

**С. В. Гошовский**, д-р техн. наук, профессор, директор Украинского государственного геологоразведочного института, ukrdgr@ukrdgri.gov.ua,  
**А. В. Зурьян**, заведующий отделом инновационных технологий Украинского государственного геологоразведочного института, alexey\_zuryan@ukr.net

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

*Работа посвящена созданию методических основ проектирования надежных и экономных систем энергоснабжения. Рассмотрены этапы работ при построении комплексов энергетических систем, использующих в своей структуре возобновляемые источники энергии. Приведена обобщенная схема построения модели как отдельных составных частей, так и энергетических комплексов с применением в своей структуре возобновляемых источников энергии.*

**Ключевые слова:** методические основы, построение комплексов энергетических систем, энергоснабжение, альтернативная энергетика, возобновляемые источники энергии.

### **Введение**

Повышение энергетической эффективности и необходимость ресурсосбережения являются актуальными проблемами почти во всех странах мира. Для решения этих проблем в последние годы становится актуальной новая энергетическая политика, основанная на использовании гибридных энергетических систем. При построении таких систем особое внимание необходимо обратить на нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Внедрение альтернативной энергетики на основе возобновляемых источников энергии может создавать надежные, редко обслуживаемые системы энергоснабжения. Именно это обстоятельство и позволяет надеяться на успех при формировании общетеоретических подходов к построению оптимальных комплексных схем энергетических систем.

### **Постановка задачи**

Теоретические и практические методы построения энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии в Украине до настоящего времени не отработаны. В то же время имеются достаточно развитые основы для формирования теоретической базы такой комплексной разработки. В Украине проводятся исследования в области использования возобновляемых источников энергии, широко ведутся работы по исследованию источников энергии, которые могут быть использованы в условиях конкретного региона, проводятся исследования особенностей совместного использования традиционных и возобновляемых источников энергии для работы в единой системе. В последние годы был большой прорыв в создании крупных энергетических систем с комплексным использова-

нием традиционных и возобновляемых источников энергии. Однако актуальным остается вопрос систематизации исследований в этой области, создания методики и разработки новых методологических подходов к формированию системы поиска требуемых типов нетрадиционных источников энергии, методологии оптимального их размещения, способов определения потребности в тех или иных типах источников энергии и т. д.

Кроме того, возникает ряд новых, ранее не ставившихся задач по обеспечению надежности гибридных систем при существенной вариативности параметров природных носителей энергии. Без решения этих задач построение комплексных энергетических комплексов становится неосуществимым в связи с резким возрастанием затрат, вызванных принятием неоптимальных решений.

В настоящее время разработка энергетических систем с использованием возобновляемых источников энергии (ВИЭ) основана в целом на ряде инженерных подходов к проектированию отдельных компонентов, что свидетельствует об отсутствии научно обоснованной методологии разработки энергетических систем с использованием ВИЭ как единого целого. Оптимизация параметров отдельных составных частей и компонентов затруднена в связи с наличием возмущений, вызванных взаимовлиянием компонентов друг на друга, их размещения и нестабильности условий эксплуатации. Решение этой проблемы может заключаться в создании оптимальных технологичных комплексов, построенных на основе внедрения методологии с системным научным подходом и применением совокупности различных методов, а также с использованием научно обоснованных технических, технологических и экономических решений. Методология позволяет структурировать и логически организовывать методы и средства оптимального проектирования отдельных составных частей и комплексов возобновляемых источников энергии. Такой подход имеет важное хозяйствен-

ное значение, а внедрение обоснованных решений вносит значительный вклад в развитие экономики страны, повышение энергонеzáвисимости государства.

#### **Анализ существующих методологических подходов**

В методике оптимального построения энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии, как правило, основными критериями выбора ВИЭ являются: развиваемая мощность, стоимость вырабатываемой энергии, размеры и стоимость применяемых энергоустановок, доля замещения углеводородного топлива, расстояние от ВИЭ до сетей централизованного электроснабжения.

Мы проанализировали существующие методики построения данных систем. В первую очередь тех, которые касались как методики выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии, так и управления гибридными энергетическими системами с возобновляемыми источниками энергии [2, 7].

Основной недостаток возобновляемой энергии – её непостоянство. Выработка как тепловой, так и электрической энергии энергетическими установками, которые в качестве источника энергии используют ВИЭ, очень часто сильно зависит как от места размещения и условий эксплуатации, так и погодноклиматических условий, изменение которых имеет случайный характер. Поэтому в локальных энергосистемах с ВИЭ присутствуют риски энергоснабжения потребителей, связанные с непостоянством энергоносителя. Последствия от данных рисков заключаются в высокой вероятности нарушения энергоснабжения потребителей. Таким образом, важным вопросом становится разработка методики выбора оптимального сочетания ВИЭ с учетом случайного характера факторов, влияющих на стабильность получения энергии от ВИЭ. Эксплуатационный риск электроснабжения потребителей (ЭРЭП) [2] определяет вероятность неполучения потребителями требуемой мощности

вследствие случайного характера изменения условий эксплуатации. При выборе оптимального сочетания ВИЭ в локальной энергосистеме необходим расчет как основных критериев, так и ЭРЭП. Для расчета ЭРЭП предлагается использовать методы теории портфельного анализа. Портфелем ВИЭ является сочетание возобновляемых источников энергии, применяемых в системе электроснабжения [2]. Портфель может состоять из установок одного вида, например, только ветроустановки или солнечные батареи. Также в одном портфеле ВИЭ могут применяться разнородные ВИЭ: сочетание ветроустановок и солнечных батарей.

