

СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

© Яковчук П.С., Цяпа В.Б., Комаров В.І., 2006

Проаналізовано ефективності різних технічних засобів, призначених для використання енергії сонця. Показано максимальну ефективність використання сонячної енергетики під час використання як первинного енергоносія сухої біомаси.

The analysis of efficiency of the different hardwares intended for the use of energy of a sun is conducted. Maximal efficiency of the use of sun energy is rotined at the use in quality the primary transmitter of energy of dry biological mass.

Постановка проблеми. Сучасні системи енергопостачання як первинні енергоресурси використовують переважно викопні вуглеводні, атомну енергію та енергію води. Основними причинами такого становища є гігантоманія радянського періоду господарювання та дешевизна місцевих ресурсів. Тому в теперішній час за різкого збільшення цін на первинні енергоносії актуальними стають дослідження в галузі використання оновлених джерел енергії.

Аналіз останніх досліджень. Завдання використання енергії сонця є досить відомим [1–3]. Проте з зростанням технічного прогресу і появою нових технічних рішень [5, 6] ефективність використання енергії сонця можна істотно збільшити. Тому важливим є аналіз різних методів і оцінювання оптимальної галузі їх застосування.

Задачі досліджень. Одночасно необхідно систематизувати технічні засоби утилізації енергії сонця і розробити рекомендації для їх ефективного застосування в різних галузях народного господарства. також необхідно оцінити економічну ефективність різних технічних рішень.

Виклад основного матеріалу. Створення надійної матеріально-технічної бази вільного суспільства неможливе без ефективного використання потенціалу відновлювальних джерел енергії, які є на цій території. До таких джерел належать рух мас води, повітря, біомаса і сонячна енергія.

Структура джерел енергії протягом останніх десятиліть істотно зміцнюється: зростає значення нафти, вугілля й газу, зменшується – деревини; певного значення набуває атомна енергія. Роблять спроби повнішого використання енергії вітру, морських припливів, сонячного тепла. Проте найбільший внесок у загальний енергетичний фонд, використовуваний людиною, належить речовинам, нагромадженим внаслідок фотосинтетичного процесу. З часом цей енергетичний фонд – вугілля, нафта – наближається до виснаження, і тільки Сонце залишається стабільним джерелом енергії. Фотосинтез – єдиний процес, здатний постійно відновлювати енергетичні ресурси планети. Тому є підстави вважати його основою відновлювальних джерел енергетичних засобів.

Сонце випромінює таку кількість енергії, якої вистачило б на задоволення не лише сучасних, але й майбутніх потреб людства, коли б існувала можливість утилізувати повністю всю енергію, що досягає поверхні Землі. У багатьох місцях земної кулі загальна енергія випромінювання становить $72 \cdot 10^8$ Дж·м⁻² рік⁻¹ (2000 кВт·год·м⁻² рік⁻¹). Енергії, що потрапляє на площу 80 км², вистачило б для задоволення потреб людства в наші часи [1]. У зв'язку з цим у багатьох країнах світу опрацьовують різні проекти використання сонячної енергії. Густина сонячного випромінювання в навколоземному космічному просторі дорівнює 1,35 кВт/м², а на поверхні Землі ця величина становить 1

кВт/м². Кількість сонячної енергії, яка надходить на Землю, в 10 000 разів перевищує сучасний рівень енергоспоживання [2].

Одним із способів використання сонячної енергії є застосування сонячних колекторів [3]. У спектрі сонячного випромінювання близько 98 % хвиль мають довжину, менше 3 мкм. Близько 90 % сонячних променів проходять через звичайне віконне скло і нагрівають предмети чи поверхню, яка знаходиться за ним. Ця поверхня стає джерелом теплового випромінювання з довжиною хвиль більше ніж 3 мкм. Але ці промені не можуть пройти назад через скло, тому що пропускна здатність скла при довжині хвиль 30–50 мкм близька до нуля. Це явище називається парниковим ефектом [4].

