

УДК. 338.43.003.13:620.92:631.11

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ МОЛОКА НА МОЛОЧНО-ТОВАРНІЙ ФЕРМІ

Г. Черевко, д. е. н., професор, Є. Савченко, здобувач
Львівський національний аграрний університет

© Г. Черевко, Є. Савченко, 2014

Черевко Г., Савченко Є. Математичне моделювання використання енергії Сонця для гарячого водопостачання та охолодження молока на молочно-товарній фермі

Загострення світової екологічної та енергетичної кризи стимулює розвиток засобів використання відновлюваних джерел енергії в енергетичних виробничих системах. Одним із перспективних джерел є сонячна енергія з огляду на її доступність, достатньо високу щільність потоку і відносну детермінованість. Повне або часткове заміщення традиційних енергоносіїв енергією Сонця може позитивно вплинути на низку показників, таких як екологічна безпека та економічна ефективність, зміну характеру праці тощо. Найвищої ефективності в системі енергопостачання можна досягти оптимізацією співвідношення у виробництві традиційних і відновлюваних джерел енергії, на що спрямовані наші дослідження. Сьогодні приділяють значну увагу формуванню систем енергопостачання виробничих об'єктів із позицій фізичної економії та використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), однак питання оптимізації структури обладнання енергетичних систем з використанням ВДЕ недостатньо розкрито.

Основним завданням нашого дослідження є створення математичної моделі для оптимізації структури гібридної енергетичної системи, складу та типорозмірів енергетичного обладнання з використанням енергії Сонця.

Математичну модель процесу використання енергії Сонця у технологічних процесах гарячого водопостачання та охолодження молока на молочно-товарній фермі представимо у вигляді цілочисельної оптимізаційної задачі математичного програмування, в якій незалежно змінними факторами виступатимуть кількість теплових сонячних колекторів у системі гарячого водопостачання та для забезпечення тепловою енергією абсорбційних теплових машин, їх потужність, потужність компресійних холодильних машин та іншого енергетичного обладнання. Система обмежень передбачає нерівності, що відображають потребу в енергії для гарячого водопостачання та охолодження молока молочно-товарної ферми, фінансові можливості підприємства щодо придбання технологічного обладнання для використання енергії Сонця, собівартість енергії, отриманої з використанням різного енергетичного обладнання. Розв'язання оптимізаційної задачі здійснюватиметься через мінімізацію цільової функції, яка становить собою затрати на енергозабезпечення.

Оптимізація складу енергетичного обладнання для використання енергії Сонця забезпечить зниження затрат на енергопостачання у новому варіанті порівняно з існуючим з 20123 грн до 16595 грн. Термін окупності додаткових капіталовкладень становитиме 2,4 року з урахуванням економічного та екологічного ефектів.

Ключові слова: оптимізація структури системи енергопостачання, заміщення традиційних енергоносіїв енергією Сонця.

Cherevko G., Sawchenko E. Mathematical modeling use of Solar energy for hot water and cooling milk on dairy farms

Aggravation of the global environmental and energy crisis stimulate the development of renewable energy use in energy production systems. One of the most perspective sources of renewable energy is solar energy because of its availability, sufficiently high flux density and relative determinism. Full or partial replacement of traditional energy with solar energy can have a positive impact on a number of indicators such as environmental safety and economical efficiency, the change nature of work, etc.

The highest efficiency in power supply system can be achieved through optimization of the production of traditional and renewable energy, what we will research in this article. Currently, much attention is paid to the formation of power supply systems in industrial objects from the position of physical saving and the use of renewable energy, but issues of structure optimization of equipment in energy systems with RSE usage is not sufficiently open.

The main task of this research is to create a mathematical model for optimizing the structure of the hybrid energy system, composition and sizes of power equipment using solar energy. The mathematical model of the use of solar energy in technological processes hot water supply and cooling milk on dairy farms we will solve as integer optimization task of mathematical programming in which the number of thermal solar collectors for hot water supply system and their capacity, power of compression chillers will be taken as the independent variables factors.