Основным показателем портфеля ВИЭ является вырабатываемая мощность  $P_i$  ВИЭ. В силу зависимости от погодных условий  $P_i$  можно считать случайной величиной. Статистические свойства портфеля ВИЭ определяются математическим ожиданием  $\mu(P_i)$  и стандартным отклонением  $\sigma(P_i)$  вырабатываемой мощности.  $\mu(P_i)$  определяет прогнозируемое значение вырабатываемой мощности, а  $\sigma(P_i)$  является мерой разброса значений вырабатываемой мощности.

ЭРЭП определяется как вероятность того, что суммарная мощность портфеля ВИЭ окажется меньше требуемой мощности потребителей:

$$R = P_{\Sigma} \leq P_{\text{треб.}}$$

где  $R$  – эксплуатационный риск электроснабжения потребителей;  $P_{\Sigma}$  – суммарная вырабатываемая мощность портфеля ВИЭ;  $P_{\text{треб.}}$  – требуемая мощность потребителей.

При расчете ЭРЭП необходимо учитывать взаимосвязь между вырабатываемыми мощностями разнородных ВИЭ (например, ветроустановка – солнечная батарея) с помощью коэффициента корреляции  $\rho(P_{ij})$ , где  $P_i$  – вырабатываемая мощность ветроустановки;  $P_j$  – вырабатываемая мощность солнечной батареи.

Коэффициент корреляции  $\rho(P_{ij})$  между ВИЭ одного вида (например, ветроустановка – ветроустановка) равен 1.

Если  $\rho(P_{ij})$  равен 0, значит вырабатываемые мощности установок ВИЭ не связаны между собой. Отрицательный коэффициент корреляции означает, что вырабатываемые мощности установок ВИЭ изменяются в противофазе.

Методика выбора оптимального сочетания ВИЭ с учетом ЭРЭП [3] заключается в следующем:

1. С учетом требований потребителя определяется перечень энергоустановок ВИЭ, перспективных для использования в системе электроснабжения. На основе выбранных установок формируются все возможные сочетания ВИЭ (портфели ВИЭ).

2. Для каждого портфеля ВИЭ определяется вырабатываемая мощность ( $P_{\Sigma}$ ).  $P_{\Sigma}$  сравнивается с  $P_{\text{треб.}}$ . Из совокупности портфелей отбираются портфели, выполняющие условие  $P_{\Sigma} \geq P_{\text{треб.}}$ .

3. Задается минимальная стоимость сочетания ВИЭ, которая удовлетворяет потребителя. Из пункта 2 отбираются портфели ВИЭ, стоимость которых не превышает минимального заданного значения.

4. Из портфелей пункта 3 выбирается портфель с наименьшим значением ЭРЭП. Выбранное сочетание ВИЭ является оптимальным для использования в системе электроснабжения.

Результаты расчетов показывают, что стоимость ВИЭ и ЭРЭП не зависит друг от друга. Для портфелей ВИЭ с низкой стоимостью могут быть характерны большие значения ЭРЭП. Наименьшее значение ЭРЭП наблюдается у портфелей, состоящих из разнородных ВИЭ (сочетание солнечных батарей и ветроустановок). Таким образом, выбор состава источников по критерию минимальной стоимости не гарантирует высокую надежность электроснабжения потребителей. Для повышения надежности электроснабжения необходимо выбирать сочетание ВИЭ с учетом ЭРЭП.

Кроме этого, необходимо учитывать, что построения энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии невозможно без эффективного управления.

Управление энергетическими системами с возобновляемыми источниками энергии является сложной задачей, так как на функционирование системы влияют внешние воздействия (нестабильность условий эксплуатации, погодные условия) и внутренние факторы (тарифные планы, мощности нагрузки, место размещения). Качество решения данной проблемы зависит от имеющихся данных об энергетической системе (о потреблении и производстве электроэнергии) и от применяемых методов обработки информации и управления.

Повышению эффективности управления энергетическими системами с возобновляемыми источниками энергии способствует внедрение систем автоматического управления энергетическими потоками на основе алгоритмов с прогнозирующими моделями потребления и производства электроэнергии. Прогнозируя потребление и производство энергии, можно сформировать оптимальную стратегию переключения в системе между источниками электроэнергии, что приводит к минимизации затрат на электроэнергию.

Для разработки метода управления энергосистемами (ЭС) ВИЭ необходимо формализовать энергетический объект (здание) как социально-экономический объект, потребляющий и производящий электроэнергию. Формально здание можно представить следующим образом

$$ЗД = \langle \{Ш, Д\}, ВР, ПУ, С, ПОТР, ПРО \rangle, \quad (1)$$

где пара  $\{Ш, Д\}$  – географическая широта и долгота расположения объекта,  $ВР$  – временный интервал между двумя считываниями значений сенсоров  $С$ ,  $ПУ$  – множество погодных условий в месте нахождения здания (температура воздуха  $T$ , солнечная радиация  $СР$ ),  $С$  – множество сенсоров, установленных на здании,  $ПОТР$  – множество объектов потребителей электроэнергии,  $ПРО$  – множество объектов производителей электроэнергии

$$ПУ = \langle T, СР \rangle. \quad (2)$$

Отметим, что потребление электроэнергии здания зависит от потребляющей мощности электрических приборов  $П$  и их графика работы  $Г$ , а производство электроэнергии зависит от количества солнечных панелей  $НСП$ , номинальной мощности солнечных панелей  $НМСП$  и погодных условий  $ПУ$ .