Основним елементом будь-якої активної сонячної системи є приймач, або колектор. Колектори сонячних систем істотно відрізняються за формою, конструктивним рішенням, фізичним принципом уловлювання сонячної енергії, ступенем динамічності і іншими ознаками. Класифікація колекторів показана на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація сонячних колекторів

Серед конструктивних рішень колекторів, що знаходяться в процесі постійного вдосконалення, можна виділити два основні типи – плоскі (перше покоління) і концентруючі (друге і третє покоління).

Плоскі теплові колектори першого покоління складаються з п'яти основних елементів:

- 1) прозорого захисного шару або шарів з скла або пластику;
- 2) теплопоглинальної пластини з матеріалу з високим коефіцієнтом теплопровідності типу мідь або алюміній, поверхня якого має темне покриття;
- 3) труб або коробів з циркулюючим в них теплоносієм, які для збирання тепла вмонтовані в поглинач, зв'язані з ним або виконані з поглиначем як одне ціле;
- 4) ізоляції, яка зменшує втрати тепла;
- 5) захисного короба, який оберігає конструкцію від пошкоджень і атмосферних дій.

Для підвищення теплопоглинальної здатності пластин колектора (пункт 2) в діапазоні теплового випромінювання з довжиною хвилі більше 3 мкм застосовують способи створення

”селективних поверхонь”, тобто нанесення тонкодисперсних шарів металів і тонких напівпровідних шарів, а також створення на цих пластинах шорсткостей і спеціальних канавок.

Плоскі теплові сонячні колектори володіють якістю, яка корисна на територіях з великою кількістю похмурих днів, вони вловлюють енергію не тільки прямих, але і розсіяних сонячних променів.

Принцип роботи плоского теплового колектора заснований на парниковому ефекті. Теплова енергія, яка нагромаджується при цьому в “гарячому ящику”, відводиться по трубах або інших комунікаційних каналах за допомогою рідинного (вода, масло, антифриз) або газоподібного (повітря) теплоносія. У конструктивному, теплотехнічному і функціональному відношенні системи плоских теплових колекторів можна розділити на прості (40–60 °С) для низькотемпературного нагрівання теплоносія; основні середньотемпературні (60–100 °С) для побутових потреб; вдосконалені високотемпературні (більше 100 °С) для технічних цілей [4]. Якщо з наведеного вище переліку основних елементів плоского теплового колектора виключити пункти 2, 3, 4, то вийде простий низькотемпературний “струменевий колектор”, в якому по жолобах, встановлених під нахилом, чорного металевого листа стікають цівки води, яка подається з розташованої зверху перфорованої труби. Приклади деяких конструктивних рішень основних середньотемпературних теплових колекторів показані на рис. 3.