The constraints system includes inequalities that reflect energy demand for hot water supply and cooling milk on dairy farms, financial capacity of the company to purchase technological equipment for the use of solar energy, cost of energy that is produced using various power equipment. We will solve the optimization problem by carrying out minimizing the objective function, which is the cost of energy.

Optimization of composition of power equipment for solar energy using will provide decrease costs for energy supply in the new version, compared to the existing from 20123 UAH to 16595 UAH, payback period of additional investment will be 2.4, taking into account economic and environmental effects.

Key words: *optimization structure of energy supply system, replacing traditional energy carrier with solar energy.*

Черевко Г., Савченко Е. Математическое моделирование использования энергии Солнца для горячего водоснабжения и охлаждения молока на молочно-товарной ферме

Обострение мирового экологического и энергетического кризиса стимулирует развитие средств использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в энергетических производственных системах. Одним из перспективных источников является солнечная энергия исходя из ее доступности, достаточно высокой плотности потока и относительной детерминированности. Полное или частичное замещение традиционных энергоносителей энергией Солнца может положительно повлиять на ряд показателей, таких как экологическая безопасность и экономическая эффективность, изменение характера труда и т. п. Наивысшей эффективности в системе энергоснабжения можно достичь оптимизацией соотношения в производстве традиционных и возобновляемых источников энергии, на что направлены наши исследования. В настоящее время уделяется значительное внимание формированию систем энергоснабжения производственных объектов с позиций физической экономики и использования ВИЭ, однако вопрос оптимизации структуры оборудования энергетических систем с использованием ВИЭ недостаточно раскрыт.

Основной задачей нашего исследования является создание математической модели для оптимизации структуры гибридной энергетической системы, состава и типоразмеров энергетического оборудования с использованием энергии Солнца.

Математическую модель процесса использования энергии Солнца в технологических процессах горячего водоснабжения и охлаждения молока на молочно-товарной ферме представим в виде целочисленной оптимизационной задачи математического программирования, в которой в качестве независимо изменяющихся факторов будут выступать количество тепловых солнечных коллекторов в системе горячего водоснабжения и для обеспечения тепловой энергией абсорбционных холодильных машин, их мощность, мощность компрессионных холодильных машин и другого энергетического оборудования. Система ограничений включает неравенства, которые отображают потребность в энергии для горячего водоснабжения и охлаждения молока молочно-товарной фермы, финансовые возможности предприятия относительно приобретения технологического оборудования для использования энергии Солнца, себестоимость энергии, полученной с использованием разного энергетического оборудования. Решение оптимизационной задачи будет осуществляться путем минимизации целевой функции, которая представляет собой затраты на энергообеспечение.

Оптимизация состава энергетического оборудования для использования энергии Солнца обеспечит снижение затрат на энергоснабжение в новом варианте по сравнению со существующим – с 20123 грн до 16595 грн. Срок окупаемости дополнительных капиталовложений будет составлять 2,4 года с учетом экономического и экологического эффектов.

Ключевые слова: оптимизация структуры системы энергоснабжения, замещение традиционных энергоносителей энергией Солнца.

Постановка проблеми. У будь-якій сфері виробництва найважливішим ресурсом є використовувана енергія. Традиційні її джерела можна частково або повністю замінити відновлюваними, що позитивно впливає на низку показників, таких як екологічна безпека [1] та економічна ефективність, зміна характеру праці тощо. Найвищої ефективності в системі енергопостачання можна досягти оптимізацією співвідношення традиційних і відновлюваних джерел енергії, на що й спрямоване наше дослідження.

