

components in the EID structure chosen depending on the specific technology requirements of the application. Component settings adjusted to the real conditions for the realization of running processes, the characteristics of an object impacts. EID operation algorithm provides for an adjustment of parameters of technological processes carried out, as well as the prediction of changes in their characteristics.

Key words: weeds, electrocultivator, electrical impulse, a high voltage

УДК:631.1.004.18:636.22/28

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ТЕПЛОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ ДЛЯ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ

**А. А. Ковалёв, В. А. Панченко, кандидаты технических наук
ФГБНУ «Всероссийский институт электрификации
сельского хозяйства», г. Москва, Россия
e-mail: pancheska@mail.ru**

Аннотация. Приведена технологическая схема использования солнечных теплофотоэлектрических модулей в системе энергоснабжения биогазовой установки блочно-модульной конструкции. Показано, что наряду с различными видами источников альтернативной энергии применительно к теплоэлектроснабжению биогазовой установки возможно использование солнечных теплофотоэлектрических модулей, что приведёт к увеличению эффективности биогазовой установки и снижению или исключению расхода биогаза на собственные энергонужды. Приведено описание солнечных теплофотоэлектрических модулей, предлагаемых для энергоснабжения биогазовых установок. Показано, что использование блочно-модульной конструкции биогазовых установок с энергоснабжением от солнечных теплофотоэлектрических модулей способно значительно повысить энергетическую эффективность использования биогазовых установок в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: биогазовые установки, блочно-модульный принцип, солнечные теплофотоэлектрические модули

В последние годы внимание общества всё больше привлекается к решению двух неразрывно связанных проблем – предотвращению истощения природных ресурсов и охране окружающей среды от загрязнения. Быстрое расходование запасов природного топлива, ограничение строительства гидро- и атомных электростанций вызвали

интерес к применению возобновляемых источников энергии, в том числе огромных масс органических отходов, образующихся в сельском хозяйстве, промышленности, городском коммунальном хозяйстве. В связи с этим, использование методов биологической конверсии органических отходов с получением биогаза и высококачественных органических удобрений, при одновременном решении ряда вопросов охраны окружающей среды от загрязнения, является весьма перспективным [1].

Интенсификация животноводства также создает проблему обработки и использования отходов, поскольку они имеют высокую биологическую активность и содержат значительное количество микроорганизмов и семян сорняков. Для переработки и обеззараживания отходов животноводства наибольшее распространение получили биогазовые установки (БГУ), которые обеспечивают переработку отходов с получением удобрений и биогаза.

Технология анаэробной переработки органических отходов позволяет наиболее рационально и эффективно конвертировать энергию химических связей органических отходов в энергию газообразного топлива (биогаза) собственного производства с получением высокоэффективных органических удобрений. Производство биогаза позволяет предотвратить выброс метана в атмосферу, который оказывает влияние на парниковый эффект в 21 раз более сильное, чем CO₂, и находится в атмосфере 12 лет. Захват метана – лучший краткосрочный способ предотвращения глобального потепления. Произведённый биогаз может быть направлен в энергетические установки для выработки электроэнергии и тепла.

Кроме того, БГУ решает проблему утилизации органических отходов и очистки сточных вод. Переработанные органические отходы применяются в качестве удобрения в сельском хозяйстве, что позволяет снизить применение химических удобрений. За счёт этого сокращается нагрузка на грунтовые воды. Однако, несмотря на положительные стороны анаэробной обработки органических отходов, она имеет существенный недостаток – большие энергетические затраты на технологические нужды оборудования (для обеспечения температурного режима в БГУ требуется значительное количество выработанного биогаза (до 50 %)) [2]. Наиболее энергоёмким является процесс нагрева суточной дозы загрузки метантенка, на который идет около 95 % энергии, расходуемой на собственные нужды установки. Опыт применения систем подогрева субстрата в системах теплоснабжения БГУ незначителен, а имеющиеся сведения в научно-технической литературе не позволяют создать эффективные энергосберегающие установки [3].

Цель исследований – анализ возможности использования солнечных теплофотоэлектрических модулей для энергоснабжения биогазовой установки.