$$ПОТР = \langle \{P_i, G_i\} \rangle, \quad (3)$$

где  $P_i$  – потребляющая мощность  $i$ -го электрического прибора;  $G_i$  – график работы  $i$ -го электрического прибора.

$$ПРО = \langle \{НСП, НМСП, ПУ\} \rangle. \quad (4)$$

Под гибридной энергетической системой с возобновляемыми источниками энергии будем понимать энергосистему, которая объединяет множество традиционных и возобновляемых источников энергии в единую энергосистему. ЭСВИЭ классифицируются по различным отличительным признакам: источникам электроэнергии, технологическим конфигурациям (на основе постоянного, переменного тока). По источникам электроэнергии энергетические системы разделяются на системы: без или с возобновляемыми источниками электроэнергии, автономные, соединенные с сетью гибридные системы. По технологическим конфигурациям гибридные энергетические системы разделяются на системы на основе шины постоянного тока (DC), переменного тока (AC) и смешанного (AC/DC).

Математическая модель ЭСВИЭ представляется следующим образом

$$ЭСВИЭ = \langle ПОТР, ПРО, ВР, \{str\} \rangle, \quad (5)$$

где  $\{str\}$  – множество управляющих воздействий (стратегия закупки).

Метод управления ЭСВИЭ заключается в минимизации функции затрат  $J$ , характеризуемой затратами на электроэнергию в течении дня

$$J = \sum_{i=1}^n k_i \cdot (p_i^{номр.} - p_i^{произв.}) + \sum_{i=1}^n \Delta S_i \cdot k_i \cdot E_{макс.}, \quad (6)$$

где  $k_i$  – тарифный план электроэнергии в промежутке времени  $[i; i+1]$  (грн/кВт·ч);

$p_i^{номп.}$  – потребление электроэнергии в промежутке времени  $[i; i+1]$  (кВт·ч);

$p_i^{произв.}$  – производство электроэнергии в промежутке времени  $[i; i+1]$  (кВт·ч);

$\Delta S_i$  – состояния заряда аккумуляторных батарей (АКБ)  $S_i$  в промежутке времени  $[i; i+1]$  (%);

$E_{макс.}$  – максимальная электроемкость АКБ (кВт·ч или А·ч);

$n$  – количество наблюдений в течении дня.

Учитывая то, что в процессе функционирования гибридных ЭСВИЭ происходит покупка электроэнергии из сети для зарядки АКБ, либо продажа избыточной вырабатываемой электроэнергии в сеть. Из формулы (6) следует, что необходимо учитывать управляющие воздействия  $str_i$ . Поэтому формулу (6) можно записать следующим образом

$$J = \sum_{i=1}^n [p_i^{номп.} - p_i^{произв.} + \Delta S_i \cdot E_{макс.}] \cdot k_i \cdot str_i.$$

Управляющие воздействия  $str_i$  в момент времени  $i$  определяются следующим образом:

$$str_i = \begin{cases} -1 & \text{при продаже электроэнергии} \\ 0 & \text{при использовании собственной} \\ & \text{электроэнергии} \\ 1 & \text{при покупке электроэнергии} \end{cases}$$

В настоящее время многие страны переходят на использование тарифного плана электроэнергии по двум зонам (ночная, дневная зона) или трем зонам суток (ночная, полупиковая, пиковая зона). Следовательно, метод управления ЭСВИЭ на основе прогнозирующих моделей может повысить эффективность энергосистемы.

Входными данными являются фактические данные о потреблении  $P^{номп.}$ , состояние здания  $ST$  (0 – не используется, 1 – используется), прогнозные значения  $W$  температуры и солнечной радиации, тарифный план электроэнергии  $K$ . Выходными данными является стратегия переключения  $str$  между источниками электроэнергии.

Также при формировании стратегии управления (переключения между источниками электроэнергии) на основе прогнозируемых данных о потреблении и производстве электроэнергии. Стратегия управления представляет собой множество управляющих воздействий, принимающих значения: 1 – при покупке электроэнергии из сети, -1 – при продаже электроэнергии в сеть, 0 – при использовании собственной электроэнергии.

Использование вышеперечисленных методов управления сводится к формированию стратегии управления, которая заключается в минимизации целевой функции  $J$  (6).

### Предлагаемые решения проблемы

По мнению авторов, особый интерес представляет теория [1], где при построении модели как отдельных составных частей, так и комплексов возобновляемых источников энергии используется подход, основанный на представлении процесса ее создания в виде абстрактной среды, в которой работают множество субъектов (пользователей и процессов) с множеством объектов (ресурсы и механизмы) [2]. Построение системы заключается в создании энергетических комплексов в виде некоторого множества ее отдельных составных частей. При этом данные комплексы способны под управлением единого ядра реализовать оптимальное прохождение субъектов (процессов), обеспечивающих пользователей максимально эффективным использованием объектов (ресурсов), которые реализуются путем использования в данной абстрактной среде логически организованных подсистем, способных эффективно функционировать независимо от их размещения и нестабильности условий эксплуатации.