Сьогодні значну увагу приділяють формуванню систем енергопостачання виробничих об'єктів із позицій фізичної економії та використанню відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) [2], однак питання оптимізації структури обладнання енергетичних систем із використанням ВДЕ розкрито недостатньо, що й створює проблему та широке поле для наукового дослідження у напрямі пошуку шляхів її вирішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш обґрунтовано висвітлено окреслену тему в працях Г. І. Башнянин, Г. В. Черевка, І. М. Копич, І. О. Чупика, И. Д. Падерина, Э. Дж. Долана, Д. Линдсей, М. Корчемного, О. Щербина, Х. Штрубенхоффа, В. Мовчана, І. Бураковського.

Постановка завдання. Основним завданням нашого дослідження є створення математичної моделі для оптимізації структури гібридної енергетичної системи, складу та типорозмірів відповідного енергетичного обладнання з використанням енергії Сонця для гарячого водопостачання та охолодження молока на молочно-товарній фермі.

Виклад основного матеріалу. Одним із виробничих підрозділів аграрних підприємств, які можуть споживати сонячну енергію, є молочно-товарна ферма. Розглянемо на її прикладі ефективність використання сонячної енергії в технологічних процесах. Найвищої ефективності використання енергії Сонця слід очікувати в технологічних процесах охолодження молока і нагрівання води для технологічних потреб.

Для розв'язування задачі оптимізації складу енергетичного обладнання визначимо основні вихідні дані і подамо їх у табл. 1.

Гаряче водопостачання можна забезпечити з використанням теплових сонячних колекторів, а отримання технологічного холоду – з використанням теплових pomp абсорбційного типу, первинним джерелом яких є тепло сонячна енергія.

Кількість технологічного холоду для охолодження молока визначимо за формулою:

$$Q_{хол.} = m_m \cdot C_m (T_{поч.} - T_{кінц.}) \quad (1)$$

де m_m – річна кількість молока, кг;
 C_m – теплоємність молока, 3844 Дж/кг·град [3; 4];

$T_{поч.}$ і $T_{кінц.}$ – початкова і кінцева температура молока, град.

Аналогічно визначаємо кількість теплоти для гарячого водопостачання.

Для визначення питомого надходження енергії сонячного опромінення, віднесеного до одиниці площі колектора для заданої місцевості, скористаємося даними NASA, що вільно доступні в мережі Internet [5].

У зв'язку з тим, що собівартість різних видів енергії залежить від кількості енергетичного обладнання та його продуктивності, її визначаємо в процесі розв'язання оптимізаційної задачі.

Структура моделі охоплює перелік незалежних змінних факторів, системи обмежень і цільової функції.

Як незалежні змінні фактори для системи енергозабезпечення виберемо:

X_1 – кількість теплових сонячних колекторів вибраного типорозміру у сонячній тепловій системі, яку використовують для гарячого водопостачання;

X_2 – кількість фотоелектричних панелей вибраного типорозміру, які використовують у підсистемі виробництва електричної енергії;

X_3 – кількість теплових сонячних колекторів вибраного типорозміру, які будуть використані для перетворення сонячної теплової енергії на технологічний холод за допомогою абсорбційних теплових pomp;

X_4 – потужність парокompресійної холодильної машини як резервного джерела виробництва холоду;

X_5 – потужність електричного нагрівача як резервного джерела енергії для системи гарячого водопостачання;

X_6 – площа параболічного рефлектора концентратора сонячних променів як джерела енергії для виробництва теплової та електричної енергії двигуном Стірлінга, що працюватиме у когенераційному режимі;

X_7 – кількість електричної енергії, отриманої від централізованої електричної мережі.

Система обмежень має вигляд:

$$\sum_{j=1}^N (X_i \cdot q_{ij}) \geq Q_j, \quad (2)$$

де i – множина енергетичного обладнання;

j – множина видів енергії;

N – кількість видів енергії;

X_i – типорозміри відповідного енергетичного обладнання, отримані у результаті розв’язання математичної моделі;

q_{ij} – продуктивність i -го обладнання для виробництва j -го виду енергії;

Q_j – річна потреба підприємства у j -му виді енергії.