Материалы и методика исследований. Одним из способов повышения энергетической эффективности БГУ является использование альтернативных источников энергии для компенсации энергетических

потребностей БГУ. Наряду с различными видами источников альтернативной энергии применительно к теплоэлектроснабжению БГУ, возможно использование солнечных теплофотоэлектрических модулей, что приведёт к увеличению эффективности БГУ и снижению или исключению расхода биогаза на собственные энерго нужды БГУ. На рис. 1 представлена технологическая схема системы теплоснабжения БГУ с использованием солнечных теплофотоэлектрических модулей.

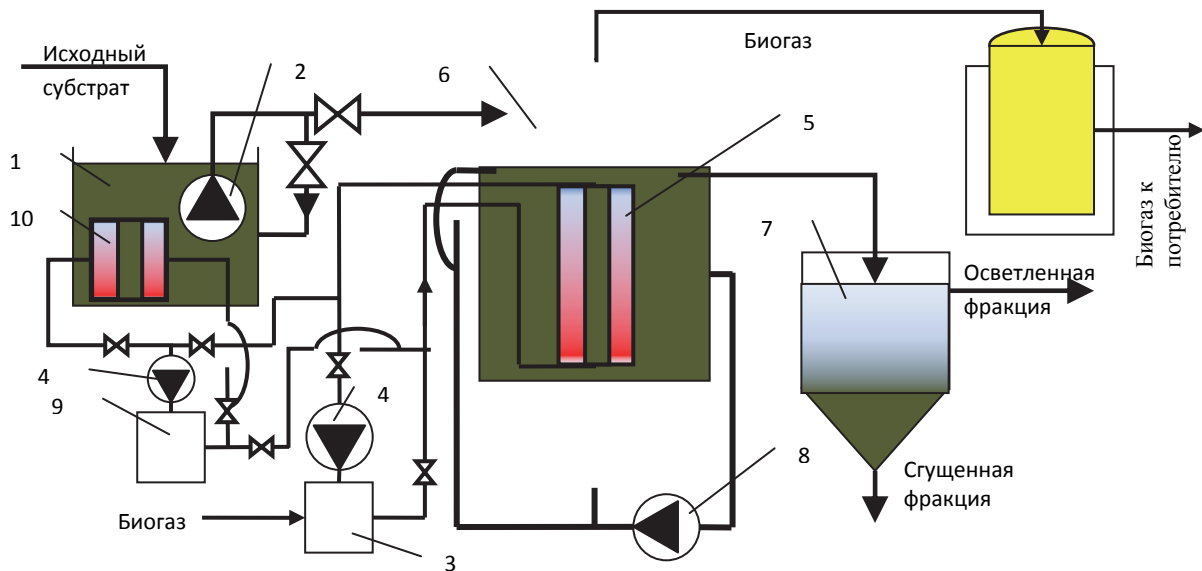


Рис. 1. Технологическая схема системы теплоснабжения биогазовой установки: 1 – ёмкость предварительного нагрева; 2 – насос загрузки; 3 – водогрейный котел; 4 – насос циркуляции теплоносителя; 5 – теплообменник блока-модуля; 6 – анаэробный биореактор (4 блока-модуля); 7 – отстойник эффлюента; 8 – насос перемешивания субстрата; 9 – солнечная теплофотоэлектрическая установка; 10 – теплообменник-нагреватель

Солнечные теплофотоэлектрические установки подразделяются на два класса: с использованием концентратора в конструкции (концентраторный) и в планарном исполнении без концентрирующих систем, работающие при естественном освещении Солнца (бесконцентраторный). Концентраторные же системы также подразделяются на два класса: со слежением за Солнцем (одно- и двухосевые системы слежения) и без слежения за Солнцем (стационарные). Также в класс концентраторных теплофотоэлектрических установок входят установки с фотоэлектрическими преобразователями (солнечные элементы) и термодинамическими преобразователями (двигатель Стирлинга). На рис. 2 изображена концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка с двигателем Стирлинга, разработанная в ВИЭСХ [4–7].



