

**ОПЫТ МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА  
В СОЗДАНИИ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ  
ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ**

*Д. Войцицка-Мигасюк*

*Люблинский технологический университет, Польша*

*А. Хоховский*

*Варшавский университет естественных наук, Польша*

*С. Сиротюк*

*Львовский национальный аграрный университет, Украина*

**Постановка проблемы.** Сокращение запасов традиционных источников энергоносителей и тенденция к повышению энергетической эффективности заставляют людей искать все более и более изощренные методы использования традиционных и нетрадиционных источников энергии. В последнее время, системы гибридного энергоснабжения становятся весьма популярны. Они предусматривают использование различных источников энергии. Электрическая энергия генерируется с использованием солнечных фотоэлектрических панелей, ветряных турбин или других систем преобразования. Генерирование тепловой энергии для систем отопления, горячего водоснабжения и технологических процессов осуществляется с использованием солнечных коллекторов (плоских и вакуумных трубчатых), геотермальных систем, а также других преобразователей тепловой энергии. Сочетание различных возобновляемых источников энергии, это не только наличие таких элементов, как: солнечные коллекторы, фотоэлектрические панели, ветровые турбины, тепловые насосы, но и использование единой системы управления для обеспечения эффективной работы этих элементов, что составляет основу гибридной более стабильной системы энергоснабжения.

**Постановка задачи.** Для эффективного использования гибридной системы энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии необходимо согласовать интенсивность поступления разных видов энергии с расходом потребителями на базе мониторинга текущей информации и менеджмента, осуществляемого единой системой, построенной на базе микроконтроллеров либо персональных компьютеров.

В данной статье рассмотрен опыт создания гибридных систем энергоснабжения объектов как результат международного сотрудничества польских и украинских исследователей в области использования возобновляемых источников энергии.

**Изложение основного материала.** С польской стороны осуществлялась разработка гибридной системы горячего водоснабжения гостиничного комплекса. В разработке приняли участие сотрудники Варшавского университета естественных наук (SGGW) и Люблинского технологического университета.

Эта система введена в эксплуатацию в 1998 году. В данной гибридной системе используются электрическая энергия из внешней сети, солнечная энергия, геотермальная энергия и газовый котел. Гибридная система контролируется и полностью управляется контроллером типа PLC S7-300 фирмы Siemens (Германия) в соответствии с разработанными алгоритмами работы.

Гибридная система горячего водоснабжения состоит из нескольких независимых сегментов: плоских и вакуумных трубчатых коллекторов, парокомпрессионного теплового насоса с грунтовым первичным источником низкопотенциальной теплоты и теплового накопительного резервуара объемом 2 м<sup>3</sup>. Схема такой системы представлена на рис. 1. В состав гибридной системы также входят газовый котел и электрические водонагреватели, которые обеспечивают тепловой энергией гостиничный комплекс в случае недостатка энергии из возобновляемых источников.

Сегмент плоских солнечных коллекторов (рис. 2) состоит из 20 панелей общей воспринимающей поверхностью 40 м<sup>2</sup> наземного расположения со стационарной ориентацией на юг. Он используется как основной источник тепла для горячей воды в накопительном баке емкостью 1 м<sup>3</sup> и вспомогательного – 2 м<sup>3</sup>, который используется в качестве накопителя энергии от теплового насоса.

