

УДК: 621.4:662.9

## ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА СИСТЕМЫ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ЭНЕРГИЮ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ

НАКАШИДЗЕ Л.В\*., канд техн наук, с.н.с.,  
ГАБРИНЕЦ В.А\*\*. д-р техн. наук, профессор

\*ORCID 0000-0003-3990-6718, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр-т Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49050

\*\*ORCID 0000-0002-6115-7162, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. ак. В. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010

**Аннотация.** Целью работы является определение отдельных технико-экономических критериев, позволяющих провести иерархическую декомпозицию проектируемой системы энергообеспечения, в которой используется энергия альтернативных источников. При проектировании инновационной системы энергообеспечения рассматривается методологический подход, при котором последовательно проводится сравнительный анализ вариантов исполнения таких систем. **Результатом** является методологический подход, в котором базовой является следующая последовательность операций: определение исходных условий моделирования - декомпозиция - информационное обеспечение - синтез модели - проверка адекватности - уточнение (идентификация) модели. Обоснована целесообразность: проведения декомпозиции системы энергообеспечения еще на этапе проектирования; необходимости использования критериев типа «эффективность-затраты». Для оценки полноты использования комплектующих элементов инновационной системы энергообеспечения предложено использовать критерии оценки эффективности, которые бывают тепловые, ресурсные, конструкционные, надежность и др. **Научная новизна** состоит в том, что в соответствии с предложенным методологическим подходом предлагается проводить декомпозицию не до уровня базовых составляющих системы энергообеспечения и функциональных связей между конструктивными элементами, а до уровня взаимосвязей, возникающих в самых элементах системы. **Практическая значимость** заключается в том, что при использовании принципа декомпозиции появляется возможность получения достоверной информации о состоянии подсистем на каждом уровне организации всей системы энергообеспечения, в которой используется энергия альтернативных источников. Использование полученных результатов позволит еще на этапе проектирования прогнозировать эффективность разрабатываемой системы энергообеспечения. При этом проводится учет взаимного влияния ее подсистем. Такой подход позволит оптимизировать состав системы энергообеспечения, повысить эффективность использования конструктивных элементов этой системы.

**Ключевые слова:** системы энергообеспечения, энергия альтернативных источников, варианты схемных решений, критерии, декомпозиция, оценка эффективности функционирования

## ФОРМУВАННЯ СКЛАДУ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ЯКА ВИКОРИСТОВУЄ ЕНЕРГІЮ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ

НАКАШИДЗЕ Л.В\*., канд техн наук, с.н.с.,  
ГАБРИНЕЦ В.А\*\*. д-р техн. наук, професор

\*ORCID 0000-0003-3990-6718, Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, пр-т Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49050

\*\*ORCID 0000-0002-6115-7162, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. ак. В. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

**Анотація.** Метою роботи є визначення окремих техніко-економічних критеріїв, що дозволяють провести ієрархічну декомпозицію проектованої системи енергозабезпечення, в якій використовується енергія альтернативних джерел. При проектуванні інноваційної системи енергозабезпечення розглядається методологічний підхід, при якому послідовно проводиться порівняльний аналіз варіантів виконання таких систем. **Результатом** є методологічний підхід, у якому базовою є наступна послідовність операцій: визначення вихідних умов моделювання - декомпозиція - інформаційне забезпечення - синтез моделі - перевірка адекватності - уточнення (ідентифікація) моделі. Обґрунтовано доцільність: проведення декомпозиції системи енергозабезпечення ще на етапі проектування; необхідність використання критеріїв типу «ефективність-витрати». Для оцінки повноти використання комплектуючих елементів інноваційної системи енергозабезпечення запропоновано використовувати критерії оцінки ефективності, які бувають теплові, ресурсні, конструкційні, надійністними і ін. **Наукова новизна** полягає в тому, що відповідно до запропонованого методологічного підходу пропонується проводити декомпозицію не до рівня базових складових системи енергозабезпечення та функціональних зв'язків між конструктивними елементами, а до рівня взаємозв'язків, що виникають в самих елементах системи. **Практична значимість** полягає в тому, що при використанні принципу декомпозиції з'являється можливість отримання достовірної інформації про стан підсистем на кожному рівні організації всієї системи енергозабезпечення, у

якій використовується енергія альтернативних джерел. Використання отриманих результатів дозволить ще на етапі проектування прогнозувати ефективність розроблюваної системи енергозабезпечення. При цьому проводиться облік взаємовпливу її підсистем. Такий підхід дозволить оптимізувати склад системи енергозабезпечення, підвищити ефективність використання конструктивних елементів цієї системи.