Рис. 2. Концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка с двигателем Стирлинга

Наряду с применением термодинамических преобразователей на примере двигателя Стирлинга для теплоэлектроснабжения БГУ возможно применение концентраторного солнечного теплофотоэлектрического модуля, в котором в качестве преобразователей используются планарные и высоковольтные матричные солнечные модули [8–11]. Охлаждение алюминиевого жидкостного радиатора, на котором закреплены солнечные элементы, происходит теплоносителем (вода), температура которого на выходе составляет $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более, а расход и, соответственно, температура, могут изменяться в зависимости от нагрева солнечных элементов и самого теплоносителя [12–17]. На рис. 3 изображена концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка, разработанная в ВИЭСХ, с планарными и высоковольтными матричными солнечными элементами, установленными на водяном жидкостном радиаторе в качестве фотоприёмника.



Рис. 3. Концентраторная теплофотоэлектрическая солнечная установка с планарными и высоковольтными матричными солнечными элементами

Результаты исследований. На базе разработанных концентраторных теплофотоэлектрических солнечных установок с двигателем Стирлинга и солнечными элементами в качестве фотоприёмников предложено создание полей таких установок с постоянным слежением за Солнцем по двум осям, выработкой электроэнергии порядка 40–50 Вт с единичной установки и тёплой воды

на выходе с температурой +45 °С и более. Выработанная электроэнергия и тепловая энергия используется на энергоснабжение БГУ.

Наряду со следящими концентраторными теплофотоэлектрическими солнечными установками в ВИЭСХ разрабатываются тепло фотоэлектрические солнечные установки стационарного расположения (без слежения за Солнцем) двух типов: с концентраторами солнечного излучения и без их использования в конструкции солнечных модулей (планарное исполнение). На рис. 4 представлены теплофотоэлектрические кровельные солнечные панели с концентраторами (слева) и в планарном исполнении (посередине и справа), основа которых изготавливается из композитного материала, в состав которого входит вторичное сырьё, а солнечные элементы загерметизированы с помощью двухкомпонентного полисилоксанового компаунда, который увеличивает срок службы солнечных элементов [18, 19]. Применение же таких панелей [20–23] решает ряд проблем: объединение функции солнечного теплофотоэлектрического модуля (электрогенерация, теплогенерация) и крыши здания, что снижает их общую стоимость; солнечные модули не занимают площадь на земле и не требуют платы за землю; владельцы здания с солнечной черепицей в будущем смогут продавать дорогую электроэнергию в часы дневного пикового энергопотребления в сеть, а покупать из сети дешёвую внепиковую электроэнергию.



Рис. 4. Теплофотоэлектрические кровельные солнечные панели с концентраторами (слева) и в планарном исполнении (посередине и справа)

В солнечной черепице используются встроенные стационарные солнечные концентраторы, что снижает площадь кремниевых солнечных элементов в 4 раза и позволяет получать электрическую энергию и горячий теплоноситель. Рабочее напряжение каждой черепицы 1–1,2 В, пиковая электрическая мощность 5–8 Вт в зависимости от КПД солнечных элементов. На 1 м² крыши располагаются черепицы пиковой электрической мощностью 70–110 Вт. Солнечная черепица пиковой мощностью 3,5 кВт занимает всего 30–40 % от площади крыши стандартного коттеджа. При оптимальном угле наклона солнечной черепицы годовая выработка электроэнергии в г. Анапа составит около 1,7 МВт·ч/кВт пиковой мощности, а для широты г. Москвы – 1,1 МВт·ч/кВт.

За счёт когенерации электричества и тепловой энергии общая выработка энергии будет больше, а общее КПД установки увеличится.

Наряду с инновационными теплофотоэлектрическими кровельными солнечными панелями теплоэлектроснабжение БГУ можно осуществлять стандартными теплофотоэлектрическими солнечными модулями в планарном исполнении [24], конструкции которых имеют ряд сходств (рис. 5) [25, 26].

