

С.Ф. АРТЮХ, д.т.н., проф., НТУ «ХПИ»
К.В. МАХОТИЛО, к.т.н., с.н.с., НТУ «ХПИ»
К.В. САПЕЛЬНИКОВ, аспирант НТУ «ХПИ»

ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩИХ УЗЛОВ ГИБРИДНОГО ТИПА НА БАЗЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Широкое внедрение альтернативных источников энергии дает возможность создавать в энергосистемах гибридные энергогенерирующие узлы, которые могут существенно улучшать режимы их работы, повышать надежность электроснабжения потребителей и стать участниками конкурентного сектора энергорынка. В статье определены предпосылки для создания таких энергоузлов и намечены задачи, требующие научного решения.

Ключевые слова: гибридный энергогенерирующий узел, возобновляемые источники энергии, электроэнергетическая система.

Постановка проблемы. В конце прошлого и в начале настоящего века в мировой энергетике наблюдался резкий рост строительства электростанций, базирующихся на возобновляемых источниках энергии (ВИЭ). Это в первую очередь касается ветровых (ВЭС) и солнечных электростанций (СЭС), малых гидроэлектростанций (МГЭС) и биогазовых электростанций (БиоЭС).

Промышленное освоение этих видов станций, постоянное конструктивное совершенствование и повышение технико-экономических показателей уже сейчас сделали их вполне конкурентоспособными по отношению к традиционным электростанциям. А острый дефицит органического топлива и снижающаяся себестоимость возобновляемой энергии дает им перспективу стать в недалеком будущем главными источниками в энергосистеме.

Тем не менее, электростанции на ВИЭ все еще страдают от своего главного недостатка – нестабильности работы, зависимости от климато-метеорологических условий. В этой связи, встает вопрос о возможности создания нового типа генерирующих узлов (ЭГУ), которые представляли бы собой комплекс разнородных альтернативных электростанций, расположенных на одной территории

© С. Ф. Артюх, К. В. Махотило, К. В. Сапельников, 2015

и работающих на общие шины. Такие комплексы в последнее время получили название гибридных из-за характера выдаваемой в электроэнергетическую систему энергии, которая представляет собой «смесь» электроэнергии разнородных источников.

ЭГУ должны позволить устранить недостатки свойственные каждому отдельному виду ВИЭ и решить проблемы, стоящие перед современным энергосистемам. В первую очередь – повышения надежности и устойчивости их работы, уменьшения потерь передаваемой электроэнергии, разуплотнения графиков нагрузки, обеспечения эффективной работы на энергорынке. Они также смогут помочь решить проблемы электрических сетей 6-10 кВ, которые в настоящее время обеспечивают электроснабжение большей части электропотребителей.

Анализ последних исследований и публикаций. Идея создания таких комплексных узлов высказывалась и ранее [1-4]. Еще в 1990 году в одной из наиболее ранних книг, посвященной ВИЭ [1] ее авторы Дж. Твайделл и А. Уэйр высказали мысль о возможности повышения эффективности работы малых ГЭС за счет их объединения с ветрогенераторами.

В своей монографии [2] украинский ученый Н.М. Мхитарян прямо указал на возможность создания комбинированных энергосистем на основе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и систем аккумулирования. Он обосновано предположил, что высокие технико-экономические показатели применения ВИЭ, стабильные рабочие параметры энергетического оборудования и надежность энергоснабжения потребителей может быть достигнута при комбинированной выработке электрической и тепловой энергии, комплексном ее аккумулировании и при совмещении с технологиями традиционной энергетики.

Исследования, проведенные в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН [3], дали возможность д.т.н. Г.Ф. Ковалеву и д.т.н. М.А. Рычкову обосновать состав и провести расчеты параметров оборудования и водохранилища для ветрогидроэнергетического комплекса (ВГЭК), как объекта «распределенной» генерации.

Ученые Университета Дуйсбург-Эссен [4] разработали проект комплексного энергоузла, который включает в свой состав ВЭС и подземную ГАЭС. А разработанный сотрудниками Укрэнергопроекта ЭГУ [5] содержит волновую энергоустановку и размещенную над поверхностью моря ВЭС.

Целью данной статьи является анализ состояния проблем, связанных с созданием гибридных энергоузлов энергосистемы, основанных на ВИЭ и определение условий их эффективной работы.

Материалы и результаты исследований. Создание энергогенерирующих узлов связано с необходимостью решения целого ряда задач, среди которых основными являются следующие:

- определение оптимального состава ЭГУ по видам электростанций;
- определение величины установленной мощности ЭГУ;
- определение места размещения ЭГУ в энергосистеме;
- обеспечение устойчивости работы ЭГУ в энергосистеме;
- обеспечение их эффективными аккумуляторами энергии;
- определение взаимосвязи работы ЭГУ с другими узлами энергосистемы;
- создание оборудования для автоматического управления режимами работы.