**Ключові слова:** системи енергозабезпечення, енергія альтернативних джерел, варіанти схемних рішень, критерії, декомпозиція, оцінка ефективності функціонування

## FORMATION OF POWER SUPPLY SYSTEM WITH THE USE OF ENERGY ALTERNATIVE SOURCES

**NAKASHYDZE L.V.\*, PhD, senior scientific researcher,**

**GABRINETC V.A.\*\*, doctor of techn. sciences, professor**

\*ORCID 0000-0003-3990-6718, Dnipropetrovs'k national university named after Oles Gonchar, Gagarina ave. 72, Dnipropetrovs'k, Ukraine, 49050

\*\*ORCID 0000-0002-6115-7162, Dnipropetrovs'k national university of railway transport named after V. Lazaryan, Lazaryana str. 2, Dnipropetrovs'k, Ukraine, 49010

**Annotation.** The aim of the work is to determine the specific technical and economic criteria that allow carrying out hierarchical decomposition of projected energy supply system that uses alternative sources of energy. A **methodological** approach that consistently carries out a comparative analysis of variants of such systems is considered in the design of innovative energy supply system. The **result** is a methodological approach, in which the base is the following sequence of operations: determination of the baseline modeling - decomposition - information support - synthesis of model - checking the adequacy - specification (identification) model. There are substantiated the expediency of: carrying out decomposition of energy supply system at the design stage; the necessity of using criteria such as "efficiency-cost". To evaluate the completeness of component elements of energy innovation system it is proposed to use the criteria for an estimation of efficiency that are thermal, resource, construction, reliable etc. **Scientific novelty** lies in the fact that, in accordance with the proposed methodological approach, it is encouraged to undertake the decomposition not to the level of the basic components of the energy system and functional connections between the structural elements and interconnections, but to the level occurring in most parts of the system. The **practical importance** is when using the principle of decomposition it is possible to obtain reliable information about the state of subsystems at each level of organization of the whole power supply system that uses alternative energy sources. The use of the obtained results will allow at the design stage to predict the effectiveness of the developed system of energy supply. This involves a consideration of the mutual influence of its subsystems. This approach allows optimizing structure of energy supply system, improving the efficiency of the structural elements of the system.

**Keywords:** energy supply systems, alternative energy sources, circuit solutions options, criteria, decomposition, performance assessment

### Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями

Вопросы сбережения энергетических ресурсов при производстве тепловой и электрической энергии являются важным аспектом устойчивого развития Украины. Об этом говорится в таком документе как «Енергетична стратегія України на період до 2030 року». В этом документе определены приоритетные направления и объемы энергосбережения в Украине, потенциал развития возобновляемых и нетрадиционных источников в Украине. Широкомасштабному использованию таких природных ресурсов способствует технико-экономическое совершенствование инженерных систем энергообеспечения микроклимата и комфортных условий для потребителя [12, 14, 15].

В [2,5,8,10,13] представлены основные тенденции выбора, а также использования энергоресурсов для эффективного функционирования системы энергообеспечения. Широкое распространение получили системы энергообеспечения с комбинированной выработкой энергии. Недостатком такого способа энергообеспечения является необходимость затрат на обеспечение распределения энергетических потоков, обеспечение оптимального режима эксплуатации.

Эффективными являются такие инженерные системы энергообеспечения, в состав которых входят тепловые насосы, тепловые аккумуляторы, гелиоколлектора [13,16] Назначение таких систем энергообеспечения – создание и поддержание комфортных условий в помещении при любой наружной температуре. Определение оптимального

состава таких установок является проблемой, которая на данный момент еще не решена в полной мере.

**Анализ последних исследований и публикаций, где заложены основы решения данной проблемы, на которые опирается автор.**

В настоящее время разработано и функционирует большое количество систем энергообеспечения, в состав которых входят подсистемы преобразования энергии альтернативных источников. Эти системы используются для различных объектов и имеют различное схематическое решение и состав конструктивных элементов. Так, например, в [3] представлены системы энергообеспечения, в состав которых входят тепловые аккумуляторы, подсистема гелиотеплоснабжения и т.д. Такой состав системы энергообеспечения дает возможность повысить эффективность использования солнечной энергии путем согласования режимов выработки и потребления тепловой энергии. Проведено обоснование целесообразности дублирующих систем в виде традиционных источников энергии (например, внепиковой электроэнергии). В таких системах энергообеспечения предусматриваются различные режимы функционирования.

