v^2 \cdot S / 2 , \quad (2)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³, v – скорость ветра, м/с, S – площадь поперечного сечения ветроколеса, м². Из этого соотношения следует, что мощность P_M на валу ветроколеса прямо связана с угловой скоростью вращения ветроколеса

$$\omega = L v^2 \sqrt{\pi \rho v K_H / 2 P_M} , \quad (3)$$

где $L = R_{BK} \cdot \omega / v$ – коэффициент быстроходности ветроколеса; R_{BK} – радиус ветроколеса, м, ω – угловая скорость ветроколеса, рад/с.

При $L = 3 \div 5$ ветроколесо считается быстроходным, при меньших значениях – тихоходным. Максимальным коэффициентом использования энергии ветра обладают быстроходные ветроколеса.

Из приведенных на рис. 1 зависимостей частоты вращения ветроколеса различной мощности от скорости

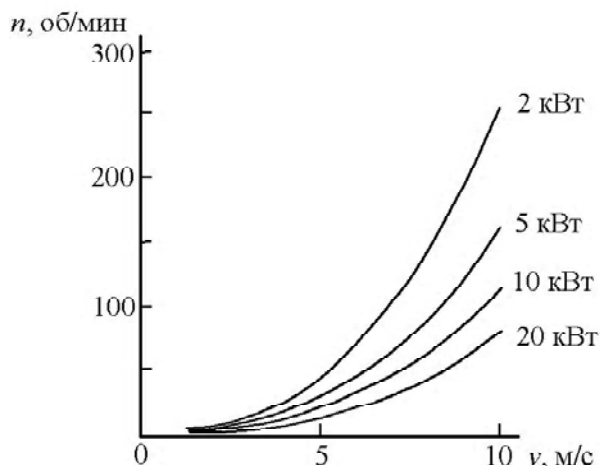


Рис. 1. Зависимость частоты вращения ветроколеса от скорости ветра

ветра [5] следует, что даже при малых мощностях ветроколеса (меньше 2 кВт) и больших скоростях ветра ($v > 6$ м/с) частота вращения вала n не превышает 300 об/мин.

В относительно мощных ветроэнергоустановках (100–200 кВт) частота вращения ветроколеса составляет примерно 40–50 об/мин. Возможности повышения частоты вращения быстроходных ветроколес ограничены аэродинамическими факторами. Использование же для этой цели редукторов и других преобразующих механических устройств нецелесообразно с точки зрения возникновения дополнительных потерь энергии, увеличения массогабаритных параметров ВЭУ и снижения ее надежности. Для получения напряжения промышленной частоты при низкой частоте вращения вала ветроколеса ВЭУ необходимо использование многополюсных электрогенераторов, что весьма затруднено из-за ограничений, связанных с конструктивными и электромагнитными параметрами электрогенераторов [6, 7].

Другой особенностью работы электрогенераторов в составе ВЭУ является то, что они должны функционировать в условиях изменения в большом диапазоне скорости ветра и, следовательно, при широком диапазоне изменения частоты вращения ветроколеса. Отдельные порывы ветра могут во много раз превышать среднюю скорость. Между тем, большинство генераторов не рассчитано на переменную частоту вращения, что вынуждает использовать в ВЭУ сложные механические или гидравлические устройства для поворота лопастей ветроколеса (с целью уменьшения диапазона изменения частоты вращения ветрового колеса), что в ряде случаев позволяет обеспечить ее постоянство. При этом снижается эффективность использования энергии ветра.

В других вариантах конструкции ветроэнергетических установок с целью обеспечения эффективной работы ветрогенератора с быстроходным ветроколесом (а также постоянства мощности на выходе генератора и предотвращения разгона ветроколеса до опасных угловых скоростей при увеличении скорости ветра) идут не по пути регулирования лопастей ветроколеса, а – уменьшения его угловой скорости путем увеличения момента на валу машины.