Данный подход опирается на теоретические модели Хартсона, Белла – Лападулы, Лендвера и Маклина, Биба, Кларка-Вилсона и др. [1]. Считается, что перечисленные модели являются инструментарием, определяющим множество требований, которые должны быть выполнены

в конкретной реализации системы. На практике разработчику чрезвычайно сложно реализовать эти модели, и поэтому они рекомендуются лишь для анализа и оценки, а руководствоваться при разработке предлагается специально разработанными на основе упомянутых подхода и моделей стандартами, определяющими требования к системам и порядку их создания. Вместе с тем подавляющее большинство из них предлагают реализацию индивидуального проектирования энергетических систем, выражающегося в построении комплексов с использованием концепции нисходящего проектирования (от обобщенных требований к индивидуальному подходу). Несмотря на очевидные достоинства, такой подход требует значительных временных и материальных затрат.

В настоящее время наблюдается рост объема рынка ВИЭ, что предопределило возможность реализации концепции восходящего проектирования с использованием типовых решений по подбору составных частей комплексов, которая является более доступной для большинства пользователей.

Очевидно, что одной из важнейших задач оптимального построения энергетических комплексов (ЭК) является выбор из множества отдельных составных частей их набора, который позволит обеспечить построение системы с наилучшим качеством и минимально возможными затратами энергоресурсов. Наиболее эффективно задачи оптимального построения энергетических комплексов решаются в рамках упреждающей стратегии, когда на этапе проектирования оцениваются потенциально возможные риски и реализуются механизмы защиты от них. При этом в процессе проектирования ЭК разработчик, не имея статистических данных о результатах функционирования создаваемой системы, вынужден принимать решение о составе комплекса и его отдельных составных частях, находясь в условиях значительной неопределенности [1].

Таким образом, актуальной является задача создания методик для оптималь-

ного построения энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии (ЭКВИЭ) с целью уменьшения затрат на энергоресурсы с учетом соответствия требованиям нормативных документов при проектировании систем (подсистем) ЭК и планировании мер ресурсосбережения.

Поставленной задаче будет соответствовать предлагаемая нами методика построения энергетических комплексов с использованием ВИЭ, которая включает последовательное выполнение следующих этапов работ:

#### 1. Формирование требований к ЭК.

1.1. Обследование объекта и обоснование необходимости создания ЭКВИЭ.

1.2. Учет требований заказчика к ЭКВИЭ.

1.3. Подготовка исходных данных для формирования требований. Разработка предварительных требований к ЭК.

1.4. Оформление технико-экономического обоснования создания ЭК.

1.5. Оформление отчета о выполненных работах по ЭК на данной стадии.

#### 2. Разработка концепции ЭК.

2.1. Изучение объекта. Уточнение условий эксплуатации и категорий сложности. Уточнение требований, предъявляемых к ЭК.

2.2. Оценка возможности реализации требований. Поиск путей и оценка возможности реализации требований.

2.3. Разработка и выбор варианта концепции ЭС. Разработка альтернативных вариантов концепции ЭС и процессов ее создания.

#### 2.4. Согласование концепции ЭС.

С учетом изложенного модель ЭС включает: характеристики ЭС, отражающие состав, структуру, условия размещения структурных элементов ЭС и их связи; модели различных вариантов составов ЭС и используемых источников энергии; экономическое обоснование внедрения конкретной ЭС и ее составных частей.

С учетом анализа существующих методологических подходов в построении гибридных энергетических систем мы предлагаем методику построения обоб-

щенной схемы энергетического комплекса, в которой наряду с традиционными используются и возобновляемые источники энергии.

При построении данных схем необходимо учесть, что они состоят из ряда узлов, каждый из которых является функционально самостоятельным модулем. При этом все модули объединены в единую систему организационно-техническими связями.

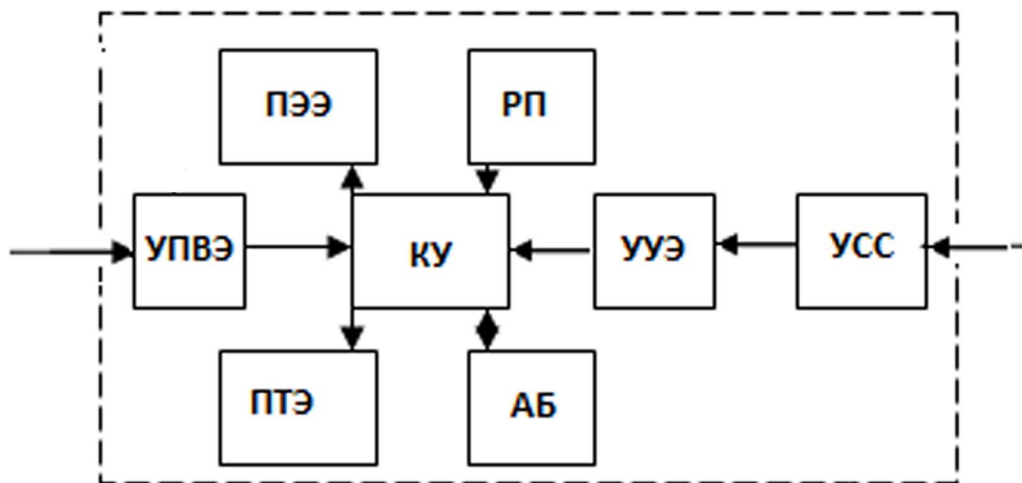
На рис. 1 приведена блок-схема автономного энергоснабжения потребителей тепловой и электрической энергии от возобновляемых источников питания с системой резервного питания.

Данная схема включает: устройство преобразования возобновляемой энергии (тепловой насос, солнечная батарея, ветрогенератор и др.), контроллер управления системой (который в зависимости от нагрузки распределяет полученную энергию по потребителям или обеспечивает своевременное подключение резервного питания или питания от сети,

аккумуляторную батарею), резервный источник автономного питания (дизельная электростанция, твердотопливный котел и др.). Кроме этого, в систему введено устройство учета энергии, поступающей из сети, и узел согласования сети, которые задействуются в случае необходимости аварийного отключения потребителей от сети.