Использование комбинированных систем теплоснабжения (например, котел на органическом топливе или электрический и гелиосистема) дает возможность экономить от 40 % до 80 % органического топлива в год (в зависимости от режима работы системы) [7]. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о целесообразности применения тепловых аккумуляторов как в традиционных системах теплоснабжения, так и в системах солнечного теплоснабжения. В конечном счете, это позволит повысить эффективность работы котла и снизить потребление органического топлива, согласовать режимы выработки и потребления тепла, а также уменьшить количество выбросов парниковых газов в окружающую среду.

В [11] показано, что наличие эффективного сезонного теплового аккумулятора, соотношение доли солнечного и геотермального тепла являются определяющими факторами стоимости и срока окупаемости проекта. Принцип работы такой системы основан на использовании солнечной энергии и геотермального тепла для отопления зданий.

Для расчета экономических показателей составлена инженерная модель системы, описывающая основные рабочие процессы:

- получение солнечного тепла с помощью гелиоколлекторов;
- хранение тепла в сезонном тепловом аккумуляторе;
- выемка накопленного солнечного тепла тепловым насосом из сезонного теплового аккумулятора;
- выемка тепловым насосом низкопотенциального тепла из окружающего грунта после охлаждения сезонного теплового аккумулятора.

Для расчета характеристик системы используются инженерные методы, основанные на базовых физических зависимостях и экспериментальных данных по отдельным параметрам. Точность таких расчетов позволяет проводить предпроектный технико-экономический анализ систем теплоснабжения.

Для оценки экономических показателей системы теплоснабжения применим балансовый метод расчета энергетических потоков между основными функциональными элементами на протяжении года.

В качестве комплексной оценки стоимости тепловой энергии применим показатель, учитывающий эксплуатационные и капитальные затраты для системы теплоснабжения.

Обозначена целесообразность применения солнечных коллекторов в тандеме с компрессорным грунтовым тепловым насосом, сезонным грунтовым тепловым аккумуляторами. Дальнейшее увеличение доли солнечного тепла ограничивается общей теплоемкостью сезонного аккумулятора. Показано, что в случае неинтенсивного использования солнечного тепла, гелиоколлекторы только ухудшают экономику и эффективнее обходиться только грунтовым тепловым насосом, как источником тепла.

Однако в данном подходе не рассматривались влияние особенностей взаимодействия подсистем (например, таких подсистем как энергоактивные ограждения, тепловой насос, тепловой аккумулятор и др., т.е. подсистем преобразования энергии альтернативных источников) на компоновку инновационных систем энергообеспечения.

**Формулировка целей статьи (постановка задания).** Системы энергообеспечения, в которых используется энергия солнечного излучения, тепло вентиляционных сбросов и т.п., т.е. энергия альтернативных источников, являются многокомпонентными технически сложными системами. Эти системы энергообеспечения являются совокупностью подсистем и элементов. При этом происходит взаимодействие на разных уровнях, т.е. как между отдельными элементами и подсистемами, так и с внешней средой.

При проектировании инновационной системы энергообеспечения в [6] рассматривается подход, при котором последовательно проводится сравнительный анализ вариантов исполнения таких систем. В соответствии с [4,9] для проектируемой системы этот процесс представляет собой следующие этапы:

- декомпозиция задачи проектирования системы теплоснабжения, в которой используется энергия альтернативных источников. При этом основным является определение основных критериев оценки эффективности функционирования такой системы;
- последовательного агрегирования описаний системы, представляемых в виде моделей облика объектов проектирования и моделей функционирования сложной системы при

декомпозиции; создания иерархии описания системы энергообеспечения и процесса ее функционирования;

– построения иерархической структуры задач проектирования системы энергообеспечения на основе разработки иерархии ее описаний;

– разработки итерационных процедур проверки и уточнения решений, получаемых на различных иерархических уровнях решения задачи проектирования системы энергообеспечения.

Целью данного исследования является определение некоторых технико-экономических критериев позволяющих провести иерархическую декомпозицию проектируемой системы энергообеспечения, в которой используется энергия альтернативных источников.

#### Изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных научных результатов.

Для определения эффективности функционирования выбранных компоновки и сочетания конструктивных элементов в системе энергообеспечения необходимо обозначить ряд показателей, характеризующих качественные и количественные аспекты генерирования, преобразования, перераспределения, потребления и др. Поставляемой потребителю тепловой и электрической энергии.

Проведенные исследования показали, что использование критериев типа «эффективность-затраты», который рассмотрен в [6], при проектировании системы энергообеспечения, использующей энергию альтернативных источников целесообразно. Этот критерий целесообразно применять при проведении сравнительного технико-экономического анализа альтернативных вариантов инновационных систем энергообеспечения.

Использование данного критерия можно исходя из:

– минимизации затрат на выполнение требований к эффективности конструируемой системы энергообеспечения, предъявляемых потребителем. Для этого предлагается использовать так называемый критерий оптимизации смеси нарядов средств или оптимизации разделения ресурсов.

– максимизацией целевой эффективности системы энергообеспечения в рамках фиксированных затрат на выполнение операций. Определяется критерием оптимизации облика системы при решении задачи проектирования на ранних стадиях [1].

Таким образом, в задаче проектирования систем энергообеспечения с использованием энергии альтернативных источников, при определенных потребителем уровнем энергозатрат, можно обусловить ее облик, который включает структуру построения  $s \in S$  и уровень энергогенерирования подсистем  $y=(y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_J)$  как:

$$\begin{cases} \overline{y} = f(\text{Arg } x, j, [\max_{x \in X, y \in S} \min_{z \in Z, v \in V} W(y, s, u, z, v)], z), y, g(x) \leq g^* \\ y_j = f_j(x, s, z), g(x) = \sum_{j=1}^J g_j(x_j), X; \\ \{\varphi_j(x_j) \leq 0\}, j \in \{1, \dots, J\}; \end{cases} \Gamma$$

де  $y=(y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_J)$  – вектор энергогенерирующих характеристик системы размерности

$$m = \sum_{j=1, \dots, J} m_j;$$

$y_j$  – вектор энергогенерирующих характеристик  $j$ -й подсистемы, входящей в состав рассматриваемой системы, размерности  $m_j$ ;

$x=(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_J)$  – вектор подсистемы размерности  $n = \sum_{j=1, \dots, J} n_j$ ;

$x_j$  – вектор конструктивных параметров  $j$ -й подсистемы в составе рассматриваемой системы размерности  $n_j$ ;

$s$  – вектор, определяющий структуру рассматриваемой системы, в том числе типы каждой из подсистем и их число, а также организацию управления этими подсистемами;

$u$  – вектор, описывающий управление или тактику поведения системы в процессе функционирования;

$z, v$  – векторы условий применения системы, определяемые внешней средой, в качестве одной из составляющих может выступать сторона, имеющая противоположные рассматриваемой системе интересы; эти векторы задают соответственно характеристики и тактику действий внешней для системы стороны;

$Z$  – множество условий применения системы, задаваемое в требованиях к уровню энергогенерирования к системе и определяющее характеристики внешней для системы стороны;

$W$  – показатель эффективности функционирования рассматриваемой системы в целом;

$g$  – показатель затрат, выделяемых на  $j$ -ю подсистему в составе системы;

$X$  – множество допустимых конструктивных решений, определяемое возможностями их реализации, выраженных соотношениями типа  $\varphi_j(x_j) \leq 0$ ;

$g^*$  – устанавливаемое в требованиях к уровню энергогенерирования ограничение на показатель затрат.

Для оптимизации состава системы энергообеспечения, использующей энергию альтернативных источников предлагается использовать трехуровневую систему моделей. В этом случае:

– на первом уровне определяются модели формирования облика отдельных подсистем инновационной системы энергообеспечения. Они описываются соотношениями:  $y_j=f_j(x, s, z)$  и  $g_j=g_j(x_j)$ .

– на втором уровне используются операционная модель оценки эффективности функционирования системы  $W=W(y, u, z, v)$  и модель затрат  $g=\sum_{j=1, \dots, J} g_j(x_j)$ . Эти модели описывают функционирование системы в целом.

– на третьем уровне находятся методы оптимизации.

Под эффективностью системы энергообеспечения, в которой используется энергия альтернативных источников, понимается ее способность генерировать такое количество тепловой и электрической энергии, которое позволит удовлетворить потребности потребителя.