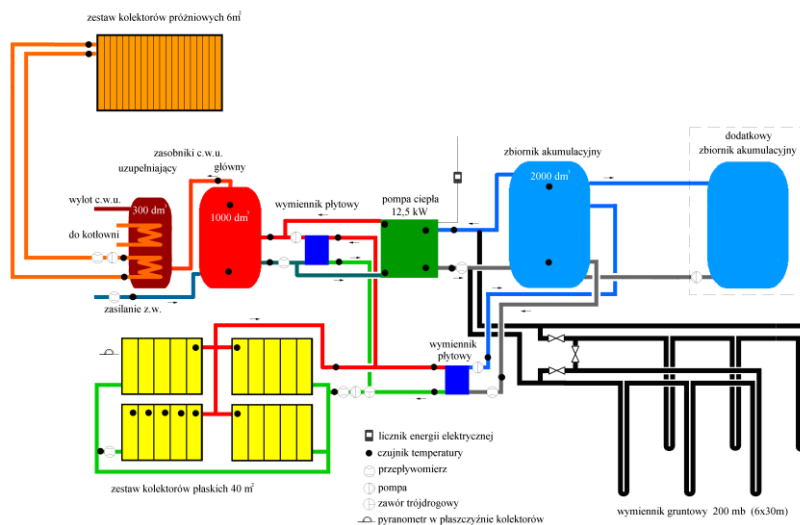


Рис. 1. Гибридная система теплоснабжения: вакуумные трубчатые коллекторы общей площадью 6 м<sup>2</sup>; водяной бак-аккумулятор емкостью 0,3 м<sup>3</sup> с двумя теплообменниками; главный накопительный резервуар для воды емкостью 1 м<sup>3</sup>; главный пластинчатый теплообменник теплового насоса мощностью 12,5 кВт; аккумулирующий резервуар емкостью 2 м<sup>3</sup>; дополнительный бак накопления вспомогательного тепла; плоские солнечные коллектора общей площадью 40 м<sup>2</sup>; пластинчатый теплообменник солнечных коллекторов; грунтовой вертикальный теплообменник длиной 360 м. Дополнительные символы обозначают: измерители электроэнергии, датчики температуры и расхода, циркуляционный насос, трехходовой клапан, пиранометр.

Ввиду использования раствора гликоля, в качестве теплоносителя в солнечной системе, баки-аккумуляторы горячей воды отделены от солнечных коллекторов пластинчатыми теплообменниками.

Сегмент вакуумных трубчатых коллекторов на базе тепловых труб состоит из 60 труб общей абсорбционной поверхностью  $6 \text{ м}^2$ . Эти коллекторы установлены на крыше вспомогательного корпуса, с углом наклона  $40^\circ$  и юго-западной ориентации (рис. 2.). Этот сегмент подсоединен к баку-аккумулятору объемом  $0,3 \text{ м}^3$  с двумя внутренними теплообменниками, последовательно соединенного с основным баком-аккумулятором объемом  $1 \text{ м}^3$ . Один из теплообменников используется для поддержания температуры с использованием газового котла.



Рис. 2. Солнечные сегменты в гибридной системе.

Стохастический характер солнечной радиации является причиной значительной вариации объемов производства тепловой энергии в коллекторах. Это изменение касается либо конкретных часов в дневное время или в определенные дни недели и сезона. Для стабилизации производства тепловой энергии используется парокompрессионный тепловой насос геотермальной системы номинальной мощностью  $12,5 \text{ кВт}$  с вертикальным грунтовыми зондами.

Вертикальный грунтовой теплообменник выполнен с использованием полиэтиленовой трубы диаметром  $40 \text{ мм}$ , выполненной в виде двойной U-образной петли, установленной в 6 скважинах глубиной  $30 \text{ м}$  каждая. Общая длина трубопровода составляет  $360 \text{ м}$  в виде двух параллельных  $180 \text{ м}$  ветвей. Тепловой насос обеспечивает производство горячей воды с температурой на уровне  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В качестве резервного источника тепловой энергии используется газовый котел, который покрывает недостаток тепловой энергии в случае превышения потребляемой мощности системы горячего водоснабжения суммарной мощности солнечных коллекторов и теплового насоса. На практике это наблюдается только в зимний период года.

Описанная гибридная система оснащена разветвленной измерительной системой, обеспечивающей мониторинг информации, который включает постоянную регистрацию показаний датчиков во всех узлах системы, где происходит преобразование, транспортирование и теплообмен, а также создание базы данных и знаний. Эта база используется для выполнения краткосрочных прогнозов работы системы. Они могут быть также использованы для разработки методов диагностики энергетической эффективности теплоэнергетических систем. Контроль и регулирование параметров гибридной системы осуществлялся дистанционно с использованием Интернета.