Таблиця 1

Вихідні дані для розв’язання задачі оптимізації складу технологічного обладнання

Показник	Одиниця виміру	Значення показника
Кількість персоналу	осіб	6
Кількість корів	голів	92
Річний надій молока на корову	л/корову	3600
Річна кількість молока, отриманого на фермі	л	331200
Температура молока початкова	град.	32
Температура молока кінцева	град.	4
Теплоємність молока	Дж/кг·град	3844
Кількість теплоти охолодження	Дж	$3,88564 \cdot 10^{10}$
Кількість теплоти охол.	кВт·год	10793,44
Норма витрати гарячої води на корову	л/корову	0,5
Норма витрати гарячої води на людину	л/людину	50
Норма витрати води на миття апаратури	л/л мол.	0,5
Норма витрати води на охолодж. молока	л/л мол.	3
Кратність доїння	раз/добу	3
Потреба в гарячій воді на миття апаратури	л	165600
Потреба в гарячій воді на обмивання вим’я	л	28980
Потреба в гарячій воді на миття персоналу	л/рік	63000
Тривалість стійлового періоду	днів	210
Потреба в гарячій воді річна	л	257580
Кількість теплоти для нагрівання води	кВт·год.	8694,04

Із врахуванням цілочисельних значень незалежно від змінних факторів необхідно ввести такі обмеження на цілочисельність:

$$X_i = \text{int.}$$

Крім того, необхідно ввести обмеження щодо фінансових можливостей підприємства на придбання технологічного обладнання, у вигляді:

$$\sum (X_i \cdot c_i) \leq \Phi_m, \quad (3)$$

де c_i – питома вартість i -го обладнання;

Φ_m – фінансові можливості підприємства.

Цільову функцію визначатимемо в такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^M (X_i \cdot C_{ij}) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де M – кількість енергетичних джерел;

C_{ij} – собівартість j -го виду енергії, виробленої i -тою енергетичною установкою.

Враховуючи, що необхідні добові обсяги теплової енергії та технологічного холоду можна накопичувати в акумуляторах, оптимізацію кількості і типорозмірів енергетичного обладнання проведено за умов повного заміщення електричної енергії сонячною.

Робоче вікно розв'язання задачі оптимізації в середовищі Microsoft Excel з надбудо-

вою розв'язування оптимізаційних задач "Поиск решения" з використанням енергії Сонця показано на рис. 1, а фрагмент робочого вікна конфігурації задачі – на рис. 2.

Для варіанта використання традиційних джерел енергії фрагменти вікон показано на рис. 3 та рис. 4.

Результати розв'язку оптимізаційної задачі показані в табл. 2.

	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н			
1	Колектор	Фотопанель	АХМ	ПКХМ	ТЕН	ДЗЗ	ЕМ			
2	6	0	9	0	0	0	0			
3	Показники							Потреба енергії		
4	Тепло	1536,066			1213,625	365,73		8694,04	9216,396	
5	Холод		1228,8528	1277,5				9902,14	11059,675	
6	Електроенергія	276,12615	-20	-425,83	0	304,775	1	0	-180	
7	Вартість обладнання	59776,6	0	142591,9	0	0	0	1000000	202368,5	
8	Собівартість одиниці тепла	1,149723457			1,0324	0	1,0324			
9	Собівартість одиниці холоду		0,54240833	0						
10	Собівартість одиниці електроенергії	0	1,0324	1,0324		0		1,0324		
11	Отримано річну кількість тепла	9216,396			0,1	1	0			
12	Отримано річну кількість холоду		11059,6752	0,1						
13	Отримано річну кількість електроенергії	0	-180	0,1		1			-178,9	
14	Витрачено електроенергії		180	0	0	0	0		180	
15	Цільова функція, затрати, грн.	10596,30667	0	5998,86	0	0	0		16595,166	

Рис. 1. Фрагмент робочого вікна оптимізації складу енергетичного обладнання.

