

УДК 620 92

С. Ф. АРТЮХ (д-р техн. наук, проф.), **К. В. МАХОТИЛО** (канд. техн. наук, с.н.с.),
К. В. САПЕЛЬНИКОВ

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
artjuch@mail.ru

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

Широкое внедрение альтернативных источников энергии дает возможность создавать в энергосистемах гибридные энергогенерирующие узлы, которые могут существенно улучшить режимы их работы, повысить 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 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.

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

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.

Таблица – Варианты структуры энергогенерирующего узла

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

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.

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 завышать мощность этой установки необходимо будет включать 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 $N_{\text{в}}$, кВт зависит от скорости ветра и от площади поверхности, ометаемой ветроколесом, и может быть записана так:

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

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

Таким образом установленную мощность ВЭС будет равна

$$P_{BЭС} = \xi N_{\epsilon} n, \quad (3)$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра, который эквивалентен КПД ветроагрегата; n – количество ветроагрегатов.

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

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

$$P_{ГЭС} = 9,81 Q H \eta_{Г}, \quad (4)$$

где Q – расход воды через створ ГЭС, м³/с; H – напор, м; $\eta_{Г}$ – 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 [6]. 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.
2. Мхитарян Н. М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. -К.: Наукова думка, 1999. -320 с.
3. Ковалев Г. Ф., Рычков М. А. Ветроэнергетический комплекс как вариант диверсификации распределенной генерации // «Энергия: экономика, техника, экология», -2013. - № 9. - С. 15-22, - № 10. - С. 14-19.
4. Underground Pumped Storage Plant: Universitat Duisburg-Essen. -2013, Режим доступа: <https://www.uni-due.de/wasserbau/undergroundpumpedstorageplants.php>
5. Осадчий С. Д., Савченко А. З. Совместное использование волновой и ветровой энергии в единой энергоустановке // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». -2013. -Вип. 2(62), С. 302-308.
6. Мхитарян Н. М. Гелиоэнергетика: системы, технологии, применение. -К.: Наукова думка, 2002. -320 с.

REFERENCES

1. Twidell, J. Weir, T. (2006) Renewable Energy Resources. Taylor and Francis, Great Britain, 2nd edition.
2. Mkhitaryan N. M. (1999) *Energetika netraditsionnykh i vobnovlyaemykh istochnikov. Opyt i perspektivy*. [Energy of alternative and renewable sources. Experiences and Perspectives], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
3. Kovalev G. F. and Rychkov M.A. (2013), "Wind energy complex as an option to diversify distributed generation", *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya*, no. 9, pp.15-22, no. 10, pp.14-19.
4. Universitat Duisburg-Essen (2013), "Underground Pumped Storage Plant", available at: <https://www.uni-due.de/wasserbau/undergroundpumpedstorageplants.php> (accessed November 23, 2015).
5. Osadchiy S. D. and Savchenko A. Z. (2013), "Common use of the wave and wind energy in a single power plant", *Vistnik Natsional'nogo universitetu vodnogo gospodarstva ta prirodokoristuvannya. Seriya «Tekhnichni nauki»*, Vol. 2(62), pp. 302-308.
6. Mkhitaryan N. M. (2002) *Gelioenergetika: sistemy, tekhnologii, primenenie*. [Solar energy: systems, technologies, application], Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.

Надійшла до редколегії 01.12.2015

Рецензент: Шавьолкін О.О.

С. Ф. АРТЮХ, К. В. МАХОТИЛО, К. В. САПЕЛЬНИКОВ
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Передумови до створення енергогенеруючих вузлів гібридного типу на базі відновлюваних джерел енергії. Широке впровадження альтернативних джерел енергії дає можливість створювати в енергосистемах гібридні енергогенеруючі вузли, які можуть суттєво покращувати режими їх роботи, підвищувати надійність електропостачання споживачів і стати учасниками конкурентного сектора енергоринку. У статті визначено передумови для створення таких енерговузлів і намічені завдання, що вимагають наукового вирішення.

Ключові слова: *гібридний енергогенеруючий вузол, відновлювані джерела енергії, електроенергетична система.*

S. F. ARTYKH, K. V. MAKHOTILO, K. V. SAPELNIKOV
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

Background of the hybrid power generating nodes based on the renewable energy sources. At the last decades the energy sector of the world experienced a rapid increase in the construction of power plants based on renewable energy sources. Development of these types of power plants and improvement of their design and efficiency are already made them highly competitive with conventional power plants. In this context, the question arises about the possibility of creating a new type of hybrid power generating nodes (PGN), which would combine a diverse range of renewable energy

power plants located in the same area and connected to same power line. Such nodes called hybrid because of its output energy, which is a "mixture" of different renewable sources.

Creation of PGN should allow to eliminate the disadvantages inherent in each individual type of renewable energy sources and to solve the problems facing the modern power systems. First of all it should increase the reliability and stability of power systems work, reduce transport loss of power, and increase the efficiency of energy market operation. They should also help solve problems arising in 6-10 kV distributing networks.

The paper defines the background of such PGN based on renewable energy sources and related scientific problems that require solution. An analysis of the state of the problems performed and conditions of PGN efficient operation is determined. It is shown that the creation of PGN requires solution of such of problems as determination of the optimal structure of PGN by type of power plants, determination of the installed capacity of the PGN, determination of the placement of PGN in the power system, ensuring the stability of the PGN functioning in the power system, equipping of PGN with effective energy accumulators, determination of the PGN cooperation with another nodes in power system, creation of automatic control system for PGN.

The ways of solving the two main problems are proposed. It is shown that the structure of PGN essentially depends on the geographic and climatic factors of the area and on the local electrical load characteristics. It is proposed a method of finding the total installed capacity of PGN with different types of renewable energy power plants. In conclusion, it is shown directions for further researches of the whole complex of problems related to the creation of effective PGN.

Keywords: hybrid power generating node, renewable energy, electric power system.