При определении оптимального состава ЭГУ необходимо, прежде всего, исходить из свойств отдельных видов ВИЭ и условий их работы, а также необходимости их резервирования. На выбор состава ЭГУ существенное влияние оказывает характер местности и её природные и климато-метеорологические условия, которые определяют ветропотенциал, количество солнечных дней в году, возможность строительства малых ГЭС и ГАЭС, а также условия доставки отходов для получения биогаза и его последующего использования.

Возможные варианты структуры ЭГУ представлены в таблице. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, которые должны быть тщательно проанализированы при сравнении разных вариантов.

В основе решения об использовании ВИЭ должны быть положены результаты многолетнего мониторинга за состоянием окружающей среды в данном районе. Очень важно, чтобы получаемая при этом информация включала в себя все параметры, которые необходимы для разработки конкретной энергетической системы. Частично такую информацию можно получить с метеостанций, но, к сожалению, их расположение часто не совпадает с местом намечаемого расположения энергоустановок, а иногда методы и периодичность регистрации и анализа метеоданных не полностью соответствует рассматриваемой

задаче. Поэтому созданию ЭГУ должно предшествовать развитие базы метеонаблюдений.

Таблица 1 – Варианты структуры энергогенерирующего узла

№	ВЭС	СЭС	БиоЭС	МГЭС	МГАЭС
1	+	+			
2	+			+	
3		+		+	
4	+	+		+	
5	+			+	+
6		+		+	+
7	+	+		+	+
8	+	+	+		
9	+	+	+	+	
10	+	+	+	+	+

На выбор состава ЭГУ большое влияние оказывает характер потребителей электроэнергии и график их работы. Характеристики потребителей и потенциальных источников возобновляемой энергии должны быть тщательно согласованы между собой. Если согласование энергоустановок на ВИЭ с потребителем вызывает сложности, то чтобы не завывать мощность этой установки необходимо будет включить в состав ЭГУ определённые накопители энергии.

Необходимо учитывать и особенности местной инфраструктуры района, в рамках которого будет создаваться и функционировать ЭГУ. Как показали зарубежные исследования [1] характерный размер такого района не должен превышать 250 кв. км.

При расчёте мощности ЭГУ следует исходить из известных зависимостей, определяющих мощность агрегатов через характеристики их энергоносителей.

Суммарная установленная мощность ЭГУ определяется так:

$$P_{\text{уст } \Sigma} = \sum_i^n P_{\text{уст } i}, \quad (1)$$

где $P_{\text{уст } \Sigma}$ – суммарная установленная мощность энергоузла;

$P_{\text{уст } i}$ – установленная мощность i -й энергоустановки ЭГУ.

Мощность ветроагрегата N_B , кВт зависит от скорости ветра и от площади поверхности, ометаемой ветроколесом, и может быть записана так:

$$N_B = \frac{\rho^3 D^2}{7000}, \quad (2)$$

где ρ – скорость ветра, м/с;
 D – диаметр ветроколеса, м.

Таким образом установленную мощность ВЭС будет равна

$$P_{ВЭС} = \xi N_B n, \quad (3)$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра, который эквивалентен КПД ветроагрегата;

n – количество ветроагрегатов.

Следует сразу же сказать, что для непосредственного питания электрических приемников от ветроустановок их надо будет оснастить еще сглаживающими и замещающими устройствами, а также автоматическими регуляторами слежения ветрогенератора за направлением ветра.

Установленная мощность малых ГЭС и ГАЭС $P_{ГЭС}$, кВт находится по известной формуле:

$$P_{ГЭС} = 9,81QH\eta_r, \quad (4)$$

где Q – расход воды через створ ГЭС, м³/с;
 H – напор, м;

η_r – гидравлический КПД.

Что касается СЭС, то для оценки ее мощности необходимо знать энергетический потенциал солнечного излучения для данной местности. Практика показала, что в настоящее время наиболее целесообразным видом солнечных энергоустановок для условий Европы являются фотоэлектрические. Производство фотоэлектрических ячеек и панелей для них достаточно хорошо освоены промышленностью, а их технико-экономические показатели постоянно растут.

Как показывают последние исследования, солнечный радиационный режим территории Украины, особенно южных ее районов, весьма благоприятный для практического использования СЭС. Уже проведен достаточно большой объем исследований, который

дает возможность оценить на практике интенсивность прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации на протяжении суток в разные месяцы года в отдельных районах Украины, а значит оценить и необходимый для расчета энергетический потенциал [7]. Анализ среднестатистических данных по поступлению солнечной энергии в Украине показывает, что суммарная солнечная радиация достигает для разных районов Украины от 600 до 800 Втч/м² в сутки.

Учитывая то, что мощность СЭС зависит главным образом от типа и мощности фотоэлектрических панелей и их количества (которое определяется площадью выделенной для их установки территории), то мощность СЭС $P_{СЭС}$, кВт для ЭГУ можно оценить так:

$$P_{СЭС} = \frac{S_{СЭС\Sigma}}{S_{ФЭП}} P_{ФЭП}, \quad (5)$$

где $S_{СЭС\Sigma}$ – суммарная площадь земли, выделенная для СЭС, м²;

$S_{ФЭП}$ – площадь земли необходимая для установки одной панели, м²;

$P_{ФЭП}$ – единичная мощность панели, кВт.