Следую рекомендациям представленным в [6] использовать скалярный показатель в качестве критерия эффективности. Можно использовать так называемый, гарантирующий подход, при котором требуется найти вариант системы, обеспечивающий максимум эффективности при наиболее неблагоприятных условиях (критерия Вальда) [1]. К таким условиям в нашем случае можно отнести неблагоприятные климатические условия, пиковые нагрузки и т.п.

При проектировании системы энергообеспечения, в которых используются альтернативные источники энергии, имеются жесткие ограничения на показатель затрат. Этот показатель измеряется в стоимостном или ресурсном выражении. При определении критериев типа «эффективность-затраты» показатель затрат целесообразно использовать в виде скалярной величины.

При прогнозировании состава и облика системы энергообеспечения с использованием энергии альтернативных источников целесообразно использовать показателя затрат. Этот показатель используемый в методах декомпозиции носит аддитивных характер. Например, если в качестве показателя затрат принимается стоимость системы энергообеспечения, то она складывается из стоимостей энергоактивных ограждений (основного элемента преобразования солнечного излучения в тепловую энергию, теплового насоса (основного элемента преобразования энергии окружающей среды), теплового аккумулятора и т.д.

Эффективность системы энергообеспечения, которая является сложной технической системой в разные периоды года (холодное время года, теплое время года и переходный период) рассчитывается на основании технико-экономических характеристик выше перечисленных ее подсистем.

В качестве примера таких характеристик могут выступать КПД преобразования солнечного излучения энергоактивными ограждениями, степень преобразования теплового насоса и т.д.

Введем предположение [1] о том, что критерий эффективности  $W$  удовлетворяет условию монотонности:

$$\forall x^1, x^2 \in X: y_j(x^1, s, z) \geq y_j(x^2, s, z), j = 1, \dots, J \quad (1) \\ \Rightarrow W(x^1, s, u, z, v) \geq W(x^2, s, u, z, v)$$

Из выражения (1) следует, что технико-экономические характеристики подсистем системы энергообеспечения с использованием энергии альтернативных источников определяются при заданных условиях применения  $z$ , структурой построения системы  $s$  и вектором конструктивных

параметров  $x$ , описывающих облик системы. Структура построения системы характеризует тип, состав и компоновку основных подсистем системы энергообеспечения и описывает их качественно. Конструктивные параметры подсистем определяют конструкцию в целом и ее элементы количественно. Структурная схема и конструктивные параметры подсистем являются основой для нахождения их технических характеристик и показателя затрат. В предлагаемой методике они рассчитываются независимыми от условий применения [1,6].

Существует [1] два подхода к анализу построения и функционирования систем энергообеспечения с использованием энергии альтернативных источников. Первый подход основан на проведении анализа по критерию «эффективность-затраты», а второй – опирается на систему «планирование, программирование, финансирование» (PPBS). Первый подход наиболее широко используется в экономическом исследовании [1,6]. В соответствии со вторым подходом решения относительно системы энергообеспечения должны приниматься на протяжении всех стадий существования этой системы. Целесообразность реализации различных вариантов, получаемых в ходе решения, определяется эффективность затрат в течение длительного периода времени.

В соответствии с первым подходом принято различать две формы критерия типа «эффективность – затраты»: обобщенную и конкретную.

При проектировании системы энергообеспечения, в которой используется энергия альтернативных источников, использование обобщенной формы критерия не целесообразно. Такая форма критерия не учитывает особенности рассматриваемой системы, ее конкретной структуры.

Относительная форма обобщенного критерия «эффективность-затраты» имеет вид  $Cr=W/C$ , где эффективность  $W$  и  $C$  затраты [1]. При этом характеризуется выгода, приходящаяся на единицу израсходованных ресурсов.

Достоинствами такого критерия являются:

- простота,
- возможность задания значений  $W$  и  $C$  в разных единицах,
- возможность оценки качества проектируемой системы энергообеспечения в относительных единицах,
- возможность учета влияния параметров самой системы и параметров среды на значения критерия.

Однако использовать такую форму критерия возможно только при наличии информации о допустимой величине ресурсов системы энергообеспечения. Для устранения данного недостатка в соответствии с [1] применяется введение величины требуемого уровня эффективности  $W^*$  и ограничения вида  $W \geq W^*$ . Для устранения такого недостатка, как снижение стоимости  $C$  до уровня, который делает нецелесообразным практическое применение такой

системы ( $C \rightarrow 0$ ), вводится ограничение величину затрат на создание системы энергообеспечения, в которой в качестве основного энергоносителя выступает энергия альтернативных источников, вводится ограничение типа  $C \leq C^*$ , где  $C^*$  – допустимая величина показателя затрат.