Как известно, общими требованиями, предъявляемыми ко всем типам ВЭУ, являются: во-первых, обеспечение заданного качества электроэнергии; во-вторых, устойчивость работы; в-третьих, демпфирование колебаний энергии ветра. Согласно [5] предпочтительнее использовать ветроэнергетические установки с переменной частотой вращения ветроколеса, содержащие промежуточное звено постоянного тока, задачей которого является выпрямление низкочастотного напряжения генератора ВЭУ, буферное накопление электрической энергии постоянного тока и последующее инвертирование его в напряжение переменного тока промышленной частоты. При этом оптимальный режим работы ветрогенератора при переменной частоте вращения ветроколеса обеспечивается полупроводниковыми преобразователями частоты и системами с частотно-токовым векторным управлением моментом генератора.

Очевидно, что многократное преобразование электрической энергии, лежащее в основе работы рассмотренной схемы ВЭУ с переменной частотой вращения ветроколеса, сопровождается дополнительными потерями энергии и снижением КПД системы в целом. Кроме того, остается нерешенным вопрос качества выходной энергии. Известно, что спектральный состав выходного напряжения инверторов и других преобразователей частоты характеризуется высокими гармониками (по сравнению с основной частотой, равной 50 Гц). Между тем, главным показателем качества электроэнергии является синусоидальность напряжения, которая определяется интегральным показателем – коэффициентом синусоидальности напряжения [8]. Искажения синусоидальности сетевого напряжения порождают проблему электромагнитной совместимости ВЭУ и потребителей. В частности, они оказывают крайне неблагоприятное влияние на эффективность, надежность и безопасность функционирования асинхронных электродвигателей, которые являются одной из самых многочисленных групп потребителей электроэнергии [9].

Применение фильтрокомпенсирующих устройств частично устраняет искажения синусоидальности напряжения. Однако, применение указанных устройств ведет к усложнению всей системы ВЭУ и повышению доли генерируемой реактивной мощности, которая зависит от величины нагрузки и требует постоянной коррекции.

Таким образом, из анализа режимов функционирования электрогенераторов в составе ВЭУ следует, что для повышения эффективности использования энергии ветра и солнечной энергии и удовлетворения требований потребителей к качеству электроэнергии необходимо усовершенствование существующих электрогенераторов, а также создание принципиально новых. Важно и то, что многие проблемы, возникающие при преобразовании солнечной энергии или нестабилизированных потоков энергии ветра, идентичны.

В настоящее время повышение эффективности использования солнечной энергии в ФЭУ идет как по пути улучшения свойств материалов для изготовления солнечных элементов (использование многопереходных материалов, нанесение пассивирующих покрытий, обладающих антиотражательными свойствами и вы-

сокой радиационной стойкостью, применение специальных красителей и др.), так и по пути поддержания фотоэлектростановок в режиме максимальной мощности (РММ) с помощью систем слежения за Солнцем с регуляторами РММ, посредством использования концентраторов солнечной энергии совместно с системами охлаждения фотоэлектростановок. Так же как и ветроэлектрические установки, ФЭУ требуют наличия в своем составе накопителей энергии в виде аккумуляторных батарей (АБ) и инверторов напряжения. Однако, в случае использования инверторов в составе ФЭУ, наряду с отмеченными выше общими недостатками, появляются и принципиальные специфические недостатки [10].

Использование гибридной энергосистемы, совмещающей в единой энергетической системе как ветровые, так и солнечные электростанции, а также аккумуляторы-энергонакопители, может обеспечить гарантированное снабжение потребителей электрической энергией и облегчить решение задач стабильного съема энергетических потоков малых мощностей с учетом сезонного и суточного изменения мощности используемых источников энергии и качественного преобразования полученной энергии в электрическую [11].

Конструкторский синтез гибридных ветро-солнечных электрических установок

При разработке гибридных ветро-солнечных электростанций, используемых как в составе общей энергосистемы, так и в качестве источников автономного энергоснабжения, существенной технической трудностью является установление баланса производства и потребления энергии в зависимости от технических возможностей оборудования и требований потребителей (особенно в пиковых режимах). Частично эта задача решается за счет буферного промежуточного накопления энергии в количестве, достаточном для последующего покрытия пиковых нагрузок в соответствии с требованиями потребителей. Затем, чтобы за счет обеспеченного баланса поступающей, аккумулируемой и потребляемой энергии достичь выполнения основной функции системы – обеспечить бесперебойное снабжение потребителей.