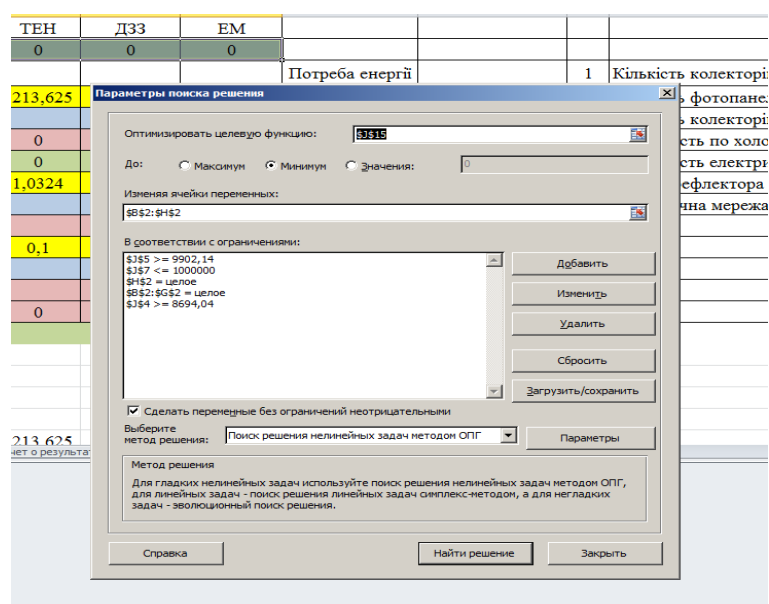


Рис. 2. Фрагмент робочого вікна "Параметры поиска решения".

	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	
1	Колектор	Фотопанель	АХМ	ПКХМ	ТЕН	ДЗЗ	ЕМ		
2	0	0	0	8	8	0	0		
3	Показники							Потреба енергії	
4	Тепло	1536,066			1213,625	365,73		8694,04	
5	Холод		1228,8528	1277,5				9902,14	
6	Електроенергія		276,12615	-20	-425,833	-10220	304,775	1	
7	Вартість обладнання	0	0	0	192459	800	0	1000000	
8	Собівартість одиниці тепла	0				1,0324	0	1,0324	
9	Собівартість одиниці холоду			0,1	0,59247				
10	Собівартість одиниці електроенергії		0	1,0324	1,0324		0	1,0324	
11	Отримано річну кількість тепла	0,1			9709	0,1	0		
12	Отримано річну кількість холоду			0,1	10220				
13	Отримано річну кількість електроенергії		0	0,1	-3406,67		0,1		
14	Витрачено електроенергії		0	3406,67	10220			13626,4	
15	Цільова функція, затрати, грн.	0	0	0,01	9572,05	10551,13	0	20123,4	

Рис. 3. Фрагмент робочого вікна оптимізації складу енергетичного обладнання без використання енергії Сонця.

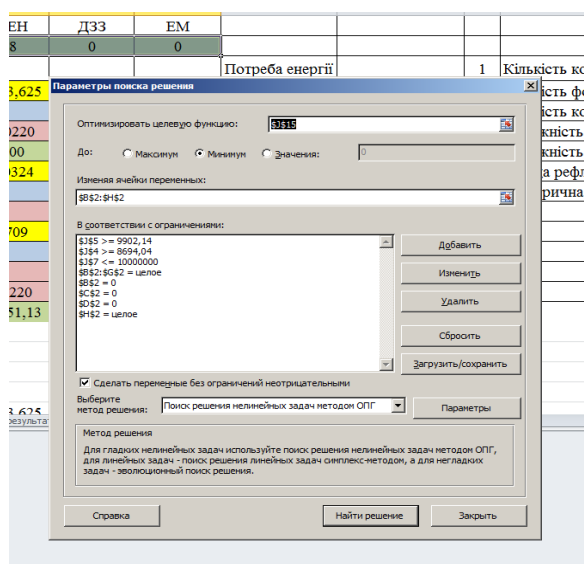


Рис. 4. Фрагмент робочого вікна “Параметри пошуку рішення” без використання енергії Сонця.

