

в Украине наукоемкой технологии и производства сотовых заполнителей и конструкций на их основе для различных отраслей промышленности // Технологические системы. — 1999. — 2. — С. 16—18.

10. Сливинский В. И., Прегат В. В., Ткаченко Г. В. Сотовые заполнители. Классификация, применение, расчет физико-механических характеристик. — К.: ЦМТИ «Поиск», 1990. — 43 с.
11. Сливинский В. И., Ткаченко Г. В., Колоскова А. Н. Объективные предпосылки эффективного применения сотовых конструкций // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского (ХАИ). — Харьков, 2001. — Вып. 25(2). — С. 109—115.

DESIGNING OF TRIZONAL PANELS WITH HONEYCOMB TAKING INTO ACCOUNT THEIR MANUFACTURING ERRORS

A. N. Koloskova

The trizonal designs with honeycomb filler are widely applied now in the aircraft and spacecraft manufacturing. The opportunities of the account at the designing such designs of the technological errors of their manufacturing are investigated. The method of tolerances optimization on the manufacturing of trizonal panel honeycomb filler with ensuring of the given design carrying ability is offered. The calculations results of the optimum tolerances for combined loading by compression and shift are submitted.

УДК 621.3

УТОЧНЕННЯ НАПРЯМКІВ РОЗРОБКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

© Л. В. Накашидзе, Г. І. Зарівняк, С. О. Митрохов

Науково-дослідний інститут енергетики Дніпропетровського національного університету

Розглянуто умови добору режиму роботи фотоелектричних модулів з енергетичної та економічної точки зору.

Висока енергетична ефективність — важлива, але не визначальна вимога до системи перетворення енергії. Вирішальним показником вибору тієї або іншої системи перетворення сонячної енергії є вартість одиниці її потужності.

Зменшення вартості фотоелектричних систем (ФЕС) можна досягнути як здешевленням виробництва сонячних елементів і модулів, так і за рахунок використання концентраторів сонячного випромінювання. Застосування концентраторів дозволяє зменшити площу сонячних елементів (СЕ) та їхню кількість, проте підвищення температури і пов'язане з цим зниження коефіцієнта корисної дії сонячних елементів, наявність системи охолодження та орієнтації зменшує позитивний ефект використання концентрації. При проектуванні ФЕС підхід до вибору концентратора повинен бути диференційованим. Необхідно враховувати цілий ряд чинників, які впливають на енергетичні та економічні характеристики фотоелектричної станції: зменшення вимог до точності орієнтації на Сонце, узгодження характеру розподілу щільності опромінення приймача з конструкцією сонячних елементів; узгодження спектральних характеристик сонячних елементів із світловим потоком, розподіл щільності потоку, сконцентрованого у фокальній

площині, ККД концентратора та відбиту ним енергію. Проте остаточно все зводиться до економічної доцільності застосування концентратора з конкретним сонячним елементом. При ухваленні рішення про його використання в кожному конкретному випадку вибір з економічної точки зору типу концентратора є вирішальним.

Було розглянуто та проаналізовано характеристики концентраторів різних типів.

Параболіди (псевдопараболіди); дозволяють при варіюванні форми концентратора одержувати рівномірний або тороїдальний розподіл енергії у фокальній площині. При збільшенні коефіцієнта концентрації зростають вимоги до точності орієнтації системи на Сонце. Для цього типу концентраторів максимальна припустима неузгодженість дорівнює $\pm 2.5'$.

Лінзи Френеля лінійчаті (ЛФЛ); сучасні технології дозволяють одержувати ККД лінз 60...70 %. Використання ЛФЛ у складі оптичної системи дозволяє зменшити габарити модулів. ЛФЛ можна використовувати як для теплових, так і для комбінованих модулів. Припустимі кутові відхилення: поперечне $\pm 5^\circ$, поздовжнє $\pm 20^\circ$.

Лінзи Френеля кільцеві пластмасові (ЛФКП); дають високі концентрації при заданому розподілі

Таблиця 1. Розподіл втрат енергії в кремнієвих сонячних елементах при роботі в умовах АМ 1.5

Затінення контактною сіткою	4.0 %
Втрати на відбиття	2.0 %
Нефотоактивне поглинання	1.0 %
$h\nu < E_g$	18.8 %
$h\nu > E_g$	29.2 %
$\eta_Q = 0.90$	4.5 %
$E_g > qV_{oc}$	19.2 %
$ff = 0.78$	4.7 %
η_s	16.6 %

опромінення. Технологічні. Припустимі кутові відхилення $\pm 15^\circ$.

Фокуси параболоторичні; припустимі кути відхилення $\pm 10^\circ$, дозволяють частково концентрувати розсіяну складову сонячної радіації. Їхній недолік — збільшення нерівномірності освітленості сонячних елементів при збільшенні кута неузгодженості.