Солнечная интенсивность излучения измеряется с помощью двух пиранометров для измерений в обеих плоскостях коллекторов: один для плоских и один для трубчатых коллекторов. Эти пиранометры принадлежат II классу ISO, и их точность достаточна для эксплуатационных приложений.

В 2011 году система подверглась модернизации, в частности изменена система измерения и управления, установлены циркуляционные насосы сменных потоков и управляемые электромагнитные клапаны (рис. 3).

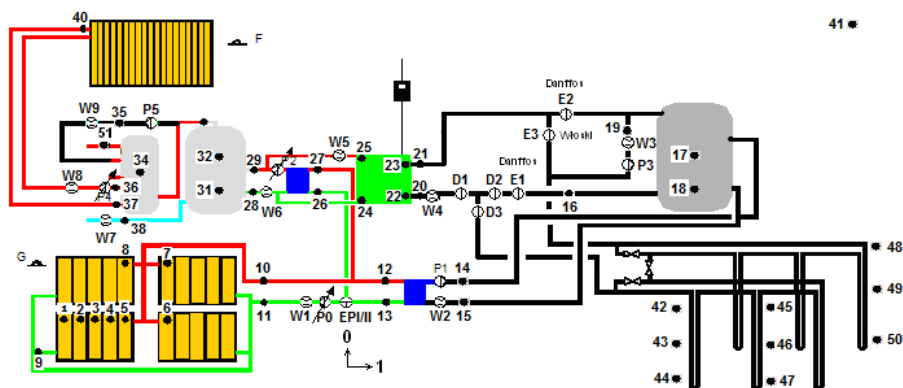


Рис. 3. Схема средств управления модернизированной гибридной системой: D – ручные клапаны, E – электрические клапаны, EP – трехходовый клапан, P – циркуляционные насосы.

В настоящее время применен единый контроллер, который обеспечивает контроль всей системы. Он получает информацию непосредственно от ведомых регуляторов и косвенно от измерительных датчиков, от текущего состояния внешних входов (например, солнечной радиации, температуры окружающей среды) и текущего расхода горячей воды (рис. 4). Он также проводит анализ данных и управляет электромагнитными клапанами. Алгоритм управления также может быть изменен дистанционно (через Интернет).

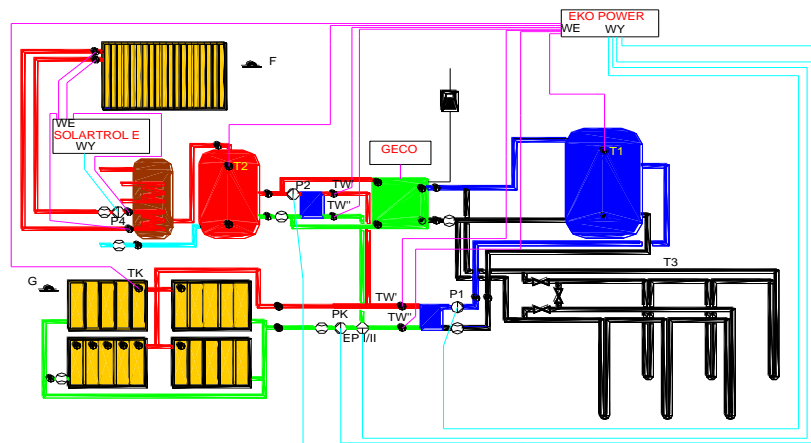


Рис. 4. Модернизированный принцип контроля гибридной системы.

Кроме того, модернизированная система с целью визуализации и хранения данных использует программное обеспечение SCADA (WinCC), которое осуществляется в ОС Windows на персональном компьютере. Связь компьютера с контроллером осуществляется посредством CP5611 карты с протоколом Profibus.

На рис. 5 представлен основной экранный интерфейс обновленной системы.