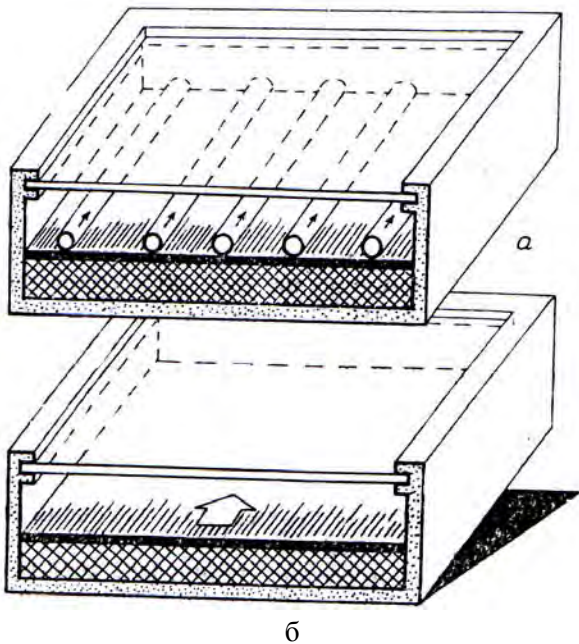


Рис. 2. Плоскі теплові сонячні колектори:
а – рідинний; б – повітряний

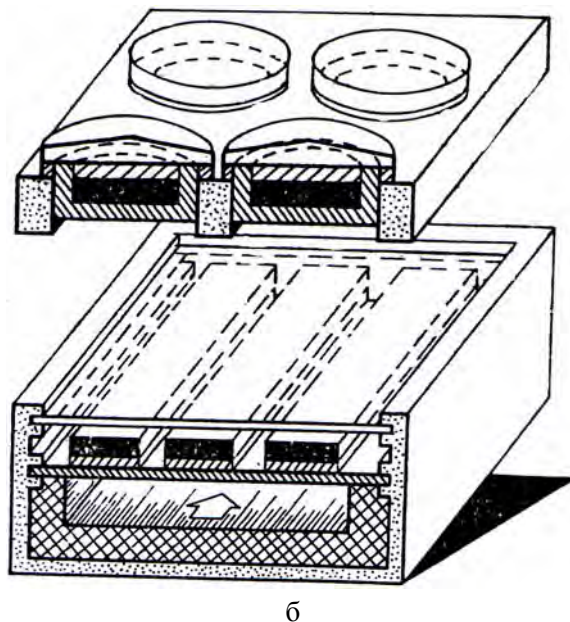


Рис. 3. Сонячні батареї:
а – з окремими скляними лінзами;
б – з суцільним склом і повітряним каналом для відведення тепла

За даними вітчизняних і зарубіжних досліджень [3] при середній інтенсивності сонячної радіації 500 Вт/м² (для порівняння в гірських районах ця величина досягає 800–1000 Вт/м²) і за умови нагрівання теплоносія для побутових потреб до температури, яка приблизно на 15–30 °С перевищує температуру навколишнього середовища, значення ККД різних типів основних плоских теплових колекторів становлять близько 60 %.

Істотно підвищити ефективність сонячних колекторів можна комбінацією сонячний колектор-тепловий насос [5, 6].

Експериментальна установка “Lennox” демонструє переваги сонячного підігрівання повітря перед подачею у випарник теплового насоса.

Відомо, що у разі зниження навколишньої температури ефективність теплового насоса падає, але сонячне нагрівання повітря могло б виправити ситуацію. У цій конструкції сонячний колектор безпосередньо включають в саму будівлю. Як видно з рис. 4 і 5, застосована проста схема: повітряний канал безпосередньо під дахом, що нагрівається сонцем. Оскільки колектор має температуру, близьку до температури навколишнього середовища, втрати тепла знижені порівняно з іншими колекторами. Якщо система закладена в проект будівлі, то і вартість її невелика. Ефективність її можна ще підвищити ціною додаткових капітальних витрат за допомогою одноразового скління. У цій системі тепловий насос використовує тепло повітря для підвищення температури акумулятора тепла, розміщеного під будівлею.

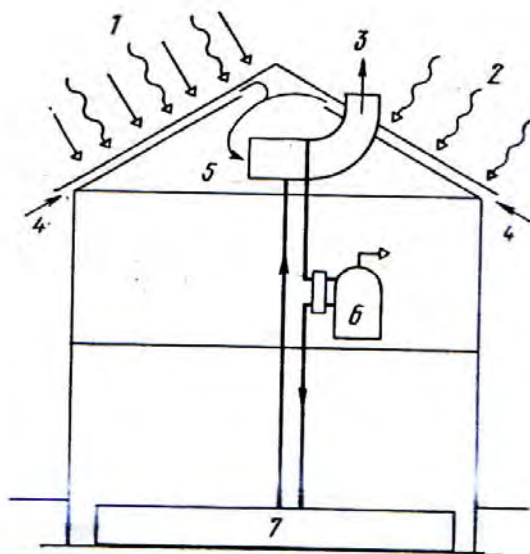


Рис. 4. Схема теплового насоса "Lepnox" з сонячним водонагрівачем повітря:

- 1 – пряма радіація; 2 – непряма радіація;
- 3 – вихідне повітря; 4 – зовнішнє повітря;
- 5 – тепловий насос; 6 – бак гарячої води;
- 7 – акумулятор тепла