Предложена концепция синтеза ВЭУ, заключающаяся в использовании в составе гибридной ветро-солнечной системы многофункциональных модулей, выполняющих совмещенные функции: преобразования, накопления и генерирования энергии (в сочетании с активным демпфированием величины энергии, поступающей от ветроагрегата и батарей солнечных элементов в накопители в случае изменения в широком диапазоне значений энергии ветра и солнечной энергии), а также изменения потребностей в выходной энергии в связи с изменением нагрузки в сети потребителей. Такой подход позволяет интегрировать в единой энергосистеме преобразование энергии возобновляемых источников различных видов в электрическую, ее многоуровневое накопление и преобразование в высококачественную электроэнергию для потребителя (тем самым существенно повысив эффективность использования энергии возобновляемых источников).

Структурная схема одного из вариантов автономной энергосистемы с гибридной ветро-солнечной электростанцией, реализующей рассмотренную концепцию, приведена на рис. 2.

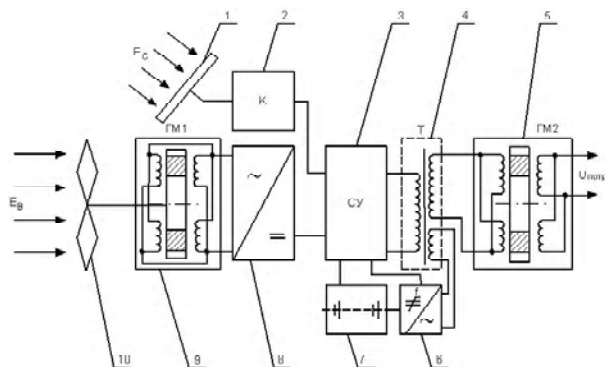


Рис. 2. Структурная схема гибридной энергосистемы

Система включает в себя следующие функциональные элементы: батарею солнечных элементов 1 с контроллером 2, систему управления 3, трансформатор 4, два генераторных модуля 5 и 9, зарядное устройство 6, батарею аккумуляторов 7, выпрямитель 8 и ветроагрегат 10, механически соединенный с генераторным модулем 9. В данной энергосистеме функцию энергопреобразования выполняют генераторные модули на основе буферного накопителя кинетической энергии нового типа, конструкция и принцип действия которого описаны в [12].

Применительно к данной задаче буферный накопитель кинетической энергии выполнен в виде массивного ротор-маховика дисковой конструкции из немагнитного материала с размещенными в нем по окружности постоянными магнитами, вращающегося в зазоре между двумя неподвижными статорами, выполненными в виде U-образных магнитопроводов с секционированными обмотками. Полусные наконечники статоров обращены к ротору-маховику и связаны общим магнитным потоком с постоянными магнитами, размещенными в роторе-маховике. При вращении ротора в обмотках статоров наводится ЭДС. При этом в зависимости от способов подключения обмоток статоров и привода ротора-маховика буферный накопитель, как показали экспериментальные исследования, может выполнять функции: электродвигателя, генератора электрической энергии и совмещенные функции двигателя-маховика. Причем, функцию накопителя кинетической энергии он выполняет при работе в любом режиме.

Первый генераторный модуль 9 механически соединен с ветроагрегатом 10 и предназначен для эффективного преобразования энергии ветрового потока в электрическую энергию без предъявления требований к ее качеству. Поскольку ротор генераторного модуля приводится во вращение ветроагрегатом, обе обмотки модуля используются в генераторном режиме, что повышает эффективность преобразования энергии ветра.

Массивный ротор-маховик генератора должен создавать на валу ветроагрегата механический момент, дос-

таточный для того, чтобы ветроколесо не достигало критических скоростей вращения. Для этого необходимо, чтобы механический момент на валу ветроколеса был соизмерим с моментом, создаваемым ротором-маховиком генераторного модуля. Момент на валу ветроколеса обычно представляют в виде относительной величины. При этом за базовый принимается момент, развиваемый ветроколесом без потерь [4]:

$$M_B = \pi \rho (R_{BK})^3 \cdot v^2 / 2, \quad (4)$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³; R_{BK} – радиус ветроколеса, м; v – скорость ветра, м/с.