Разностная форма обобщенного критерия записывается в виде  $C_T = W - C$ . Она характеризует качество системы энергогенерирования без введения ограничений. Однако при ее использовании возникает необходимость измерения  $W$  и  $C$  в одинаковых единицах, например в денежных.

Для определения эффективности созданной инновационной системы энергообеспечения необходимо четко определить показатели (критерии) оценки уровня полноты рационального использования комплектующих элементов. Их разработка связана с необходимостью учета большого объема информации, взаимосвязей, которые возникают между компонентами системы энергообеспечения сооружения, то есть инженерными системами, конструкциями сооружения.

Так, например, для энергоактивных ограждений, которые входят в состав системы энергообеспечения, как элемент преобразования энергии альтернативных источников (солнечного излучения, тепла окружающей среды и др.), И одновременно функционально является ограждающими конструкциями, важно определить механизмы перераспределения энергетических потоков, и их корректировки.

Предлагается методологический подход, в котором базовой является следующая последовательность операций: определение исходных условий моделирования - декомпозиция - информационное обеспечение - синтез модели - проверка адекватности - уточнение (идентификация) модели. Это способствует определению и формированию критериев рационального использования энергоактивных ограждений, тепловых насосов и др.

Полученная методика базируется на том, что при проектировании системы инновационной энергогенерирования:

- устанавливаются функциональные связи с учетом ее назначения,
- выделяются базовые группы зависимостей, отражающих ее свойства (характеристики).

Так, например, может учитываться мощность системы энергогенерирования, которая характеризуется масштабами генерирования ее подсистемы - горячего водоснабжения, за определенный промежуток времени.

Для оценки полноты использования комплектующих элементов инновационной системы энергообеспечения используются критерии оценки эффективности, которые бывают тепловые, ресурсные, конструкционные, надежность и др.

Определены критерии свидетельствуют о том, что взаимосвязи, которые возникают при эксплуатации системы энергообеспечения определяются:

- Условиями функционирования (уровень поступления солнечной инсоляции, температура окружающей среды, скорость ветра и др.),
- Требованиями пользователей к тепловой энергии (температура горячей воды, температура системы отопления и др.).

**Выводы.** Определено, что для проведения такой работы целесообразно строить модель на основе проведения декомпозиции. Согласно нового методологического подхода предлагается проводить декомпозицию не до уровня базовых составляющих системы энергообеспечения и функциональных связей между конструктивными элементами, а до уровня взаимосвязей возникающие в самых элементах системы. К примеру, это энергетические потоки, возникающие при поступлении солнечного излучения в многофункциональных энергоактивных ограждениях.

Ряд функциональных связей дифференцируется между подсистемами инновационной системы энергообеспечения. Из принципа декомпозиции четко видно, что достоверность информации о состоянии объекта на каждом уровне организации зависит от наличия информации о соседних уровне. Следствием этого положения является принцип комплексного использования моделей и методов каждого уровня организации при решении диагностических задач. Эти критерии способствуют целесообразном выборе проектных решений, которое производится исходя из общей меры технической адаптации составляющих элементов системы энергообеспечения, таких, например, как энергоактивных ограждения, тепловой насос, тепловой аккумулятор к функционированию в общей системе при различных условиях