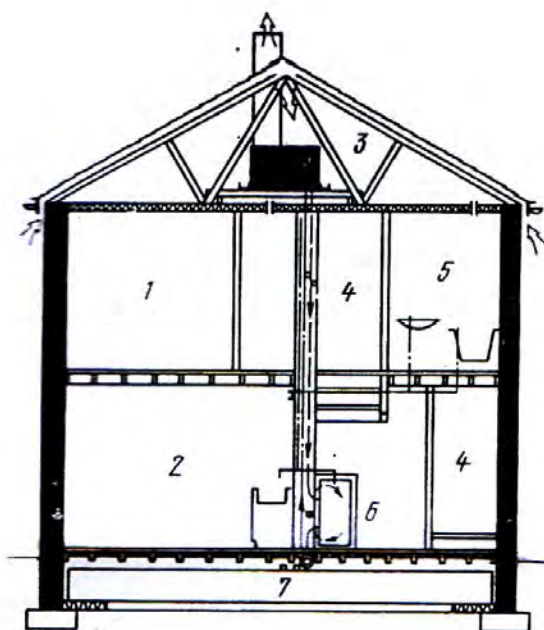


Рис. 5. Переріз будинку з установкою "Lepnox":

- 1 – спальня; 2 – кухня; 3 – тепловий насос;
- 4 – сходи; 5 – ванна; 6 – кладовка;
- 7 – акумулятор тепла

Як видно з рис. 6, тепловий акумулятор дає можливість застосувати тепловий насос тільки за достатньо високої температури, навколишнього повітря, коли сонце дає помітний внесок в її підвищення при підході повітря до випарника. Середнє підвищення температури на 2,5 °С над навколишнім середовищем в такому сонячному колекторі збільшує КОП на 8–10 % з періодом окупності менше 5 років. Тепловий акумулятор забезпечує опалювання у разі пониження навколишньої температури. У цей час, наприклад вночі, тепловий насос відімкнений. Стверджується, що такий акумулятор може підтримувати комфортні умови всередині дому протягом 9 днів при навколишній температурі 0 °С. Проте така установка навіть для умов Англії повинна використовувати якісь способи додаткового нагрівання. Інша рекламована перевага системи полягає в можливості використання позапікової дешевої електроенергії. Вона також може оберігати нежитлові будинки від замерзання або зволоження протягом тривалого часу.

Тепло з теплового акумулятора може надходити в низькотемпературні панелі під підлогою або радіатори, а також в систему повітряного опалювання. Загалом ця система нагадує німецьку, але система "Lepnox" дещо менша.

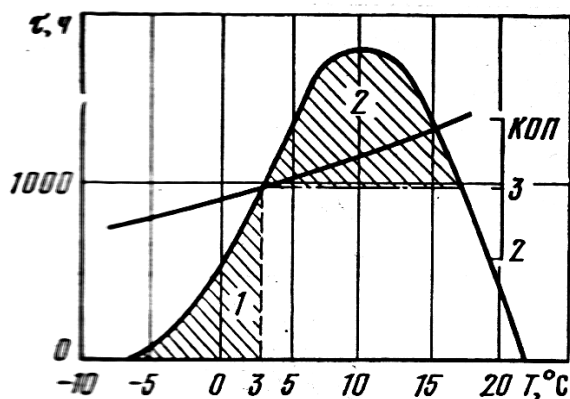


Рис. 6. Вплив акумулювання тепла на довготривалість економічної роботи τ повітряного теплового насоса:
 1 – область тепlopостачання від акумулятора без теплового насоса;
 2 – оптимальна область роботи теплового насоса

Наступним ефективним способом використання сонячної енергії є використання сухої біомаси, що утворилась внаслідок фотосинтезу [7].

Варто зазначити, що фотосинтетичний апарат рослин і фотосинтезуючих бактерій, сформований за 2,5 мільярда років еволюції живого світу, має значно вищу ефективність перетворення світлової енергії в енергію розділених електричних зарядів. Квантовий вихід засвоєння енергії світла на рівні розділення зарядів у реакційних центрах хлоропластів рослин і хромофорів фототрофних бактерій перевищує 98 %. Такий високий ККД енергетичного перетворення зумовлений тим, що пігменти розподілені тонким шаром у мембранах хлоропластів, внаслідок чого створюється велика поверхня сприймання сонячних променів. За допомогою резонансного механізму збуджені молекули хлорофілу передають енергію реакційним центрам особливої молекулярно-енергетичної будови. Кількість молекул – збирачів квантів – становить десь 250–400 на один такий центр. Площа мембран, у яких розміщені молекули пігментів – збирачів енергії світла та реакційні центри, перевищує площу листка в $3 \cdot 10^4$ разів.