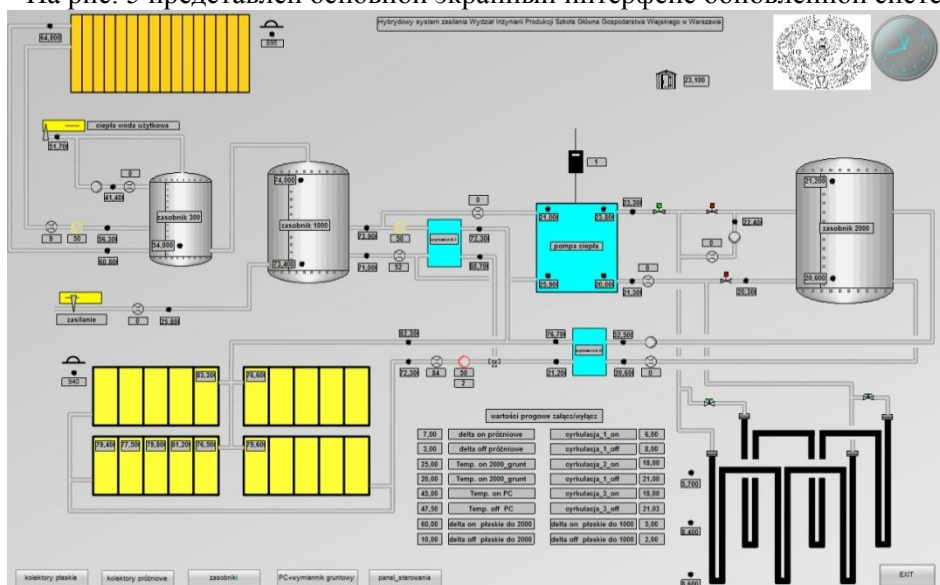


Рис. 5. Основной экранный интерфейс для обновленной системы мониторинга.

Проведенная модернизация системы позволила динамическую идентификацию всех компонентов устройств, выработать правильные алгоритмы работы системы, некоторые результаты которых были представлены в работах авторов [1-5].

Результаты моделирования позволяют выработать удобный алгоритм управления, обеспечивающий минимальные потери использования возобновляемых источников энергии.

В рамках двустороннего сотрудничества между университетами Польши и Украины, а также для получения сравнительной оценки эффективности гибридных систем в различных климатических условиях похожая установка была реализована в лаборатории возобновляемых источников энергии кафедры энергетики Львовского национального университета в 2005 году [6-11].

Установка включает: тепловую солнечную систему горячего водоснабжения, построенную на базе двух плоских коллекторов общей площадью  $3,76 \text{ м}^2$ ; тепловой насос мощностью  $15 \text{ кВт}$  грунтового типа с четырьмя горизонтальными коллекторами и двумя вертикальными зондами с глубиной скважины  $50 \text{ м}$ ; ветроэнергетическую установку мощностью  $5,7 \text{ кВт}$ ; фотоэлектрическую установку мощностью  $100 \text{ Вт}$ , построена на базе двух фотопанелей, одна из которых была установлена стационарно, а вторая – на поворотном устройстве со слежением за Солнцем.

Общий вид элементов гибридной системы, разработанной и смонтированной в Львовском НАУ, показан на рис. 6.



Рис. 6. Общий вид компонентов гибридной системы электроснабжения лаборатории возобновляемых источников энергии.

Для проведения мониторинга режимов работы системы, обработки и хранения информации было использовано аппаратное и программное обеспечение компании National Instruments, в частности блок ввода-вывода типа NI USB-6008 и программная среда LabVIEW [12-16].



Фрагмент рабочего окна фронтальной панели и программного кода (блок-схема) системы мониторинга работы теплового насоса показан на рис. 7.