Механический момент ротора-маховика без учета потерь энергии на трение определяется из выражения:

$$M_{PM} = (\pi m R n)^2, \quad (5)$$

где m , R – масса и радиус ротора-маховика соответственно, n – число оборотов ротора-маховика.

При сопряжении вала ветроколеса и ротора-маховика, т. е. при выполнении условия

$$M_B \approx M_{PM}, \quad (6)$$

удается предотвратить чрезмерный разгон ветроколеса при резких порывах ветра. Это позволяет соответственно уменьшить диапазон изменения скоростей вращения ветроколеса при изменении скорости ветра (в том числе и при кратковременных спадах ветрового потока) и добиться относительного постоянства мощности электроэнергии на выходе генераторного модуля. При этом запасенная в маховике кинетическая энергия дает возможность демпфировать резкие изменения значения электрической энергии на выходе генераторного модуля при изменении скорости ветра в большом диапазоне.

Напряжение с первого генераторного модуля 9 после выпрямителя 8 поступает в систему управления 3, куда также подается напряжение, снимаемое с батареи солнечных элементов 1 через контроллер 2. Система управления 3 совместно с трансформатором 4, вторым генераторным модулем 5, зарядным устройством 6 и батареей аккумуляторов 7 работает аналогично описанной в [13] системе бесперебойного электроснабжения потребителей переменного тока.

В представленном варианте исполнения гибридной энергосистемы система управления призвана выполнять следующие функции:

- формирование напряжения питания двигательных обмоток второго генераторного модуля с заданными параметрами частоты и амплитуды;
- распределение энергии, получаемой от ВЭУ, ФЭУ и АБ, в зависимости от изменения нагрузки потребителей и потоков энергии ветра и солнечной энергии;
- контроль и управление режимами заряда и разряда АБ.

Второй генераторный модуль 5 конструктивно выполнен так же, как и первый, но совмещает в себе функции электродвигателя, генератора переменного тока и накопителя кинетической энергии. С этой целью на его двигательные обмотки из системы управления 3

через трансформатор 4 подается напряжение переменного тока со стабилизированными амплитудой и частотой, равной номинальному значению частоты питающей сети.

Напряжение питания двигательных обмоток второго генераторного модуля 5 вырабатывается стабилизированным по частоте генератором синусоидального сигнала и усилителем мощности низкой частоты (на схеме не показаны), которые входят в состав системы управления 3. Питание стабилизированного генератора и усилителя мощности осуществляется от ветросолнечной электростанции или от батареи аккумуляторов.

К генераторной обмотке модуля подсоединяется сеть питания потребителей. Конструктивной особенностью второго генераторного модуля 5 является то, что количество пар полюсов магнитопроводов в каждом из статоров связано с числом оборотов ротора и частотой выходного напряжения известным соотношением $P = 60 f / n$, где f – частота напряжения генераторного модуля, n – число оборотов ротора-маховика.

При вращении ротора-маховика в нем накапливается кинетическая энергия, значение которой должно обеспечить компенсацию потерь на преобразование, демпфирование колебаний электроэнергии в сети при изменении нагрузки, а также стать источником дополнительной энергии для зарядки аккумуляторной батареи при временном отсутствии напряжения от первого генераторного модуля и фотоэлектрической установки.

Основным энергетическим показателем аккумуляторной батареи является коэффициент отдачи по энергии η_W , равный отношению энергии, отдаваемой батареей при ее разряде на нагрузку W_p , к энергии, затраченной на полный заряд аккумуляторной батареи W_3 (условный КПД):

$$\eta_W = \int_0^{t_p} W_p(t) dt / \int_0^{t_3} W_3(t) dt = \int_0^{t_p} U_p(t) I_p(t) dt / \int_0^{t_3} U_3(t) I_3(t) dt \quad (7)$$