Установленная мощность биогазовой энергоустановки зависит от вида газогенератора и объема сырья, на котором он работает. В [1] показано, что энергетический выход установки на биогазе, в общем случае, определяется соотношением

$$E = \eta H_{БГ} V_{БГ}, \quad (6)$$

где η – КПД горелочного устройства, котла и других элементов топочного цикла, примерно, 60%;

$H_{БГ}$ – теплота сгорания на единицу объема биогаза (удельная объемная теплота), МДж/м³;

$V_{БГ}$ – объем получаемого биогаза, м³.

Полученная энергия является тепловой и может быть положена в основу выбора мощности теплоагрегата БиоЭС и его электрического генератора. Очевидно, что установленная мощность БиоЭС установки целиком и полностью будет зависеть от исходного объема сырья для производства биогаза.

При этом надо иметь в виду, что сумма установленных мощностей отдельных станций ЭГУ может лишь условно представлять его полную установленную мощность, так как максимальные значения мощностей этих станций не обязательно могут быть получены в один и тот же момент времени. Нахождение величины установленной

мощности ЭГУ является лишь одной из многих взаимосвязанных между собой задач, связанных с созданием этого узла.

Необходимо будет определить, в первую очередь, месторасположения ЭГУ в энергосистеме и определить район энергопотребления, который он должен будет обслуживать. Исходя из требования уменьшения потерь при передаче электроэнергии и условия надежности электроснабжения потребителей, нужно будет определить взаимосвязи с существующими в энергосистеме близлежащими подстанциями и установить возможные перетоки электроэнергии между ними.

Используя методы теории вероятности и математической статистики, а также результаты проведенных в последние годы исследований на действующих СЭС, ВЭС и БиоЭС необходимо определить возможные пути заполнения требуемого графика нагрузки потребителей данного района. При этом главной задачей, по-прежнему, остается необходимость обеспечения должного качества электроэнергии. Все перечисленные выше задачи требуют своего научного решения.

Выводы:

1. Создание гибридных энергоузлов на базе альтернативных энергостанций, т.е. таких, которые содержат разнохарактерные источники энергии, размещаемые на одной территории и работающие на общие шины, является перспективным направлением совершенствования режимов работы электроэнергетических систем, особенно в электросетях 6-10 кВ;

2. Важнейшей задачей создания ЭГУ является определения его состава, который существенно зависит от природно-географических и климатологических факторов данной местности и характера электропотребителей выделенного района;

3. Показан метод нахождения суммарной установленной мощности ЭГУ, содержащих электростанции на базе ВИЭ разных типов;

4. Показаны направления дальнейших исследований, связанных с решением целого комплекса задач, связанных с созданием эффективных ЭГУ.

Список литературы: 1. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии: Пер. с англ.-М.: Энергоатомиздат.1990.-392 с.;ил. 2 . Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы / Н. М. Мхитарян - К.: Наукова думка.1999.-320 с.. 3. Ковалев г.Ф.,Рычков М.А. Ветроэнергетический комплекс как вариант диверсификации распределенной генерации. «Энергия:экономика,

техника,экология» №9и10, 2013. 4. Universitat Duisburg-Essen. Underground Pumped Storage Plant. <https://www.uni-due.de/wasserbau/undergroundpumpstorag-eplants.php> 5. Осадчий С.Д., / Совместное использование волновой и ветровой энергии в единой энергоустановке. / С.Д. Осадчий, А.З. Савченко // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Випуск 2(62), 2013 рік .Серія «Технічні науки» 6. Мхитарян Н.М. / Н. М. Мхитарян Гелиоэнергетика: системы, технологии, применение - К.: Наукова думка, 2002- 320 с.

Bibliography (transliterated): 1. Tvardell Dzh., Uejr A. *Vozobnovljaemye istochniki jenerгии*. Moscow. Jenergoatomizdat,1990. Print. 2 Mhitarjan N.M. *Jenergetika netradicionnyh i vozobnovljaemyh istochnikov. Opyt i perspektivy*.-Kiev Naukova dumka. 1999. Print.3. Kovalev g.F.,Rychkov M.A. *Vetrojenergeticheskij kompleks kak variant diversifikacii raspredelnojj generacii*. «Jenerгija:jekonomika, tehnika,jekologija» №9и10, 2013. 4. Universitat Duisburg-Essen. Underground Pumped Storage Plant. <https://www.uni-due.de/wasserbau/undergroundpumpstorag-eplants.php> 5. Osadchij S.D. ,Savchenko A.Z.*Sovmestnoe ispol'zovanie volnovojj i vetrovojj jenerгии v edinojj jenerгoustanovke. Vistnik Nacional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta priroдокoristuvannja*. No. 2(62), 2013. 13-25 Print. 6. Mhitarjan N.M. *Geliojenergetika: sistemy, tehnologii, primenenie*. Kiev Naukova dumka, 2002. Print.

Поступила (received) 29.04.2015