

УДК 621.1.016:620.97(075.8)

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Я. С. Воронцов, студент магистратуры

*Е. А. Антипов, кандидат технических наук, старший преподаватель
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

E-mail: ievgeniy_antypov@ukr.net

Аннотация. *Рассмотрены общие принципы построения автономных энергокомплексов (АЭК) с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ), систем преобразования и использования ВИЭ, а также сопоставление их с традиционными источниками энергии. Показано, что применение ВИЭ в энергосистемах и энергокомплексах определяется конкретными природно-климатическими условиями и потребностями конкретного региона в энергии для различных отраслей народного хозяйства. Установлено, что использование ВИЭ не приводит к дополнительному тепловому загрязнению окружающей среды, характеризуется отсутствием других вредных воздействий на окружающую среду, что делает их высокоценными, практически экологически чистыми источниками энергии. Доказано, что в небольших автономных энергокомплексах, экономически наиболее эффективными представляются варианты совместного применения традиционных энергетических ресурсов (ТЭР) и ВИЭ. Установлено, что с ростом цен на ТЭР, ужесточением экологических требований к энергоисточникам и совершенствованием систем преобразования ВИЭ их доля в энергобалансах будет возрастать, что приведет к эволюции этих комплексов, которые, в конечном итоге, трансформируются в малые АЭК на основе ВИЭ. Обоснована целесообразность использования аккумуляторов электрической и тепловой энергии в составе АЭК с использованием солнечной энергии.*

Ключевые слова: *возобновляемые источники энергии, автономные энергокомплексы, традиционные источники энергии, аккумулятор электрической и тепловой энергии*

Актуальность. В последние годы в Украине широко распространяется строительство индивидуальных жилых домов в пригородных зонах, где

отсутствует централизованное тепло- и газоснабжение. В этих условиях перспективным является использование автономных систем энергообеспечения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Использование таких систем обеспечит значительную экономию как природного газа, так и других традиционных источников энергии.

Анализ последних исследований и публикаций. Учитывая широкое разнообразие оборудования установок возобновляемой энергетики (ветрогенераторы, фотоэлектрические батареи, солнечные коллекторы, аккумуляторы и т.д.), можно разработать множество энергетических систем [1-3], различных по комбинации первичных источников энергии. Однако, малая плотность потока возобновляемой энергии и невозможность регулирования режимов ее поступления не позволяют ориентировать развитие энергетики исключительно на ВИЭ. В настоящее время наиболее экономически эффективными представляются варианты совместного применения традиционных энергетических ресурсов (ТЭР), ВИЭ и аккумуляторов энергии в составе одной системы для получения тепловой и электрической энергии.

Цель исследования – обосновать целесообразность создания автономных систем энергообеспечения коммунально-бытового потребителя при использовании возобновляемых источников энергии.

Материалы и методы исследования. Выполнив анализ общих положений преобразования и использования возобновляемых источников энергии, которые достаточно хорошо освещены в литературе [4], схематично покажем процессы преобразования, аккумуляирования и использования ВИЭ (рис. 1). Для этого на пути потока энергии – солнечной, ветровой, геотермальной и др., самопроизвольно поступающей от такого источника в атмосферу Земли или на поверхность ее суши или водоема, – устанавливается преобразователь (трансформатор) энергии, в котором происходит улавливание, преобразование, а при необходимости и концентрация первичной возобновляемой энергии. Далее,

преобразованная в энергию какого-либо другого вида (тепловую, электрическую, механическую и др.), она направляется потребителю, а если в данный момент в ней нет необходимости, то в аккумулятор энергии, откуда ее по мере необходимости подают в системы инженерного оборудования, например, отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и др.