где U_p, I_p – напряжение и ток разряда батареи, U_3, I_3 – напряжение и ток заряда батареи. В зависимости от разновидности аккумуляторной батареи значение данного коэффициента составляет $\eta_W = 0,65 \dots 0,78$, что означает, что сообщаемая батарее энергия должна примерно в 1,54...1,28 раза превышать энергию разряда. Поэтому параметры ротора-маховика (то есть, его масса, радиус и число оборотов) выбираются таким образом, чтобы величина кинетической энергии, запасенная в роторе-маховике W_{PM} , с учетом дополнительных потерь была больше энергии $W_{потр.}$, потребляемой из сети потребителями. Согласно расчетам: $W_{PM} \approx (1,5 \dots 1,7) W_{потр.}$

При исчезновении напряжения, поступающего от первого генераторного модуля или от батареи солнечных элементов, ротор-маховик продолжает вращательное движение за счет инерции. При этом магнитный поток, создаваемый постоянными магнитами, вмонтированными в диск ротора-маховика, замыкается через магнитопроводы статоров и наводит в их обмотках ЭДС. Переменный ток, индуцируемый ЭДС, поступает в сеть потребителей.

Выводы. 1. За счет совмещения в одной конструкции генераторного модуля функций приводного двигателя, генератора переменного тока и накопителя кинетической энергии максимально устраняются потери энергии на ее преобразование в механическую и электрическую и обратно. Это позволяет повысить КПД системы и ее надежность, позволяет повысить качество электроэнергии в сети потребителей за счет стабилизации частоты и амплитуды напряжения и повышения коэффициента синусоидальности.

2. Использование таких гибридных ветро-солнечных электростанций значительной мощности в составе общей или региональной энергосистем позволит решить задачи экономической оптимизации генерации электроэнергии, снижения нагрузки на систему при перетоке больших мощностей для покрытия дневных и вечерних полупиковых и пиковых нагрузок и провалов, ограничения сбросов мощностей в аварийных режимах, исключения резонансных явлений (нередких в протяженных энергосетях переменного тока) и возбуждения гармоник низших порядков. Указанные энергоагрегаты эффективны и при использовании их в качестве автономных источников электроэнергии высокого качества в отдаленных от общей энергосистемы местностях и на островных территориях.

3. Использование в гибридной энергосистеме двух типов накопителей – (электромеханического и электрохимического) позволяет обеспечить гарантированное бесперебойное электроснабжение потребителей переменного тока электроэнергией высокого качества.

4. Для реализации указанных задач разработаны электромеханические накопители нового типа с высокими реверсными характеристиками [12] и большого автономные солнечные электроэнергетические установки со стационарным оптимально ориентированным пространственным размещением фотоэлектрических модулей на несущей опоре фотоэнергетических установок (учитывающие географические координаты местности, где эти установки размещены [14].

Перечень ссылок

1. Плаксін С. В., Юрко. В. В., Шкіль Ю. В. Гібридні енергосистеми // Вісник НАН України. – 2005. – № 2. – С. 27–39.
2. Bernreuter Johannes. Feed-in tariffs in Europe: critical mass // Sun & Wind Energy. – 2006. – № 1. – Р. 92–101.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – 2005. – 44 с.
4. Шефтер Я. И. Использование энергии ветра. М.: Энергоатомиздат, 1982. – 200 с.
5. Гончаренко Р. Б., Гончаренко М. Р., Рудомазина К. А. Пути повышения эффективности электромашинных систем преобразования энергии возобновляемых источников // Изв. РАН. Энергетика. – 1998. – № 2. – С. 36–45.
6. Радін В. К., Шакарян Ю. Г. Генераторні комплекси для ветроенергетических установок // Изв. РАН. Энергетика. – 1993. – № 3. – С. 19–33.