Особенности предлагаемой схемы заключаются в ее универсальности, возможности использовать все доступные источники энергии, получать как электрическую, так и тепловую энергию, иметь многоступенчатое резервирование по питанию как за счет возможности подключения резервного источника автономного питания, так и питания от сети. К тому же данная схема подключения позволяет также накапливать излишки полученной от возобновляемых источников энергии в аккумуляторе.

Приведенная схема является составной частью энергетических комплексов с возобновляемыми источниками энергии.



**Рис. 1. Блок-схема автономного энергоснабжения потребителей тепловой и электрической энергией от возобновляемых источников питания с системой резервного питания:**

УПВЭ – устройство преобразования возобновляемой энергии; КУ – контроллер управления системой; АБ – аккумуляторная батарея; РП – резервный источник автономного питания; ПТЭ, ПЭЭ – потребители тепловой и электрической энергии; УУЭ – устройство учета энергии; УСС – устройство согласования сети

На рис. 2 представлена структурная схема построения энергетического комплекса с ВИЭ, имеющая в своей структуре потребителей с резервными источниками энергии, подключенными к центральной энергосистеме.

На рис. 3 представлена развернутая структурная схема построения энергетического комплекса с использованием в своей структуре возобновляемых источников энергии.

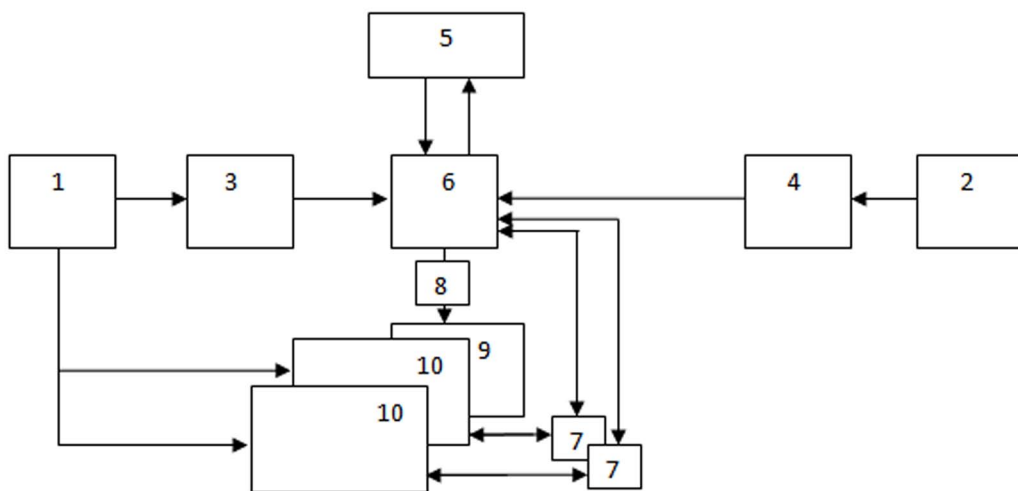
Приведенные выше схемы определяют методику построения структурных схем энергетических комплексов со стороны потребителя, что же касается построения схем энергетических комплексов с ВИЭ со стороны самих станций, то необходимо учитывать определенные принципы построения данных систем [4, 7], а именно:

1. Объединение небольших станций с ВИЭ (1–5 МВт) более целесообразно

осуществлять при невысоком напряжении. Как правило, такие станции обслуживают местных потребителей электроэнергии, не направляя свою выработку в высоковольтные линии электропередачи. В этом случае питание с электростанций подается на одну линию среднего напряжения, которая уже подключается к подстанции и через нее к распределительной системе.

2. Энергосистемы с ВИЭ среднего размера (5–20 МВт) обычно объединяются с сетью при среднем напряжении. Станции такой мощности могут обслуживать как местных потребителей, так и подавать свою энергию на основные передающие подстанции, где напряжение может быть увеличено.

3. Крупные энергосистемы мощностью более 20 МВт объединяются с подстанциями высокого напряжения. Стан-



**Рис. 2. Структурная схема построения энергетического комплекса с ВИЭ, имеющая в своей структуре потребителей с резервными источниками энергии, подключенными к центральной энергосистеме:**

1 – источник возобновляемой энергии; 2 – источник традиционной энергии; 3 – устройство преобразования возобновляемой энергии в электрическую; 4 – устройство преобразования традиционной энергии в электрическую; 5 – центральная система управления; 6 – центральное устройство подключения подстанций среднего напряжения; 7 – локальное устройство подключения потребителей, оборудованных автономными энергосистемами с ВИЭ; 8 – локальное устройство подключения потребителей энергии, необорудованных автономными энергосистемами с ВИЭ; 9 – потребители энергии, необорудованные автономными энергосистемами с ВИЭ; 10 – потребители, оборудованные автономными энергосистемами с ВИЭ