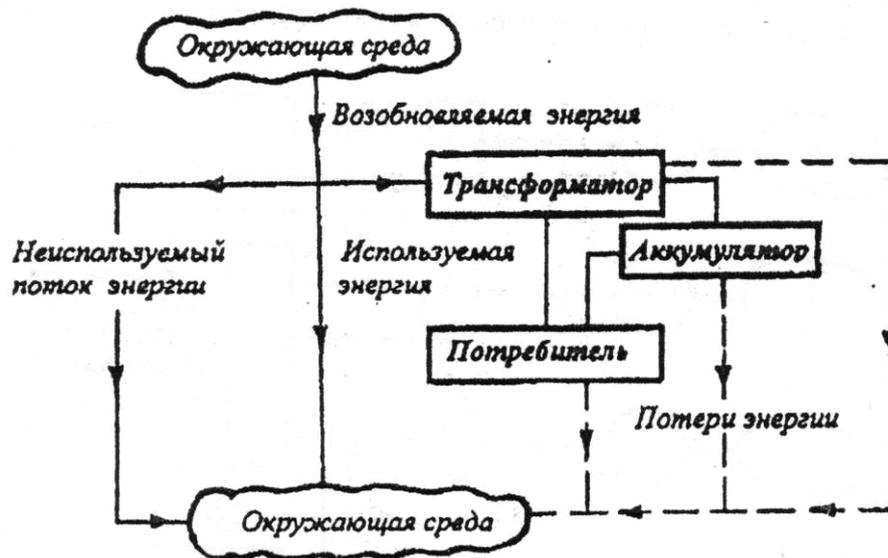


Рис. 1. Схема процессов преобразования, аккумулирования и использования ВИЭ [4]

При преобразовании, аккумулировании и потреблении энергии часть преобразованной энергии, полученной из окружающей среды, теряется и в форме тепловой энергии поступает в окружающую среду. Следовательно, использование ВИЭ не увеличивает поступления энергии на поверхность Земли и не приводит к дополнительному тепловому загрязнению окружающей среды.

Для сравнения на рис. 2 показан процесс преобразования невозобновляемой энергии, получаемой при сжигании газообразного, жидкого или твердого топлива. В этом случае первичная энергия из источника, не связанного с окружающей средой, преобразуется в энергоустановке (трансформаторе энергии) и направляется потребителю. При преобразовании, транспортировании и потреблении часть энергии теряется в окружающую среду в форме тепловой

энергии (тепловое загрязнение среды). Таким образом, использование возобновляемой энергии в отличие от невозобновляемой энергии не приводит к дополнительному тепловому загрязнению окружающей среды. В большинстве случаев использования энергии возобновляемых источников отсутствуют вредные выбросы в атмосферу и другие вредные воздействия на окружающую среду, имеющие место при использовании невозобновляемых видов энергии. Это делает ВИЭ практически экологически чистыми источниками энергии. Следует, однако, отметить, что ни один ВИЭ не является универсальным, подходящим для использования в любых энергосистемах. Это всегда определяется конкретными природными условиями и потребностями общества, т. е. конкретной ситуацией.

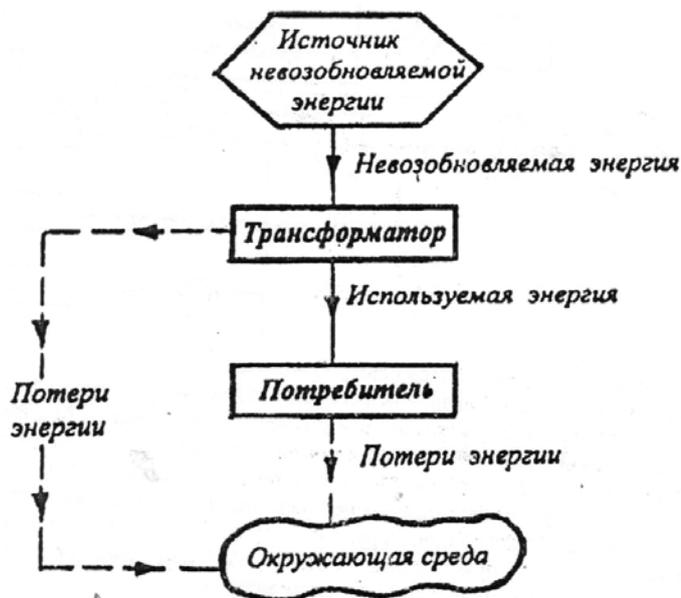


Рис. 2. Схема процессов преобразования и использования невозобновляемой энергии [4]

Для применения ВИЭ необходимо, во-первых, глубоко исследовать природноклиматические условия конкретного региона, во-вторых, изучить потребности этого региона в энергии для строительства, жилищно-коммунального и сельского хозяйства. Характерный размер региона, в рамках которого разумно планировать энергетику на ВИЭ, как показывает большой

зарубежный опыт, не может быть очень большим и составляет величину порядка 250 км². ВИЭ являются неотъемлемой частью окружающей среды и поэтому целесообразно комплексное применение их в различных отраслях народного хозяйства. Например, на Филиппинах, в Китае и Индии отходы животноводства используются для производства биогаза, а также жидкого и твердого топлива, а в целом – для производства удобрений и высокоэффективного ведения сельского хозяйства.