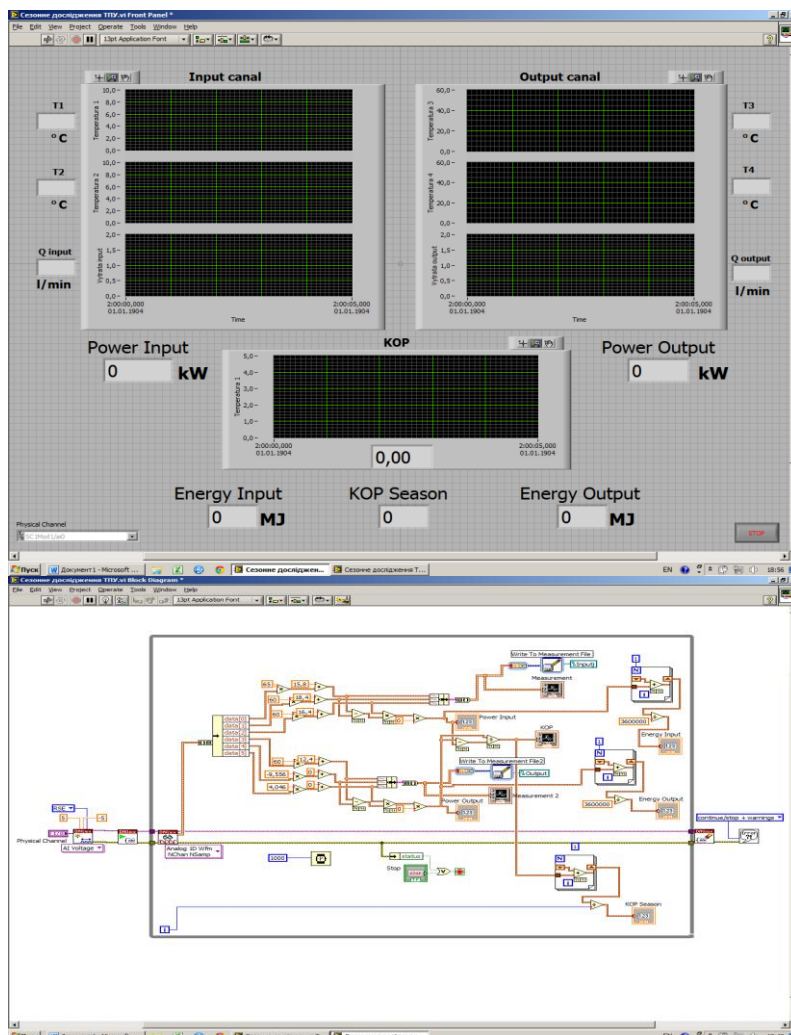


Рис. 7. Фрагмент рабочего окна фронтальной панели и программного кода (блок-схема) системы мониторинга работы теплового насоса.

**Заключение.** В настоящее время модернизированная система управления системой горячего водоснабжения в Польше проходит эксплуатационные испытания. В Украине продолжается разработка единой системы мониторинга и управления работой компонентов гибридной системы энергоснабжения.

#### Библиографический список

1. Czekalski D. Parametrization of daily solar irradiance variability / Czekalski D., Chochowski A., Obstawski P. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2012) –16. – P. 2461-2467.