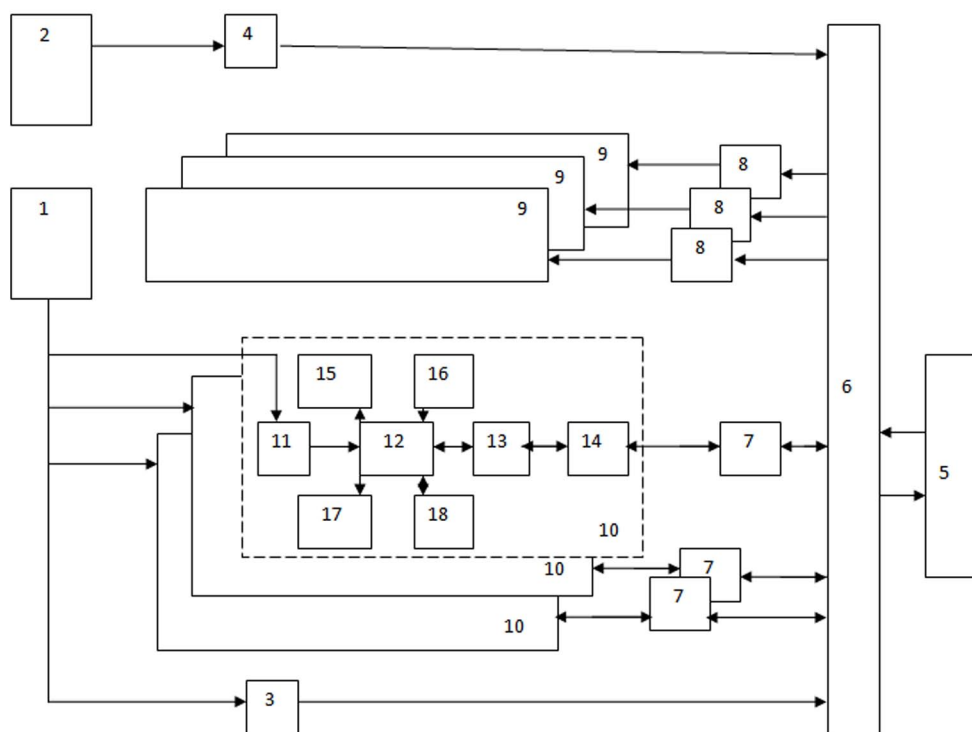


ции большой мощности объединяются на принимающей подстанции с распределительным устройством после инвертора. При этом для линий электропередачи требуется повышающий трансформатор.

Учитывая вышеперечисленные особенности, предлагается трехуровневая структурная схема подключения

устройств преобразования ВИЭ к сети (рис. 4):

– Первый уровень включает питающую линию среднего напряжения, которая соединена с одной стороны с несколькими небольшими станциями ВИЭ (до 5 МВт), а с другой с подстанцией среднего напряжения. Подстанции среднего напряжения образуют второй уровень схемы.



**Рис. 3. Развернутая структурная схема построения энергетического комплекса с использованием в своей структуре ВИЭ:**

1 – источник возобновляемой энергии; 2 – источник традиционной энергии; 3 – устройство преобразования возобновляемой энергии в электрическую; 4 – устройство преобразования традиционной энергии в электрическую; 5 – центральная система управления; 6 – центральное устройство подключения подстанций среднего напряжения; 7 – локальное устройство подключения потребителей энергии, оборудованных автономными энергосистемами с ВИЭ; 8 – локальное устройство подключения потребителей, необорудованных автономными энергосистемами с ВИЭ; 9 – потребители энергии, необорудованные автономными энергосистемами с ВИЭ; 10 – потребители, оборудованные автономными энергосистемами с ВИЭ; 11 – устройство преобразования возобновляемой энергии; 12 – контроллер управления системой; 13 – устройство учета энергии; 14 – устройство согласования сети; 15 – приборы, потребляющие тепловую энергию; 16 – резервный источник автономного питания; 17 – приборы, потребляющие электрическую энергию; 18 – аккумуляторная батарея

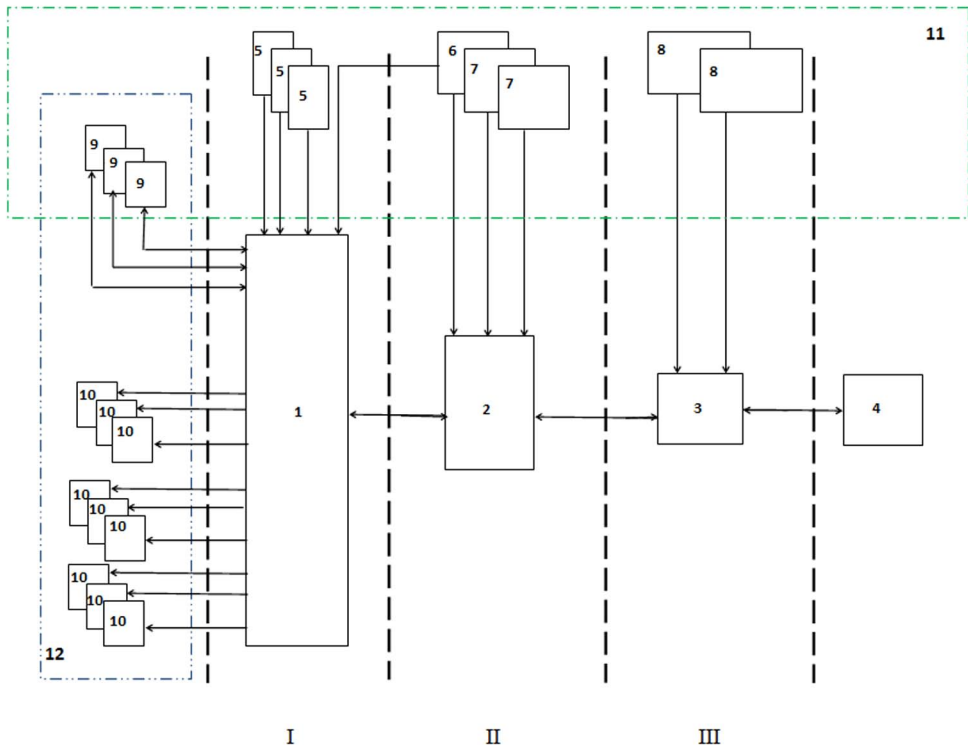
– Второй уровень включает подстанции среднего напряжения. К подстанциям второго уровня подключаются питающие линии среднего напряжения с одной стороны и подстанции высокого напряжения с другой. Таким образом, к подстанциям среднего напряжения может быть подключено одновременно несколько объединённых линиями среднего напряжения небольших станций с ВИЭ, так и станция ВИЭ среднего размера (5–20 МВт) каждая в отдельности.