Следует отметить, что с ростом цен на ТЭР, ужесточением экологических требований к энергоисточникам и совершенствованием систем преобразования и аккумулирования ВИЭ доля последних в энергобалансах автономных энергокомплексов (АЭК) будет возрастать. Эти автономные энергокомплексы, по-видимому, будут эволюционировать и в перспективе трансформируются в малые АЭК с ВИЭ.

При использовании ВИЭ весьма важной представляется задача согласования их работы с потребителями. Анализ литературных данных [4] позволяет сделать некоторые выводы о согласовании работы энергоустановок (трансформаторов возобновляемой энергии) с потребителями энергии, а в ряде случаев и с централизованной энергосистемой. Эти выводы справедливы как для отдельных энергоустановок, использующих ВИЭ, так и для энергокомплексов, использующих несколько ВИЭ (солнечную, ветровую, биогаз и др.). Согласование предполагает выполнение следующих пяти условий.

1. Энергоустановки должны максимально эффективно использовать ВИЭ. Сопротивления потокам энергии, а также потери (сброс энергии) в окружающую среду должны быть минимальны (рис. 3, а). В этом случае будут сведены к минимуму затраты на энергетическое оборудование.

2. Использование систем управления с отрицательной обратной связью между потребителем и источником энергии невыгодно, так как приходится сбрасывать в окружающую среду часть выработанной преобразователем энергии

(рис. 3, б). Такое регулирование оправдано только в случае крайней необходимости или когда удовлетворены все возможные потребители энергии. Следует заметить, что неэффективность принципа регулирования с обратной связью в энергетических установках на возобновляемой энергии является следствием постоянного существования в окружающем пространстве потоков этой энергии. Для невозобновляемого источника энергии, использующего ископаемые виды топлива, регулирование с обратной связью выгодно, так как уменьшает его расход.

3. Потребление энергии колеблется, как и ее производство энергоустановками на возобновляемой энергии. Согласовать потребление и производство энергии в энергокомплексах, не превышая при этом мощность энергоустановки, можно только, включив в энергосистему аккумуляторы энергии (рис. 3, в). Последние достаточно дороги, особенно если разрабатывать их приходится для уже существующей энергосистемы.

4. Если согласовать энергоустановку на возобновляемой энергии с потребителями очень сложно, от решения этой задачи отказываются (рис. 3, г). В этом случае эту установку подключают к более крупной и универсальной по составу источников энергии системе. Если такие системы имеют аккумуляторы энергии (например, гидравлические или тепловые), их эффективность повышается и становится возможным увеличить в них долю установок на возобновляемой энергии.

5. Наиболее эффективная система использования ВИЭ показана на рисунке 3, д. При такой схеме к источнику энергии в каждый момент времени подключается такое количество потребителей, при котором суммарная нагрузка соответствует текущей мощности источника. При этом отдельные потребители могут в свою очередь иметь аккумуляторы энергии или подстраиваться под изменяющиеся параметры источника. В таких схемах используется регулирование с прямой связью.

б.