2. Piotrowska E. Application of parametric identification methods for the analysis of the heat exchanger dynamics / Piotrowska E., Chochowski A. *Inter // Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2012. – Vol. 55, nr 23/24.
3. Piotrowska E. Representation of transient heat transfer as the equivalent thermal network (ETN) / Piotrowska E., Chochowski A. // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2013. – 63. – P.113–119.
4. Wójcicka-Migasiuk D. Thermal system diagnostic through signal modelling. *Environmental Engineering IV (2013) CRC Press Taylor and Francis Group (in printing)*.
5. Chochowski A., Czekalski D., Mirski T. Analysis of effectiveness of energy generating process in the renewable source system. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, Agricult. – № 45, 2004. – P. 59-67.*
6. Комплексне енергозабезпечення малих переробних підприємств за рахунок поновлюваних джерел енергії / [Боярчук В.М., Сиротюк В.М., Сиротюк С.В. та ін.] *Праці Таврійської ДАТА. – 2005. – Вип. 34. – С. 98-105.*
7. Сиротюк С. В. Гибридная система энергообеспечения сельскохозяйственных предприятий с использованием возобновляемых источников энергии / С. В. Сиротюк // *Материалы Международной научно-технической конференции "Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК". – Минск, БГАТУ, 2013. – С. 183-186.*
8. Розробка експериментального стенда для дослідження ефективності застосування пристроїв, які слідкують за сонцем / Боярчук В., Сиротюк В., Гальчак В., Сиротюк С., Болтянський Б. // *Вісник Львівського НАУ : агроінженерні дослідження. – 2013. – №17. – С. 286-293.*
9. Сиротюк С. В. Оптимізація управління енергетичними потоками у комплексних системах використання відновлювальних джерел енергії / С. В. Сиротюк // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – №146. – С.37-41.*
10. Сиротюк В. Особливості моделювання електромеханічних систем вітроустановок малої потужності / Сиротюк В., Сиротюк С. // *Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – 2011. – Vol : 12D. – С. 251-257.*
11. Syrotyuk S. Mathematical model of system of complex use of renewable energy sources in technological processes of agrarian production / Syrotyuk S. // *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW: Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). Warsaw, 2011. -№58. –P.79-84.*
12. Автоматизация физических исследований и эксперимента: компьютерные измерения и виртуальные приборы на основе LabVIEW 7 / Бутырин П. А., Васьковская Т. А., Каратаев В. В., Материкин С. В.; под ред. П. А. Бутырина. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 264 с.
13. Евдокимов Ю. К. LabView для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Практическое руководство для работы в программной среде LabView / Евдокимов Ю. К., Линдваль В. Р., Щербаков Г. И. – М. : ДМК Пресс, 2007. -400 с.
14. LabVIEW для всех / Джеффри Тревис ; пер. с англ. Клушин Н. А. – М. : ДМК Пресс; ПриборКомплект, 2005. – 544 с.
15. Использование виртуальных инструментов LabVIEW / Жарков Ф. Д., Каратаев В. В., Никифоров В. Ф., Панов В. С.; под ред. К. С. Демирчяна и В. Г. Миронова. – М. : Радио и связь, 1999. – 268 с.



16. User Guide And Specifications USB-6008/6009 [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303m.pdf>

**Войціцька-Мигасюк Д., Хоховський А., Сиротюк С. Досвід міжнародного співробітництва у створенні гібридних систем енергопостачання об'єктів**

У праці подано результати розробки й експлуатації гібридних систем електропостачання об'єктів з використанням поновлюваних джерел енергії, які проводяться у Варшавському університеті природничих наук (Польща) і Львівському національному аграрному університеті (Україна). Автори представляють структуру пропонованих гібридних систем, взаємозв'язок структурних елементів і систем моніторингу.

**Ключові слова:** гібридна система, поновлювані джерела енергії, енергопостачання, системи моніторингу.

**Wójcicka-Migasiuk D., Chochowski A., Syrotyuk S. Experience of international cooperation in the establishment of hybrid systems of energy supply of object**

The work reveals results of elaboration and operation of hybrid systems of power supply of objects using renewable source of energy, which are installed in Warsaw University of Life Science (Warsaw, Poland) and LNAU (Dublyany, Ukraine). The author presents structure of the proposed hybrid systems, interconnection of structural elements and systems of monitoring.

**Key words:** hybrid system, renewable power engineering, energy supply, monitoring system.

**Войцицька-Мигасюк Д., Хоховский А., Сиротюк С. Опыт международного сотрудничества в создании гибридных систем энергоснабжения объектов**

В работе приведены результаты разработки и эксплуатации гибридных систем электроснабжения объектов с использованием возобновляемых источников энергии, которые проводятся в Варшавском университете естественных наук (Польша) и Львовском национальном аграрном университете (Украина). Авторы представляют структуру предлагаемых гибридных систем, взаимосвязь структурных элементов и систем мониторинга.

**Ключевые слова:** гибридная система, возобновляемые источники энергии, энергоснабжение, системы мониторинга.