Зрозуміло, що при такій розвиненій поверхні листя й мембран, які перетворюють енергію в клітинах, створюються високі потенціальні можливості перетворення сонячної енергії в рослинних організмах. Враховуючи втрати енергії, зв'язані з міграцією електронів та енергії електронного збудження до реакційних центрів мембран хлоропластів, можна вважати, що квантовий вихід фотосинтезу на цьому рівні становить 88–96 %

Щороку рослинний світ земної кулі консервує у вигляді біомаси $3 \cdot 10^{21}$ Дж сонячної енергії, або близько 0,001 загальної енергії, випромінюваної світилом. Отже, ККД процесу в середньому для рослинного світу не перевищує 0,1 % енергії, що потрапляє на земну поверхню. У культурних посівах ККД звичайно має дещо вище значення, залежно від видових особливостей рослин і ступеня адекватності умов середовища потребам рослини. Теоретично максимальне значення ККД фотосинтезу становить 28 % [6]. Посіви сільськогосподарських рослин при повній забезпеченості вологою (за умов поливання) та елементами живлення використовують до 5–6 % сонячної радіації, придатної для фотосинтезу; за умов недостатнього забезпечення водою – лише 1–2 %.

Що ж може дати використання створеного рослинами енергетичного матеріалу? Як приклад розглянемо енергетичний баланс біомаси, продукуваної рослинництвом США. Про цей баланс писав Піментель із співавторами у статті “Біологічні перетворення сонячної енергії та енергетична політика США”. Щороку рослинність США фіксує $56,5 \cdot 10^{18}$ Дж сонячної енергії, а споживається за рахунок викопних горючих матеріалів – $74,3 \cdot 10^{18}$ Дж. Близько 2/3 фіксованої сонячної енергії зв'язано з сільськогосподарськими угіддями, решта засвоюється природною рослинністю. На

одержання врожаю сільськогосподарських культур витрачається $4,6 \cdot 10^{18}$ Дж, тоді як енергія, зосереджена в масі врожаю, становить $28,9 \cdot 10^{18}$ Дж.

Отже, нетто енергії в сільському господарстві дорівнює $24,3 \cdot 10^{18}$ Дж. Значить, енергія, яку одержують від вирощування сільськогосподарських рослин у США, становить 32 % щорічного споживання енергії від викопних паливних матеріалів. Розподіл біомаси, одержуваної в США, по основних джерелах наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Річна продукція рослинної біомаси в США

Угіддя	Площа, млн. га	Урожай, т/га сухої біомаси	Всього сухої біомаси, млн. т
Наземні			
Фермерські:			
Посіви на зерно	135	6	810
Посіви на зелений корм	21	4	84
Кормові культури	36	4	144
Трави	183	3	546
Ліси	45	4	180
Садиби, шляхи	11	0,1	1
Інші:			
Пасовища	117	2	234
Ліси	202	4	808
Міста, болота, пустелі	167	0,1	17
Всього	917	–	2824
Водні			
Озера та річки	132	3	396
Разом	1049	–	3220

Наведені приклади свідчать, що сучасний рівень продукування біомаси за енергетичним еквівалентом не компенсує загальних витрат енергії. Ситуація, яка склалася у зв'язку з енергетичною кризою, сприяла посиленню інтересу до вивчення фотосинтезу з позиції здійснення фітоенергетичного варіанта – одержання біомаси як джерела енергії.

У світовій науковій літературі з'являється дедалі більше праць, присвячених питанням про рослинну масу як безпосереднє джерело енергії. Так, вважається, що в майбутньому, безсумнівно, перспективним буде створення “нафтохімічних плантацій”, на яких вирощуватимуть рослини, здатні утворювати вторинні продукти метаболізму, близькі за складом до вуглеводнів нафтового походження (різноманітні смоли, латекси, ізопреноїди тощо). До таких належать, зокрема, рослини *Asclepias cursavica*, *Cryptostegia grandiflora*, *Euphorbia lathyus*, що ростуть у деяких штатах США.