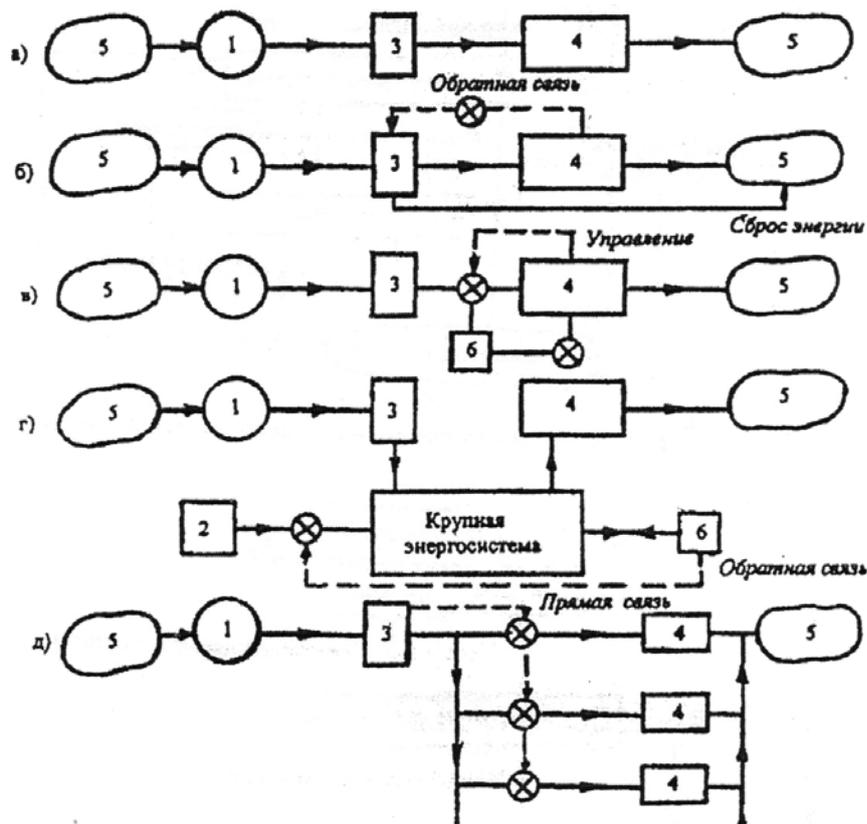


Рис. 3. Согласование ВИЭ с потребителями [4]:

а – чем меньше сопротивления отдельных участков в цепи расходования энергии, тем меньше размеры и стоимость энергетического оборудования; *б* – управление с отрицательной обратной связью сопряжено с дополнительными потерями энергии; *в* – использование аккумуляторов энергии позволяет сдвигать (развязывать) во времени производство и потребление энергии; *г* – развязывание источника энергии и потребителя с помощью более крупной энергосистемы; *д* – управление с прямой связью с нагрузкой, при котором число потребителей можно все время согласовывать с располагаемым потоком энергии: 7 – ВИЭ; 2 – источник истощаемой энергии; 3 – трансформатор энергии; 4 – потребитель; 5 – окружающая среда; б – аккумулятор энергии.

Для согласования источников энергии с потребителями используются различные методы управления. Из изложенного следует, что в энергосистемах с

ВИЭ и в малых АЭЖ на основе ВИЭ можно использовать три метода управления, основанные на сбросе излишков энергии, аккумулировании энергии и изменении нагрузки. Эти методы могут быть реализованы различными способами применительно ко всей энергосистеме или ее частями и иллюстрируются такими примерами.

Система со сбросом излишков энергии. Потоки энергии возобновляемых источников существуют постоянно, и если их не использовать, они будут безвозвратно потеряны. Тем не менее, метод управления, основанный на сбросе части этой энергии, может оказаться самым простым и дешевым. Такой метод управления используется, например, на гидроэлектростанциях, в системах обогрева зданий солнечным излучением с управляемыми заслонками, в ветроколесах.

Системы с аккумуляторами энергии. Аккумуляторы могут накапливать (запасать) энергию возобновляемых источников как в ее исходном, непретобразованном виде, так и в претобразованном виде после энергоустановки. В первом случае управление запасами возобновляемой энергии такое же, как и запасами невозобновляемой энергии. В качестве накопителей претобразованной энергии можно использовать баки-аккумуляторы теплоты, газгольдеры, аккумуляторные батареи и другие аккумуляторы. Такие аккумуляторы особенно выгодны на небольших энергоустановках, которые могут быть использованы в автономных энергокомплексах.

Основной недостаток систем регулирования с такими аккумуляторами – их относительно высокая стоимость, сложность использования в небольших энергоустановках и при реализации дистанционного управления.

Системы с регулированием нагрузки. Такие системы поддерживают соответствие между спросом и предложением энергии за счет включения и выключения необходимого числа потребителей. Такое регулирование может

применяться в любых системах, но наиболее выгодно оно при наличии большого числа разнородных потребителей.