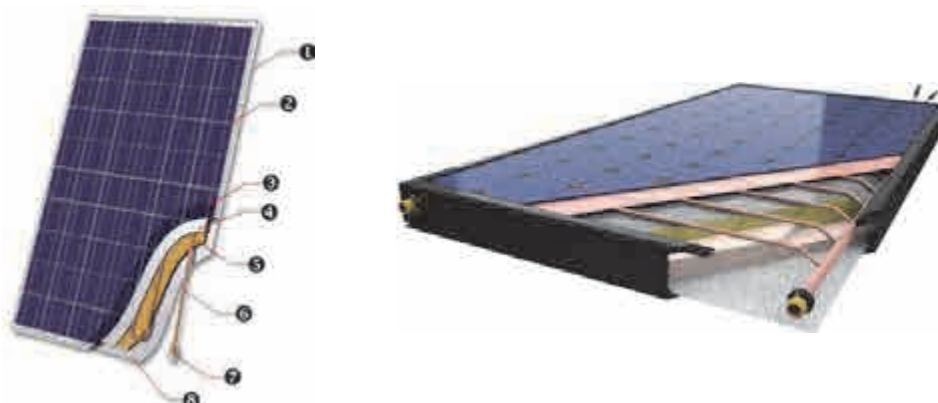


Рис. 5. Теплофотоэлектрические планарные солнечные модули *SUNSYSTEM* (слева) [25] и *SOLIMPEKS* (справа) [26]:

- 1 – алюминиевая рама, 2 – защитное закалённое стекло, 3 – солнечные элементы, 4 – подложка солнечных элементов, промежуточная перегородка, 5 – изоляция, 6 – абсорбирующие трубы, 7 – входное отверстие для теплоносителя, 8 – задняя крышка модуля

В состав таких модулей входят 60 или 72 солнечных элемента, общей мощностью 150–250 Вт, а гарантия номинальной мощности электрической части модуля составляет 90 % после 10 лет работы и 80 % – после 20 лет работы от номинала (стандартные показатели для технологии ламинирования солнечных модулей), максимальная температура теплоносителя 100–140 °С в зависимости от модели. Однако даже серийно изготавливаемые модули такой конструкции отличаются большой материалоемкостью, массой и, соответственно, стоимостью. К тому же модули выполняются в двух вариантах для различного назначения – максимальной электрической эффективности и максимальной тепловой эффективности, что позволяет усомниться в универсальности данной разработки, так как в любом случае происходит уменьшение одной из составляющих энергоснабжения. Также стоит вопрос срока службы электрической части модуля на уровне номинальной мощности, уровень которой с годами падает. Технология капсулирования солнечных элементов двухкомпонентным полисилоксановым компаундом позволит увеличить срок службы теплофотоэлектрических солнечных модулей [18, 19].

Выводы

Все вышерассмотренные солнечные теплофотоэлектрические модули могут с успехом применяться для энергоснабжения блочно-модульных БГУ. Применение же блочно-модульной конструкции БГУ позволит:

- интенсифицировать тепло- и массообмен в реакторах-модулях, что, в свою очередь, приведёт к повышению производительности по сравнению с традиционными метантенками.

- оперативно управлять важнейшими показателями оптимальных условий жизнедеятельности микробного сообщества в реакторном пространстве, что приведет к повышению устойчивости системы к внешним воздействиям.

- сократить капитальные затраты на строительство и обеспечить высокое качество изготовления и монтажа оборудования.

Использование солнечных теплофотоэлектрических модулей различных рассмотренных конструкций для компенсации энергетических потребностей БГУ позволит:

- сократить расход биогаза на поддержание температурного режима в биореакторе.

- сократить расход электроэнергии на привод вспомогательного оборудования БГУ.

- повысить энергетическую эффективность системы переработки органических отходов животноводства.

- повысить энергонезависимость и автономность работы БГУ.

Список литературы

1. Л. И. Гюнтер. Метантенки / Л. И. Гюнтер, Л. Л. Гольдфарб. – М. : Стройиздат, 1991.

2. Ковалев А. А. Система теплоснабжения биогазовой установки блочно-модульной конструкции с использованием рекуперации теплоты эффлюента для фермы на 400 голов КРС / А. А. Ковалев, Д. А. Ковалев, В. В. Харченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 5. – С. 61–67.

3. Арбузова Е. В. К проблеме энергетической эффективности биогазовых технологий в климатических условиях России / Е. В. Арбузова, С. Е. Щеклеин // Альтернативная энергетика и экология. – 2011. – № 7. – С. 129–134.

4. Майоров В. А. Исследование тепловых режимов работы двигателя Стирлинга с параболоидным концентратором солнечного излучения / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 28–29.

5. Майоров В. А. Солнечная установка с параболоторическим концентратором и двигателем Стирлинга / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 1. – С. 14–16.