За різними оцінками головними рослинами, що продукують “рослинну нафту”, стануть молочайні *Euphorbia lathyus*, *Euphorbia tirucalli*. Це – багаторічні рослини, що швидко відростають. Плантація подібних рослин може існувати до 20 років. За один рік з 1 га плантації молочаїв можна одержувати від 4 до 20 м³ замінників нафти. Зазначимо, що молочаї, як правило, ростуть на непридатних для сільськогосподарського використання землях. За розрахунками Кальвіна [8], вартість 1 м³ синтетичної нафти дорівнюватиме 19–62 доларам; якщо вихід “нафти” становитиме тільки 1,6 м³/га, то для задоволення сучасних потреб у бензині вистачить плантацій, площа яких дорівнюватиме штатові Арізона. Хоча створення таких плантацій вимагатиме значних капітало-вкладень, вони окупляться досить швидко, бо забезпечать стабільний вихід сировини для одержання синтетичного рідкого палива.

Розглянемо деякі схеми нетрадиційних технологій вирощування біомаси. Піментель [8] розглядає перспективи культивування для енергетичних цілей деяких дерев і чагарників. Для північніших зон заслуговують на увагу насамперед тополі та явори, бо саме ці види деревних порід відзначаються швидким ростом. З плантації вказаних дерев за 2–3 роки можна зібрати близько 6 т біомаси з гектара. Енергетично ця маса відповідає $93,7 \cdot 10^9$ Дж. За відрахуванням витрат на добриво, збирання й вивезення рослинної маси залишається близько $87,05 \cdot 10^9$ Дж. Щоб забезпечити теплову електростанцію потужністю 100 МВт, потрібно мати площу посадки цих дерев 75,5 га, якщо ж урожай деревини збирати кожні два роки, то 154 га.

Особливі надії з погляду фітоенергетичного варіанта покладають на рослини тропічної і субтропічної смуг, де рослинність характеризується швидким нагромадженням біомаси високої калорійності. До таких рослин належать цукрова тростина, африканське просо (*Pennisetum Rich*), тростяне просо (*P. glaucum*), кукурудза, касава тощо. Деякі водні рослини, приміром водний гіацинт (*Salvinia moles*), здатні утворювати біомасу в кількості 10–15 т/га, яка засмічує річки, канали, озера. Останнім часом водний гіацинт використовують як корм для худоби. В морях велику кількість біомаси утворюють бурі й зелені водорості – макрофіти.

У табл. 2 наведено дані щодо продуктивності найпоширеніших культурних рослин.

Таблиця 2

Продуктивність деяких високоврожайних культур

Вид рослини	Місце вирощування	Рослинна маса, т·га ⁻¹
Кукурудза	Англія	88
Кукурудза	США	145
Цукрові буряки	Англія	112
Райграс	Англія	102
Цукрова тростина	Гаваї	135
Люцерна	США	84
Суданська трава	США	186
Борщовик Сосновського	Україна, Одеська обл.	142
Сильфія	Україна, Одеська обл.	136
Сильфія	Україна, Івано-Франківська обл.	115
Окопник шаршавий	Україна, Івано-Франківська обл.	99
Редька олійна	Україна, Івано-Франківська обл.	40

Наявність у флорі не тільки тропічного, але й помірного клімату рослин, здатних за короткий вегетаційний період утворювати велику вегетативну масу, свідчить про те, що потенціальні можливості рослинного світу ще далекі від повного використання. У зв'язку з цим потрібно згадати про такі рослини помірного клімату, як борщовики (*Heracleum*), гігантський злак арундо (*Arundo donax*), сильфія (*Sylphium*). Серед рослин, які давно введені в культуру, заслуговують на увагу такі продуценти біомаси, як сорго, топінамбур, редька олійна, інші хрестоцвіті. Ці рослини з великим успіхом вивчають в Центральному республіканському ботанічному саду.