Обобщая результаты ряда научных разработок и практических экспериментов как отечественных, так и зарубежных исследователей предложен АЭК с ВИЭ [5], основанный на использовании энергии солнечного излучения и/или электрической сети с возможностью накопления ее избытка в аккумуляторах электрической и тепловой энергии усовершенствованной конструкции [6].

Используя предложенную в [7] имитационную модель АЭК с использованием энергии альтернативных источников, было проведено исследование целесообразности включения аккумуляторов энергии в состав предлагаемого комплекса с оценкой их влияния на эффективность процесса энергообеспечения потребителей в целом. При моделировании были использованы суточные графики изменения средней интенсивности солнечного излучения и мощности нагрузки [8]. Номинальная емкость одной 12-вольтовой аккумуляторной батареи (АКБ), которая входит в состав каждой из групп m АКБ (от 2 до 4 шт. в группе), принималась $100 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

Моделирование проводилось для одних суток с интервалом в 2 часа.

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 4 показано, что за сутки нагрузкой было потреблено $14170 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ электрической и $7000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$ тепловой энергии. Вместе с тем, преобразователями энергии альтернативных источников произведено: фотоэлектрическими батареями - $4410 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$; солнечным коллектором - 4650 Вт ; аккумулятировано группой аккумуляторных батарей: электрической энергии - $15650 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$, тепловой - $6250 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$.

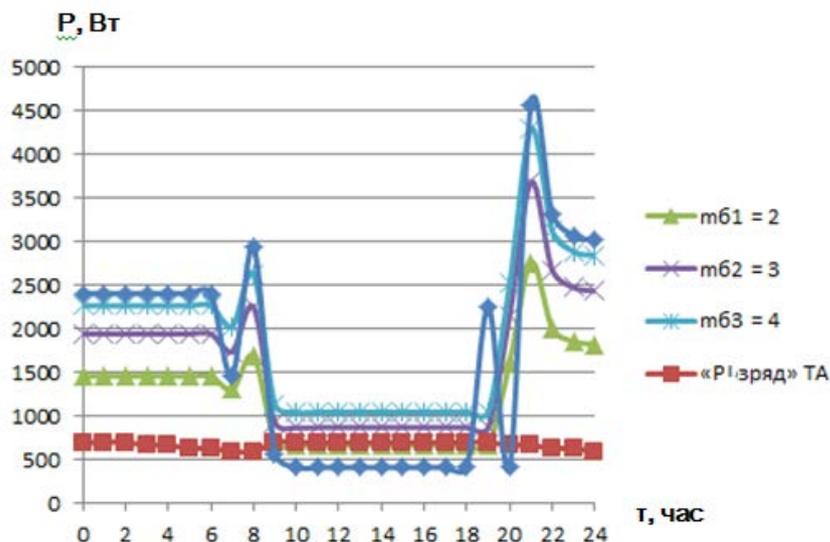


Рис. 4. Результаты исследования суточной работы предложенного АЭЖ с ВИЭ и аккумуляторами энергии

Из анализа рис. 4 видим, что аккумуляторы энергии сглаживают суточные перепады поступления как тепловой, так и электрической энергии. Кроме того, они обеспечивают функционирование предложенного АЭЖ почти без использования энергии традиционных источников питания.

Таким образом, результаты исследования показывают, что доля альтернативной энергии в энергопотреблении при заданных параметрах модели составляет около 31 % для электрической и 66 % - для тепловой энергии соответственно. При этом, эффективность покрытия нагрузки потребителей за счет использования аккумулированной электрической энергии составляет в пределах 95 – 100 %, а тепловой – 84 – 89 %.

Выводы и перспективы. Рассмотрение общих принципов преобразования и использования ВИЭ и сопоставление их с традиционными источниками энергии позволяет констатировать следующее:

1. Применение ВИЭ в энергосистемах и энергокомплексах всегда определяется конкретными природно-климатическими условиями и

потребностями конкретного региона в энергии для различных отраслей народного хозяйства.

2. Использование ВИЭ не приводит к дополнительному тепловому загрязнению окружающей среды, при использовании ВИЭ практически отсутствуют и другие вредные воздействия на окружающую среду, что делает их высокоценными, практически экологически чистыми источниками энергии.