6. Майоров В. А. Исследование характеристик солнечного концентратора в установке с двигателем Стирлинга / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Энергетик. – 2013. – № 2. – С. 40–42.

7. Пат. № 2522376 РФ. Солнечный модуль с параболоторическим концентратором в составе с двигателем Стирлинга / Майоров В. А., Панченко В. А., Стребков Д. С. – № 2012117481/06 ; заявл. 28.04.2012 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19.

8. Солнечная установка с матричными фотоэлементами и концентратором / Д. С. Стребков, В. А. Майоров, В. А. Панченко [и др.] // Электро. – 2013. – № 2. – С. 50–52.
9. Стребков Д. С. Исследование высоковольтных солнечных кремниевых модулей / Д. С. Стребков, В. И. Поляков, В. А. Панченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 6/2. – С. 36–42.
10. Высоковольтные солнечные модули третьего поколения / Д. С. Стребков, В. И. Поляков, Ю. Д. Арбузов, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. Инновации в возобновляемой энергетике. – 2014. – № 3 (8). – С. 159–165.
11. Панченко В. А. Высоковольтные солнечные модули с напряжением 1000 В / В. А. Панченко, Д. С. Стребков, В. И. Поляков, Ю. Д. Арбузов // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 19 (183). – С. 76–80.
12. Майоров В. А. Исследование параболоторического концентратора в установке с солнечными элементами / В. А. Майоров, В. А. Панченко // Материалы восьмой всероссийской научной молодёжной школы с международным участием (20–23.11.2012, Москва, МГУ). Возобновляемые источники энергии. – 2012. – С. 284–289.
13. Стребков Д. С. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором / Д. С. Стребков, В. А. Майоров, В. А. Панченко // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 1/2. – С. 35–39.
14. Стребков Д. С. Солнечный модуль с параболоторическим концентратором и фотоэлектрическим приёмником / Д. С. Стребков, В. А. Майоров, В. А. Панченко // Энергетик. – 2013. – № 5. – С. 42–44.
15. Пат. № 132258 РФ. Теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратом солнечного излучения / Майоров В. А., Панченко В. А., Трушевский С. Н., Трубников В. З. – № 2012154821/06 ; заявл. 18.12.2012 ; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 25.
16. Пат. № 128398 РФ. Теплофотоэлектрический модуль с концентратором солнечного излучения / Майоров В. А., Панченко В. А. – № 2012145498/06 ; заявл. 26.10.2012 ; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
17. Пат. № 2543256 РФ. Солнечный теплофотоэлектрический модуль с параболоторическим концентратором / Майоров В. А., Панченко В. А., Стребков Д. С. – № 2012141690/06 ; заявл. 02.10.2012 ; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6.
18. Стребков Д. С. Солнечные модули с увеличенным сроком службы / Д. С. Стребков, И. С. Персиц, В. А. Панченко // Инновации в сельском хозяйстве. Инновации в возобновляемой энергетике. – 2014. – № 3 (8). – С. 154–158.
19. Панченко В. А. Солнечные модули с увеличенным сроком службы на уровне номинальной мощности / В. А. Панченко, Д. С. Стребков, И. С. Персиц // Альтернативная энергетика и экология. – 2015. – № 19 (183). – С. 55–60.
20. Разработка кровельной солнечной панели / Д. С. Стребков, В. А. Панченко, А. Е. Иродионов, А. И. Кирсанов // Вестник ВИЭСХ. – 2015. – № 4 (21). – С.107–111.
21. The development of roof solar panels. Research in Agricultural Electric Engineering / D. Strebkov, V. Panchenko, A. Irodionov, A. Kirsanov. – 2015. – Vol. 3, № 4. – P. 123–127.
22. Пат. № 2557272 РФ. Кровельная солнечная панель / Стребков Д. С., Кирсанов А. И., Иродионов А. Е., Панченко В. А., Майоров В. А. – № 2014123409/20 ; заявл. 09.06.2014 ; опубл. 20.07.2015, Бюл. № 20.

23. Пат. № 2572167 РФ. Солнечный модуль с концентратором (варианты) / Стребков Д. С., Кирсанов А. И., Иродионов А. Е., Панченко В. А. – № 2014121269/28 ; заявл. 27.05.2014 ; опубл. 27.12.2015, Бюл. № 36.