Температурні параметри процесу охолодження молока: початкова температура 30-32°C, кінцева – 4-6°C [6].

Температурні параметри системи гарячого водопостачання: початкова температура води – 14-16°C, кінцева – 45°C.

В існуючій технології охолодження молока передбачено здійснювати з використанням парокompресійних холодильних установок з потужністю по холоду 14 кВт.

Із врахуванням даних табл. 2 та результатів наших попередніх досліджень [7] вартість

річних відвернених збитків зменшенням шкідливого впливу діяльності ферми на навколишнє середовище та заміщення електричної енергії сонячною з врахуванням “Зеленого тарифу” для підприємства становитиме 95354 грн.

Річні затрати виробництва за запропонованою енергетичною системою становитимуть 16595 грн, а в існуючому варіанті – 20123 грн. Термін окупності додаткових капіталовкладень на нове енергетичне обладнання – 2,4 року.

Таблиця 2

Результати розв'язку оптимізаційної задачі визначення структури енергетичної системи за умови повного заміщення електричної енергії сонячною для молочно-товарної ферми на 100 корів

Показник	Одиниця виміру	Без використання ВДЕ	Із використанням ВДЕ
Потужність парокомпресійної холодильної машини по холоду	кВт	8	0
Кількість теплових колекторів	шт.	0	6
Кількість колекторів абсорбційної холодильної машини	шт.	0	9
Потужність нагрівника	кВт	8	0
Витрати електроенергії	кВт·год.	13626	0
Зведені затрати	грн	20123	16595
Капіталовкладення	грн	-	222689

Висновки та перспективи подальших наукових пошуків. Представлена методика оптимізації складу енергетичного обладнання з використанням енергії Сонця для молочної ферми на 100 корів свідчить про значну еко-

номічну та екологічну ефективність заміщення електричної енергії сонячною. У подальших дослідженнях необхідно передбачити розробку системи управління енергетичними потоками комбінованої енергетичної системи.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Осташко Т. О. Інституціонально-структурні трансформації аграрного сектора: моніторинг, оцінка, регулювання : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора екон. наук / Т. О. Осташко. – К., 2004. – 22 с.
2. Бородіна О. Сільський розвиток в Україні: проблеми становлення / О. Бородіна, І. Прокопа // Економіка України. – 2009. – № 4. – С. 74-85.
3. Бородіна О. Сільський розвиток в Україні: проблеми становлення / О. Бородіна, І. Прокопа // Економіка України. – 2009. – № 5. – С. 59-67.
4. Онищенко О. Сільське господарство, село і селянство України у дзеркалі пострадянської аграрної політики / О. Онищенко, В. Юрчишин // Економіка України. – 2006. – № 1. – С. 6-13.
5. Онищенко О. М. Сільський розвиток: основи методології та організації [Електронний ресурс] / О. М. Онищенко, В. В. Юрчишин // Економіка України. – 2006. – № 10. – С. 4-13. – Режим доступу : <http://kmi.gov.ua/file/link/>.
6. Саблук П. Т. Розвиток сільських територій в контексті забезпечення економічної стабільності держави / П. Т. Саблук // Економіка АПК. – 2005. – № 11. – С. 4-12.
7. Якубів В. М. Ефективний сільський розвиток – пріоритет аграрної політики держави / В. М. Якубів // Вісник Прикарпатського університету. – Івано-Франківськ : Плай, 2008. – Вип. 6. – С. 76-79. – (Серія “Економіка”).
8. Якубів В. М. Інноваційний підхід до процесу забезпечення сільського розвитку / В. М. Якубів // Інноваційна економіка. – 2008. – № 1. – С. 31-33.
9. Павлов О. І. Сільський розвиток: об'єктність, просторові межі та суспільне призначення / О. І. Павлов // Економіка України. – 2011. – № 8. – С. 78-89.
10. Павлов О. І. Сільські території України: функціонально-управлінська модель : монографія / О. І. Павлов. – Одеса : Астропринт, 2009. – 344 с.