3. В настоящее время в небольших автономных энергокомплексах экономически наиболее эффективными представляются варианты совместного применения ТЭР и ВИЭ. С ростом цен на ТЭР, ужесточением экологических требований к энергоисточникам и совершенствованием систем преобразования ВИЭ их доля в энергобалансах будет возрастать, что приведет к эволюции этих комплексов и, в конечном итоге, трансформироваться в малые АЭЖ с ВИЭ.

4. В результате проведенных исследований обоснована целесообразность использования аккумуляторов электрической и тепловой энергии в составе АЭЖ с использованием солнечной энергии. В частности, установлено следующее:

- часть альтернативной энергии в энергопотреблении при заданных параметрах модели составляет около 31 % для электрической и 66 % - для тепловой энергии соответственно;
- эффективность покрытия нагрузки потребителей за счет использования аккумулированной электрической энергии составляет в пределах 95 – 100 %, а тепловой – 84 – 89 %.

Список использованных источников

1. Басок Б. И. Экспериментальный модуль гелиогеотермальной установки для теплоснабжения [Текст] / Б. И. Басок, А. И. Накорчевский, Т. Г. Беляева, Д. М. Чалаев, А. Н. Недбайло, И. С. Голуб // Промышленная теплотехника. – 2006. – № 1. – С. 69–78.

2. Денисова А. Е. Комбинированные системы теплоснабжения на базе солнечных установок [Текст] / А. Е. Денисова, А. С. Мазуренко // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 6. – С. 14–19.

3. Горобец В. Г. Застосування сонячних енергетичних установок та

акумуляторів теплоти в системах теплозабезпечення теплиць [Текст] / В. Г. Горобець, Є. О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. – К.: ВЦ НУБіП України, 2014. – Вип. 194, ч. 2. – С. 100–107.

4. Шишкин Н. Д. Малые энергоэкономические комплексы с возобновляемыми источниками энергии [Текст] / Н. Д. Шишкин. – Москва: Готика, 2000. – 236 с.

5. Антипов Є. О. Комбінована система енергозабезпечення споживачів із застосуванням традиційних та альтернативних джерел і акумуляторів енергії: [Електронний ресурс] / Є. О. Антипов // Енергетика і автоматика. – 2015. – № 1 (15). – С. 72–81. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/eia_2015_1_11.pdf.

6. Антипов Є. О. Експериментальне дослідження ефективності нової конструкції акумулятора теплоти фазового переходу [Текст] / Є. О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2015. – Вип. 209, ч. 2. – С. 253–257.

7. Кубкін М. В. Імітаційна модель комбінованої електроенергетичної системи з відновлюваними джерелами енергії [Текст] / М. В. Кубкін, В. П. Солдатенко // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2012. – Вип. 25, ч. II. – С. 192–202.

8. Антипов Є. О. Аналіз роботи системи комплексного енергозабезпечення споживачів методом імітаційного моделювання [Текст] / Є. О. Антипов // Науковий вісник НУБіП України. Серія «Техніка та енергетика АПК». – 2016. – Вип. 256. – С. 186–191.

References

1. Basok, B. I., Nakorchevskiy, A. I., Belyayeva, T. G., Chalayev, D. M., Nedbaylo, A. N., Golub, I. S. (2006). Eksperimental'nyy modul' geliogeotermal'noy ustanovki dlya teplosnabzheniya [Experimental module of a heliohetermal installation for heat supply]. *Industrial heat engineering*, 1, 69–78.

2. Denisova, A. E., Mazurenko, A. S. (2002). Kombinirovannyye sistemy teplosnabzheniya na baze solnechnykh ustanovok [Combined heat supply systems based on solar installations]. *Ecotechnologies and Resource Saving*, 6, 14–19.

3. Gorobets, V. G., Antypov, I. O. (2014). Zastosuvannya sonyachnykh enerhetychnykh ustanovok ta akumulyatoriv teploty v systemakh teplozabezpechennya teplyts [Application of solar power plants and heat accumulators in heating systems of greenhouses]. *Scientific Journal NUBiP Ukraine*, 194 (2), 100–107.