– Третий уровень включает подстанции высокого напряжения. К подстанциям третьего уровня подключаются энер-

госистемы мощностью более 20 МВт с одной стороны и линии электропередачи с другой стороны.

Схема подключения устройств преобразования ВИЭ (станция ВИЭ) показана на рис. 4.

Приведенный выше анализ и предложенные решения в виде схем (рис. 1–4) позволяют создать алгоритм построения комплексных моделей энергоснабжения, которые включают в себя технические и технологические параметры и учитывают место расположения как потребителя, так и источника энергии, в том числе нетрадиционных и возобновляемых.



**Рис. 4. Схема подключения устройств преобразования ВИЭ (станция ВИЭ) к сети:**

1 – питающая линия среднего напряжения; 2 – подстанции среднего напряжения; 3 – подстанции высокого напряжения; 4 – линия электропередачи; 5 – малые станции ВИЭ до 5 МВт; 6, 7 – станция ВИЭ среднего размера от 5 до 20 МВт; 8 – энергосистемы ВИЭ мощностью более 20 МВт; 9 – потребители электроэнергии, имеющие автономные системы энергопитания до 30 кВт, работающие от ВИЭ; 10 – потребители электроэнергии, не имеющие автономных систем энергопитания; 11 – энергосистемы с ВИЭ; 12 – потребители электроэнергии; I, II, III – первый, второй и третий уровни подключения устройств преобразования ВИЭ к сети соответственно

## Выводы

Результатом выполнения данной работы являются аналитическое определение методических основ проектирования надежного и экономичного энергоснабжения потребителей, изложенные этапы работ при построении комплексов энергетических систем, использующих в своей структуре возобновляемые источники энергии, предложенная методология построения гибридных энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии и методика управления данными системами.

Основной результат предложенной методики заключается в том, что аналитически подтверждена целесообразность внедрения предложенных методик оптимизации схем энергоснабжения на экологически чистых источниках энергии, позволяющих осуществить энергоснабжение с учетом нестабильности работы энергетических комплексов, которые используют в своей структуре возобновляемые источники энергии и зависят от погодных условий и сезонности эксплуатации. Кроме того, предложенные методики позволяют учитывать особенности гибридных систем, а именно согласования характеристик полученной электрической энергии от традиционных и возобновляемых источников энергии. К тому же эти модели должны учитывать место расположения как потребителя электрической энергии, так и расположение источника энергии как традиционного, так и возобновляемого.

Сделан вывод о необходимости: а) нового подхода в формировании методологии построения энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии; б) системного анализа существующих приемов в теории управления и развития электроэнергетических систем; в) систематизации исследований и разработки новых методологических подходов к формированию данных систем. Решение такого рода задач невозможно без привлечения и обработки больших

баз данных и может быть реализовано только при условии применения методов математического моделирования и прогнозирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Золотарёв В. В.* Модели безопасности компьютерных систем//В. В. Золотарёв, М. Н. Жукова, И. В. Ковалев, В. Г. Жуков// Учеб. пособие для вузов. – М.: Издат. центр “Академия”, 2005. – 144 с.
2. *Золотарёв В. В.* Методика построения модели безопасности автоматизированных систем//В. В. Золотарёв, М. Н. Жукова, И. В. Ковалев, В. Г. Жуков//Программные продукты и системы. – 2012. – № 2. – С. 71.
3. *Касимов Ю. Ф.* Основы теории оптимального портфеля ценных бумаг//Ю. Ф. Касимов. – М.: Финлинь, 1998. – 223 с.
4. *Куликова Л. В.* Анализ проблем и перспектива оптимального использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для сельскохозяйственных потребителей//Л. В. Куликова, А. М. Худоногов, А. В. Григорьев//Ползуновский вестник. – 2011. – № 2/2. – С. 15.
5. *Митяков С. Н.* Снижение эксплуатационного риска электроснабжения потребителей при одновременном использовании источников энергии разного типа//С. Н. Митяков, Е. Н. Соснина//Арзамас-Н. Новгород: Прогрессивные технологии в технике, экономике, естествознании и образовании: межвузов. сб. статей. – Нижн. Новгород: НГТУ, 2008. – С. 46.
6. *Соломин Е. В.* Методологические основы создания вертикально-осевых ветроэнергетических установок для агропромышленного комплекса России: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.02. – Барнаул, 2013. – 39 с.
7. *Соснина Е. Н.* Методика выбора оптимального сочетания возобновляемых источников энергии для локальных энергосистем//Е. Н. Соснина, А. В. Шалуха//Электротехника и электроэнергетика. – Нижн. Новгород: Изд-во Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева, 2012. – С. 31.