24. Панченко В. А. Теплофотоэлектрические бесконцентраторные солнечные модули (гибридные солнечные коллекторы) / В. А. Панченко, Н. С. Филиппченкова // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 5 (15). – С. 128–133.

25. Sunsystems. URL: <http://www.sunsystem.bg/en/fotovoltaika/PV-T/> (дата обращения 04.02.2016).

26. Solimpeks. Volther Hybrid PV-T Panels. URL: <http://www.solimpeks.com> (дата обращения 04.02.2016).

ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ТЕПЛОФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ

А. А. Ковальов, В. А. Панченко

Анотація. *Наведено технологічну схему використання сонячних теплофотоелектричних модулів у системі енергопостачання біогазової установки блочно-модульної конструкції. Показано, що, поряд із різними видами джерел альтернативної енергії стосовно теплоелектропостачання біогазової установки, можливе використання сонячних теплофотоелектричних модулів, що призведе до збільшення ефективності біогазової установки й зниження або виключення витрати біогазу на власні енергопотреби. Наведено опис сонячних теплофотоелектричних модулів, пропонувані для енергопостачання біогазових установок. Показано, що використання блочно-модульної конструкції біогазових установок із енергопостачанням від сонячних теплофотоелектричних модулів здатне значно підвищити енергетичну ефективність використання біогазових установок у сільському господарстві.*

Ключові слова: *біогазові установки, блочно-модульний принцип, сонячні теплофотоелектричні модулі*

USING THE SOLAR PHOTOVOLTAIC THERMAL MODULES FOR ENERGY SUPPLY OF BIOGAS PLANT

A. Kovalev, V. Panchenko

Annotation. *The paper shows the process flow diagram of the using of solar photovoltaic thermal modules in the power supply system of a biogas plant block-modular design. It is shown that along with the various types of alternative energy sources in relation of the power supply of biogas plants it is possible using the solar photovoltaic thermal modules that will increase the efficiency of biogas plants and reduce or eliminate the consumption of biogas for energy needs of biogas plants. Shown the description of solar photovoltaic thermal modules proposed for the power supply of biogas plants. It is shown*

that the block-modular construction of biogas plants using the energy supply from solar photovoltaic thermal modules able to significantly improve the energy efficiency biogas plants in agriculture.

Key words: *biogas units, block-modular principle, solar photovoltaic thermal modules*

УДК 530.15:621.3.01

РІВНЯННЯ СТАНУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КІЛ

А. З. Музичак, кандидат технічних наук
Національний університет «Львівська політехніка»
e-mail: mAndriy@polynet.lviv.ua

Анотація. *В основі рівнянь стану енергетичних систем лежать мережні правила Кірхгофа та рівняння вітки. Зазвичай спад зусилля на пасивному елементі пов'язують лише з перетворенням певного виду енергії (механічної, електричної тощо) у теплову. Відповідно до принципу енергетичної аналогії, енергія елемента системи включає три складові: розсіяння енергії, а також зміну потенціальної та кінетичної форм енергії. У роботі враховано всі складові енергії та утворено контурну й вузлову математичні моделі енергетичного кола. Усі енергетичні системи поділено на замкнені та розімкнені, що зумовлено врахуванням складових рівняння енергії, а в енергетичні кола введено поняття фіктивної вітки.*

Ключові слова: *енергетичне коло, рівняння вітки, полюсне рівняння, математична модель, закон збереження енергії*

Одним із нелегких завдань сучасного математичного моделювання є адекватне відтворення та аналіз режимів складних енергетичних систем з поєднанням процесів різної фізичної природи. Такі енергетичні системи можуть бути дуже різноманітними – від силової установки звичайного сільськогосподарського агрегата до системи електро- чи газопостачання, що охоплюють цілі міста чи райони.

Комплексне вирішення цієї проблеми полягає у створенні математичних моделей енергетичних систем в межах єдиної теорії, яка забезпечує узгоджену побудову цих моделей та обчислювальних алгоритмів фізично неоднорідних систем. Побудова моделей можлива в межах теорії енергетичних кіл, математичний апарат якої орієнтований на уніфіковане представлення явищ різної фізичної природи [1].

Початок формування теорії енергетичних кіл закладено в роботах [2, 3]. В основу було покладено принцип метричної аналогії, відповідно до