4. Shishkin, N. D. (2000). Malyye energoekonomicheskiye komplekсы s vozobnovlyayemyimi istochnikami energii [Small energy-economic complexes with renewable energy sources]. *Moscow: Gothic*, 236.

5. Antypov, I. O. (2015). Kombinovana systema enerhozabezpechennya spozhyvachiv iz zastosuvannyam tradytsiynykh ta al'ternatyvnykh dzherel i

akumulyatoriv enerhiyi [The combined system power consumers using traditional and alternative energy sources and batteries]. Energy and Automation, 1 (15), 72–81.

6. Antypov, I. O. (2015). Eksperymental'ne doslidzhennya efektyvnosti novoyi konstruktsiyi akumulyatora teploty fazovoho perekhodu [Experimental study of the effectiveness of the new design of heat power phase transition]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 209 (2), 253–257.

7. Kubkin, M. V., Soldatenko V. P. (2012). Imitatsiyana model' kombinovanoi elektroenerhetychnoyi systemy z vidnovlyuvanymy dzherelamy enerhiyi [A simulation model of combined electricity system with renewable energy sources]. Kirovograd: RVL KNTU, 25 (II), 192–202.

8. Antypov, I. O. (2016). Analiz roboty systemy kompleksnoho enerhozabezpechennya spozhyvachiv metodom imitatsiynoho modelyuvannya [Analysis of the system of integrated energy supply of consumers by the method of simulation]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 256, 186–191.

ДО ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АУТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Я. С. Воронцов, Є. О. Антипов

Анотація. Розглянуто загальні принципи побудови автономних енергокомплексів (АЕК) з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), систем перетворення та використання ВДЕ, а також зіставлення їх із традиційними джерелами енергії. Показано, що застосування ВДЕ в енергосистемах та енергокомплексах визначається конкретними природно-кліматичними умовами та потребами конкретного регіону в енергії для різних галузей народного господарства. Встановлено, що використання ВДЕ не призводить до додаткового теплового забруднення навколишнього середовища, характеризується відсутністю інших шкідливих впливів на навколишнє середовище, що робить їх високоефективними, практично екологічно чистими джерелами енергії. Доведено, що в невеликих автономних енергокомплексах економічно найефективнішими є варіанти спільного застосування традиційних енергетичних ресурсів (ТЕР) та ВДЕ. Встановлено, що з підвищенням цін на ТЕР, посилення екологічних вимог до енергоджерел та вдосконалення систем перетворення ВДЕ їх частка в енергобалансах буде зростати, що призведе до розвитку цих комплексів, які, в кінцевому підсумку, трансформуються в малі АЕК на базі ВДЕ. Обґрунтовано доцільність використання акумуляторів електричної та теплової енергії в складі АЕК з використанням сонячної енергії.

Ключові слова: поновлювані джерела енергії, автономні енергокомплекси, традиційні джерела енергії, акумулятор електричної і теплової енергії

**TO THE QUESTION OF ESTABLISHMENT AND RESEARCH OF
EFFICIENCY OF WORK OF AUTONOMOUS ENERGY SUPPLY SYSTEMS
BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES**

J. Vorontsov, I. Antypov

Abstract. *The general principles of building autonomous energy complexes (AEC) using renewable energy sources (RES), systems for converting and using renewable energy sources, as well as comparing them with traditional energy sources are considered. It is shown that the use of renewable energy in power systems and energy complexes is determined by specific natural and climatic conditions and the needs of a specific region in energy for various sectors of the national economy. It is established that the use of renewable energy does not lead to additional thermal pollution of the environment, is characterized by the absence of other harmful environmental impacts, which makes them highly valuable, practically environmentally friendly energy sources. It has been proved that in small autonomous energy complexes, the variants of joint application of traditional energy resources and RES are the most economically effective ones. It was established that with the growth of prices for fuel and energy resources, tightening of environmental requirements for energy sources and improvement of renewable energy conversion systems, their share in energy balances will increase, which will lead to the evolution of these complexes, which eventually transform into small AEC based on renewable energy sources. The expediency of using electric and heat energy accumulators in the AEC with use of solar energy is grounded.*

Key words: *renewable energy sources, autonomous energy complexes, traditional energy sources, accumulator of electric and thermal energy*