## REFERENCES

1. *Zolotarjov V. V., Zhukova M. N., Kovalev I. V., Zhukov V. G.* Models security of computer systems//Ucheb. posobie dlja vuzov. – Moskva: Izdat. centr “Akademija”, 2005. – 144 p. (In Russian).

2. *Zolotarjov V. V., Zhukova M. N., Kovaliev I. V., Zhukov V. G.* The method of constructing the security model of the automated systems// *Programmnye produkty i sistemy.* – 2012. – № 2. – P. 71. (In Russian).

3. *Kasimov Ju. F.* Fundamentals of the theory of optimal portfolio of securities. – Moskva: Filin', 1998. – 223 p. (In Russian).

4. *Kulikova L. V., Hudonogov A. M., Gri-gorev A. V.* Analysis of the problems and the prospect of optimal utilization of alternative and renewable energy sources for agricultural consumers//*Polzunovskij vestnik.* – 2011. – № 2/2. – P. 15. (In Russian).

5. *Mitjakov S. N., Sosnina E. N.* Reducing operational risk electricity consumers while using different types of energy sources//*Arzamas-*

*Nizhnij Novgorod: Progressivnye tehnologii v tehnikе, ekonomike, estestvoznaniі i obrazovanii: mezhvuzovskij. sbornik statej.* Nizhnij Novgorod: NGTU, 2008. – P. 46. (In Russian).

6. *Solomin E. V.* Methodological foundations of vertical-axis wind turbines for Russian agriculture: *Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehniceskikh nauk: 05.20.02.* – Barnaul, 2013. – 39 p. (In Russian).

7. *Sosnina E. N., Shaluhо A. V.* Method of selection of the optimal combination of renewable energy for local energy systems//*Elektrotehnika i elektroenergetika.* – Nizhnij Novgorod: Izdatelstvo Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta im. R. E. Alekseeva, 2012. – P. 31. (In Russian).

Рукопис отримано 17.09.2015.

**С. В. Гошовський,** ukrdgri@ukrdgri.gov.ua,

**О. В. Зур'ян,** alexey\_zuryan@ukr.net

(Український державний геологорозвідувальний інститут)

## **МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПОБУДОВИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

*Працю присвячено створенню методичних основ проектування надійних й економічних систем енергопостачання. Розглянуто етапи робіт під час побудови комплексів енергетичних систем, що використовують у своїй структурі відновлювані джерела енергії. Наведено узагальнену схему побудови моделі як окремих складових частин, так і енергетичних комплексів із застосуванням у своїй структурі відновлюваних джерел енергії.*

**Ключові слова:** методичні основи, побудова комплексів енергетичних систем, енергопостачання, альтернативна енергетика, відновлювані джерела енергії.

**S. V. Goshovskyi,** ukrdgri@ukrdgri.gov.ua,

**A. V. Zurian,** alexey\_zuryan@ukr.net

(Ukrainian State Geological Research Institute)

## **METHODOLOGICAL BASES FOR THE OPTIMAL CONSTRUCTION OF ENERGY COMPLEXES WITH RENEWABLE ENERGY**

*Increasing energy efficiency and the need for resource conservation is an urgent problem in almost all countries of the world. To address these issues in recent years has become an urgent new energy policy based on the use of hybrid power systems.*

*Theoretical and practical methods of construction of energy facilities using renewable energy sources in Ukraine has not yet been worked out. At the same time, there are quite developed the basis for the formation of such a complex theoretical framework development. In Ukraine, conducted research in the field of renewable energy, it is widely carried out work on the study of energy sources, which can be used in a particular region, conducted studies of the joint use of traditional and renewable energy sources for a single system.*

*The method of constructing an optimal energy system using renewable energy sources, as a rule, the main criteria for the choice of renewable energy sources are developed capacity, the cost of energy produced, the size and cost of power plants used, the proportion of replacement of hydrocarbon fuel, distance from renewable energy sources to the networks of centralized power.*

*We have analyzed the existing methods of building these systems. First of all those concerned as the method of choice of the optimal combination of renewable energy sources and control of hybrid power systems with renewable energy sources.*

*It is obvious that one of the major problems of optimal construction of energy facilities is the choice of many individual components of the set, which will allow the construction of the system with the best quality and the lowest possible cost of energy. Most effectively, the problem of optimal construction of energy complexes addressed through proactive strategy when the design phase evaluates the potential risks and implemented mechanisms to protect them.*

*Thus, the actual task of creating a method for constructing an optimal energy systems using renewable energy in order to reduce energy costs in accordance with relevant regulatory requirements in the design of systems (subsystems) and planning resource.*

*Assigned tasks will meet our proposed method of construction of energy facilities using renewable energy sources.*

*An analysis of the existing methodological approaches in building hybrid power systems, we propose a technique of construction of the generalized scheme of the energy complex, which is used along with the traditional and renewable energy sources.*

*In the construction of these schemes should take into account that they consist of a series of nodes, each of which is functionally independent module. In this case, all modules are combined into a unified system of organizational and technical constraints.*

*In view of the model includes: reflecting the characteristics of the composition, structure, terms of placement of structural elements and their connections; models of various structures and options of energy sources used; feasibility study and implementation of a specific part of it.*

*In the construction of these schemes should take into account that they consist of a series of nodes, each of which is functionally independent module. In this case, all modules are combined into a unified system of organizational and technical constraints.*

**Keywords:** *methodological foundations, the construction of complex energy systems, power supply, alternative energy, renewable energy.*