7. Богуславский Н. З. Генераторы автономных электростанций: проблемы повышения электромагнитного использования и обеспечения динамических режимов // Изв. РАН. Энергетика. – 2004. – № 6. – С. 29–37.
8. ГОСТ 13109–97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: Госстандарт. – 1998.
9. Шумилов Ю. А., Герасимчук В. П. Исследование магнитных вибровозмущающих сил асинхронного двигателя при питании от статического преобразователя частоты // Техническая электродинамика. – 1997. – № 4. – С. 44–47.
10. Kotsopoulos A., Heskes P., Jansen M. Zero-crossing distortion in grid-connected PV-inverters // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2005. – V.52, № 2. – P.558-565.
11. Дзензерский В. А., Задонцев В. А., Бурылов С. В., Плаксин С. В., Тарасов С. В., Шкіль Ю. В. Ветро-солнечные установки и распределенная генерация электроэнергии // Праці Ін-ту електродинаміки Нац. акад. наук України: Зб. наук. праць, 2006. – Спец. вип. – С. 100–103.
12. Патент на винахід по заявці № А2006 06729, МПК 7 H02 K 1/12. Буферний накопичувач кінетичної енергії / М. Я. Житник, Ю.І. Липський, С.В Плаксін, Л. М. Погоріла, І.І. Соколовський. – від 16.06.2006.
13. Патент на винахід по заявці № а 2006 10975, МПК 7 H02J 9/06. Система безперебійного електропостачання споживачів змінного струму / В. О. Дзензерський, М. Я. Житник, Ю. М. Нагорна, С.В Плаксін, Л. М. Погоріла, І.І. Соколовський. – від 17.10.2006.
14. Патент на винахід по заявці № 200600074, МПК 7 E04D 13/00, F21S 39/04, F24J 3/00, H05B 37/02, H01L 31/18, H01L31/042. Автономна фотоелектрична установка / В. О. Дзензерський, С. В Плаксін, Л. М. Погоріла, І.І. Соколовський, С. В. Тарасов, Ю. В. Шкіль– від 03.01.2006.

Поступила в редакцію 04.04.07 г.

Проаналізовано принципи побудови гібридних вітро-сонячних енергетичних установок із загальними пристроями накопичення і перетворення енергії і з використанням активних демпферуючих пристроїв у вітросилових агрегатах.

Methodology of hybrid wind-sun power plants construction with the common equipment of accumulation and transformation of energy and with the use of active damper equipment in wind turbine aggregate are analysed.

УДК.620.9

Л. А. Варинская

Экономическая оценка модернизации ТЭЦ в условиях энергоемкого промышленного предприятия

С учетом существующих цен в Украине на энергоносители предложен расчет экономической эффективности модернизации ТЭЦ, принадлежащий энергоемкому промышленному предприятию. Определена удельная себестоимость вырабатываемых на ТЭЦ тепла и электроэнергии.

Повышение цен на природный газ, нефть и другие энергетические ресурсы ставит перед руководителями крупных промышленных предприятий Украины, (таких как, металлургические комбинаты и предприятия химической промышленности) проблемы, связанные с поиском дешевого топлива, либо с разработкой и внедрением эффективных способов использования материальных ресурсов, имеющихся в их распоряжении. Относительно недавно (около 7–10 лет назад) технические проекты по модернизации энергетических предприятий, вырабатывающих тепло и электрическую энергию, однозначно рекомендовали широкое внедрение природного газа в качестве технологического топлива (так как, во-первых, природный газ характеризуется более высокой по сравнению с углем теплоотворной способностью, и, во-вторых, использование газа сопровождается целым рядом других положительных эксплуатационных преимуществ). И, самое главное, не-

высокие цены на газ (примерно 18 грн. за 1000 м³ по сравнению с ценой за тонну угля около 13 грн.) делали проекты, основанные на замене твердого топлива на природный газ, экономически выгодными, характеризующимися сроками окупаемости капитальных вложений в такие проекты (2–3 года). Однако, современная экономическая ситуация на Украине требует пересмотра и нового переосмысления ранее экономически целесообразных технических решений и проектов, в том числе (и в плане модернизации энергетических предприятий, вырабатывающих тепло и электроэнергию).

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) представляют собой особый вид теплоэлектростанций (ТЭС), предназначенных для одновременного (комбинированного) производства электричества и тепла. Производство на ТЭС осуществляется путем преобразования в котлоагрегате химической энергии топлива в тепловую энергию пара высокого давления, приводящего в механическое движение турбину, генерирующую электричество.