Більшість згаданих рослин має досить великий ареал поширення (скажімо, борщовики). Арундо – теплолюбна рослина, але невибаглива до ґрунтів і може рости на болотяних чи дуже засолених ґрунтах у степових та напівстепових районах України. Очевидно, цю культуру можна з успіхом вирощувати в Кримській області, причорноморських степах, у Закарпатті, Молдавії [7].

Отже, чимало відомих рослин, які з тих чи інших причин не вирощують в належному обсязі, заслуговують на переоцінення під кутом зору одержання біомаси з цінними технологічними властивостями.

Впровадження нових, нетрадиційних рослин з метою одержання максимально можливої кількості органічної маси різноманітного призначення необхідно поєднувати з окультуренням і використанням малородючих ґрунтів, не придатних для вирощування зернових, бобових і городніх рослин або з якихось причин не освоєваних сільським господарством.

Так, у нашій республіці значні площі пісків, солонців і солончаків зосереджені в областях з великою кількістю сонячних днів (Херсонська, Кримська, Луганська). Доцільно було б детальніше вивчити можливості цих площ для вирощування нетрадиційних, нових видів рослин.

Разом з тим необхідно здійснити відповідні пошуки в напрямі інтенсифікації вирощування таких культур, як люцерна та інші багаторічні бобові трави, які можуть бути важливим джерелом листового протеїну. За умов інтенсивного фотосинтезу в атмосфері, збагаченій вуглекислотою, на площах під плівкою суха зелена маса люцерни містить до 24 % білка, а врожай досягає 200 т/га в рік [8].

Повнота поглинання сонячної енергії рослинністю залежить від того, скільки часу протягом року ґрунт вкритий розвиненою листовою поверхнею. Тому великого значення набувають сумісні посіви, поживні культури такого типу, як у зеленому конвеєрі кормових сівозмін. Це також важливий напрям у селекції нових перспективних сільськогосподарських культур.

Вирішення проблеми одержання біомаси, органічної речовини допоможе також забезпечити сировиною виробництво паперу; деякі трав'янисті або швидкоростучі дерев'янисті рослини потрібно розглядати як джерело целюлози, замітники деревини лісових порід. Екологічне значення лісів таке велике, що їх ресурси необхідно витратити з максимальною ощадливістю. Очевидно, нові злаки, волокнисті рослини при введенні в культуру вимагають оцінювання якості їх целюлози та ступеня лігніфікації.

Одночасно з пошуком оптимальних способів вирощування біомаси в умовах польової культури варто звернути увагу на розроблення інтенсивніших методів культивування окремих рослин, зокрема бобових, у районах з високою інсоляцією в умовах часткового захисту відповідними плівками.

Висновки. Показано широкі можливості використання енергії сонця для задоволення різних потреб народного господарства. Сонячна енергія є екологічно чистою, доступною і достатньо дешевою. Уже тепер розроблено низку технологій, що в умовах України дає змогу поширено застосовувати сонячну енергетику.

Аналіз різних методів використання сонячної енергії підкреслює їх високу ефективність.

1. Бринкворт Б.Д. *Солнечная энергия для человека.* – М.: Мир, 1976. – 283 с. 2. Дверняков В.С. *Солнце – жизнь, энергия.* – К., 1996, 156 с. 3. Казаков Г.В. *Принципы совершенствования гелио-архитектуры.* Львов: Світ, 1990. – 150 с. 4. Мак-Вейг Д. *Применение солнечной энергии.* – М., 1981. – 147 с. 5. Рей Д., Макмайкл Д. *Тепловые насосы.* – М., Энергоиздат, 1982. – 218 с. 6. Ванькович Р. *Комфорт від сонця – реальність у Львові // Ринок інсталяцій.* – 2005. – № 11. – С. 22–23. 7. Гродзінський Д. *Фотосинтез, біомаса і проблеми енергетики // Вісн. академії УРСР.* – 1986. – № 1. – С. 18–25. 8. Calvin M. *Hydrocarbons from plants: Analytical methods and observations // Naturwissenschaft.* – 1980. – № 11. – P. 523–533.