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вишнякова Л.В. Развитие методов декомпозиции в задачах оптимального проектирования сложных технических систем на основе математического моделирования / Л.В. Вишнякова, В.Н. Кухтенко, А.В. Слатин // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1995. – № 4. – С. 28-31.
2. Ганжа А.Н. Анализ эффективности теплонасосной системы утилизации теплоты от компрессорной установки с учетом взаимного влияния эксплуатационных характеристик оборудования / А.Н. Ганжа, Э.Г. Братута, О.В. Круглякова, В.Н. Подкопай, В.В. Чубарова // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – №5 (111). – С. 14-20
3. Ганжа Н.Г. Тепловое аккумулирование как способ повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения / Н. Г. Ганжа, А. В. Хименко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2012. – №03 (97). С. 16-21.
4. Дилигенский Н.В. Построение и идентификация математических моделей производственных систем / Н.В. Дилигенский, А.А. Гаврилова, М.В. Цапенко. – Самара: «ОФОРТ», 2005. – 126 с.
5. Костін Ю. Д. Енергозбереження та енергоефективність: основні напрями розвитку машинобудівного комплексу в ринкових умовах / Ю.Д. Костін, О.Д. Пустовий // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2014. – №9 (127). – С. 10-19.
6. Краснощеков П.С. Методология построения систем автоматизированного проектирования сложных технических объектов / П.С. Краснощеков, Ю.А. Флеров // Системный анализ в технике. Сборник научных трудов. – М.: Изд-во МАИ, 1992. – С. 45-51.
7. Мацевитый Ю. М. Оценка энергетической эффективности системы электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий / Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Ганжа, А. В. Хименко // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2011. – № 10. – С. 9-16.
8. Немировский И. А. Энергоэффективность систем теплоснабжения / И. А. Немировский // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2012. – №08 (102). – С. 25-30.
9. Посашков М. В. Оценка эффективности энергопотребления жилого дома на стадии проектирования / М. В. Посашков, В. И. Немченко // Повышение энергоэффективности зданий и сооружений. Межвузовский сборник научных трудов. – Самара: СамГАСУ, 2010. – Вып. 4. – С. 11-16.
10. Унаспеков Б.А. Энергосбережение в тепловых пунктах жилых и общественных зданий. Ч. 1. Общая модель теплового пункта / Б.А. Унаспеков, К.О. Сабденов, М.Ж. Кокарев, М.В. Колобердин, Б.А. Игембаев // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321, № 4. – С.31-37.
11. Федоров П.О. Техно-экономические характеристики системы теплоснабжения на базе возобновляемых источников энергии в реалиях приднепровского региона / П. О. Федоров, А. П. Федорова // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит – 2012. – №4 – С. 29-36.
12. A Green New Deal for Europe: Towards green modernization in the face of crisis / P. Schepelmann, M. Stock, T. Koska etc. // Green European Foundation, 2009. – 87 p. – Режим доступа: [http://cz.boell.org/sites/default/files/study\\_-\\_green\\_new\\_deal\\_for\\_europe\\_en.pdf](http://cz.boell.org/sites/default/files/study_-_green_new_deal_for_europe_en.pdf)
13. Friend G. The Truth about Green Business / G. Friend. – New Jersey: Pearson Education, 2009. – 240 p.
14. Nußbicher J. Solar assisted heating system with seasonal duct heat store in Neckarsuim-Amorbach / Nußbicher J., Mangold D. // EuroSun. – 2004. – V. 14. – P.58-80.
15. Pahud Daniel. The design of a borehole thermal energy storage requires dynamic system simulation, especially for a system without heat pump / Pahud Daniel // SUPSI-DCT-LEE Laboratoria di Energia, Ecologia ed Economia. – 12/05/2002. – P. 66–81.
16. Spanish solar project inaugurated // Power Eng. Int. – 2003. – №2. – P.11.

## REFERENCES

1. Vishnyakova L.V., Kukhtenko V.N. and Slatin A.V. *Razvitiye metodov dekompozitsii v zadachakh optimalnogo proyektirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem na osnove matematicheskogo modelirovaniya* [Development of decomposition methods in the problems of optimal design of complex technical systems on the basis of mathematical modeling]. *Izv. RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and control systems]. 1995. no 4. pp. 28-31. (in Russian).
2. Ganzha A.N., Bratuta E.G., Kruglyakova O.V., Podkopay V.N. and Chubarova V.V. *Analiz effektivnosti teplonasosnoy sistemy utilizatsii teploty ot kompressornoy ustanovki s uchetom vzaimnogo vliyaniya ekspluatatsionnykh kharakteristik oborudovaniya* [Analysis of the efficiency of the heat pump system heat recovery from the compressor unit, taking into account the mutual influence of system performance]. *Energoberezeniye. Energetika. Energoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2013. no 5 (111). pp. 14-20. (in Russian).
3. Ganzha N.G. and Khimenko A.V. *Teplovoye akumulirovaniye kak sposob povysheniya energeticheskoy effektivnosti sistem teplosnabzheniya* [Thermal accumulation as a way to improve the energy efficiency of heating systems]. *Energoberezeniye. Energetika. Energoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2012. no 3(97). pp. 16-21. (in Russian)
4. Diligenskiy N.V., Gavrilova A.A. and Tsapenko M.V. *Postroyeniye i identifikatsiya matematicheskikh modeley proizvodstvennykh sistem* [Construction and identification of mathematical models of manufacturing systems]. Samara, OFORT, 2005, 126 p. (in Russian)
5. Kostin Yu. D. and Pustoviy O.D. *Energozberzhennia ta enerhoefektyvnist: osnovni napriamy rozvytku mashynobudivnoho kompleksu v rynkovykh umovakh* [Energy conservation and energy efficiency, the main directions of engineering complex in market conditions]. *Energoberezeniye. Energetika. Energoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2014. no 9(127). pp. 10-19. (in Ukrainian)
6. Krasnoschekov P.S. and Flerov Yu.A. *Metodologiya postroyeniya sistem avtomatizirovannogo proektirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh ob'ektov* [Methodology of automated systems of designing of complex engineering objects]. *Sistemnyiy analiz v tekhnike*.

*Sbornik nauchnykh trudov* [System analysis in technology. Collection of scientific works]. Moscow, MAI, 1992. pp. 45-51. (in Russian).

7. Matsevityiy Yu. M., Ganzha N. G. and Himenko A. V. *Otsenka energeticheskoy effektivnostisistema elektroteploakkumulyatsionnogo otopleniya administrativnykh zdaniy* [Assessment of the energy efficiency of electrical systems heat accumulator heating of administrative buildings]. *Energoberezeniye. Energetika. Ergoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2011. no 10. pp. 9–16. (in Russian).

8. Nemirovskiy I. A.. *Energoeffektivnost sistem teplosnabzheniya* [Energy efficiency of heating systems]. *Energoberezeniye. Energetika. Ergoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2012. no 8(102). pp. 25-30. (in Russian).

9. Posashkov M. V. and Nemchenko V. I. *Otsenka effektivnosti energopotrebleniya zhilogo doma na stadii proektirovaniya* [Evaluation of energy apartment building at the design stage]. *Povyishenie energoeffektivnosti zdaniy i sooruzheniy. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov* [Improvement of the energy efficiency of buildings and structures. Interuniversity collection of scientific papers]. Samara, SamGASU, 2010. vol. 4. pp. 11-16. (in Russian).

10. Unaspekov B.A., Sabdenov K.O., Kokarev M.Zh., Koloberdin M.V. and Igembaev B.A. *Energoberezhnie v teplovykh punktakh zhilykh i obschestvennykh zdaniy. Ch. 1. Obschaya model teplovogo punkta* [Energy saving in the thermal areas of residential and public buildings. Part 1. General model of the substation]. *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta* [News of The Tomsk Polytechnic University]. 2012. vol. 321, no 4. pp.31-37. (in Russian).

11. Fedorov P.O. and Fedorova A.P. *Tehniko-ekonomicheskie harakteristiki sistemy teplosnabzheniya na baze vobnovlyemykh istochnikov energii v realiyah pridneprovskogo regiona* [Technical and economic characteristics of the heating system based on renewable energy sources in the realities of the Dnieper region]. *Energoberezeniye. Energetika. Ergoaudit* [Energy saving. Energetics. Energy audit]. 2012. no 4. pp. 29-36. (in Russian).

12. Schepelmann P., Stock M., Koska T. etc. *A Green New Deal for Europe: Towards green modernization in the face of crisis*. Green European Foundation. 2009, 87 p. Available at: [http://cz.boell.org/sites/default/files/study\\_-\\_green\\_new\\_deal\\_for\\_europe\\_en.pdf](http://cz.boell.org/sites/default/files/study_-_green_new_deal_for_europe_en.pdf)

13. Friend G. *The Truth about Green Business*. New Jersey: Pearson Education, 2009, 240 p.

14. Nußbicher J. Mangold D. *Solar assisted heating system with seasonal duch heat store in Neckarsuim-Amorbach*. *EuroSun*. 2004, no. 14. pp.58-80.

15. Pahud Daniel. *The design of a borehole thermal energy storage requires dynamic system simulation, especially for a system without heat pump*. *SUPSI-DCT-LEE Laboratoria di Energia, Ecologia ed Economia*. 12/05/2002, pp. 66–81.

16. *Spanish solar project inaugurated* *Power Eng. Int*. 2003. no 2. p.11.

Статья поступила 24.04.2016 г.