Призмokonи; відносяться до розряду низькопотенційних концентраторів. Їхніми перевагами є компактність і можливість використання частини розсіяного випромінювання. Припустимі кутові відхилення $\pm 3^\circ$. Недолік призмokonів — великі світловтрати у матеріалі призми і невисокий оптичний ККД.

Маса і габарити ФЕС з будь-яким із перелічених вище типів концентраторів характеризується коефіцієнтом корисної дії $\eta_{\text{сн}}$, який визначається геометричними та оптико-електричними параметрами елементів системи прийому енергії і розраховується як відношення корисної потужності, що надходить від концентратора до СЕ, до потужності, яку сприймає робоча поверхня концентратора сонячно-го випромінювання.

Основні складові при енергетичному аналізі концентруючої системи такі: потужність прямої сонячної радіації, що надходить на поверхню концентратора; потужність, що потрапила на СЕ; енергія, відбита концентратором. Всі ці параметри враховуються основним енергетичним показником концентратора сонячного випромінювання — коефіцієнтом концентрації, або концентруючою спроможністю K .

При проходженні потоку випромінювання через концентруючу систему можливі такі втрати: відбиття при заломленні; поглинання при відбитті від металевих поверхонь; розсіювання усередині матеріалу концентратора. Коефіцієнти відбиття ρ , поглинання α і пропускання τ оцінюються як:

$$\rho = \Phi_{\text{ep}} / \Phi_e; \quad \alpha = \Phi_{\text{ea}} / \Phi_e; \quad \tau = \Phi_{\text{et}} / \Phi_e.$$

де Φ_{ep} , Φ_{ea} , Φ_{et} — відповідно відбитий, поглинений і той, що пройшов через концентруючу систему, потоки випромінювання; Φ_e — потік випромінювання, що надійшов у концентруючу систему.

Втрати енергії властиві і сонячним елементам. Їх можна розділити на такі основні складові (табл. 1): $h\nu > E_g$ — термалізація (передача енергії решітці) гарячих носіїв заряду з енергією поблизу краю відповідної зони; $h\nu < E_g$ — проходження через елемент фотонів низьких енергій, що не супроводжується генерацією електронно-діркових пар; η_Q — неповне збирання фотогенерованих носіїв заряду; $E_g > qV_{oc}$ — рекомбінаційні втрати носіїв заряду в переході, обумовлені діодними параметрами; ff — втрати потужності в діоді при прямій напрузі зміщення; R_s , R_p — омічні втрати потужності на послідовному та шунтуючому опорах (звичайно враховуються в ff); втрати на відбиття — відбиття світла від фотосприймаючих поверхонь; затінення поверхні контактною сіткою; поглинання світла просвітляючим покриттям, дефектами та ін. (нефотоактивне поглинання).

Аналіз розподілу енергетичних втрат у сонячних елементах звичайного типу показує, що сумарні втрати складають більше половини енергії яка падає на елемент. Це означає, що звичайні сонячні елементи з характерними для них великими втратами енергії непридатні для роботи в умовах високої інтенсивності опромінення. Крім цього, при високій інтенсивності опромінення ККД перетворення енергії знижується під впливом ефектів, що спостерігаються при високому рівні інжекції носіїв. Це вимагає розробки нових конструкцій сонячних елементів, які зберігають високий ККД при великій щільності світлового потоку та підвищеній температурі. У вище зазначених умовах прийнятне застосування тільки дорогих і складних у виробництві каскадних СЕ.

При розгляді економічної доцільності крім енергетичних чинників необхідно враховувати вартість СЕ, вартість систем концентрації і охолодження (вона зростає пропорційно збільшенню ступеня концентрації), вартість обслуговування. Об'єднати енергетичний і економічний аспекти цієї проблеми можна підійшовши з погляду синтезу цих понять або застосувавши ексергетичний метод.

Вартість пікової потужності фотоелектричного модуля запропоновано визначати з виразу

$$C_m = \frac{1}{E_0 \eta_{\text{сн}}} \left(\left(\frac{a}{\pi K} C_{\text{сн}} + C_K \right) \frac{1}{\tau} + C_{\text{со}} + C_{\text{сист.ор}} + C_{\text{обсл}} \right). \quad (1)$$

Тут E_0 — величина сонячної радіації, Вт/м²; $\eta_{\text{сн}}$ —

Таблиця 2. Оцінки частки вартості концентраторів різних типів та сонячних елементів від загальної вартості фотоелектричного модуля

Тип концентратора	Вартість концентратора, %	Вартість СЕ, %
Параболоїд (псевдопараболоїд)	12...18	7...10
Лінзи Френеля лінійчаті	5...10	до 50
Лінзи Френеля кільцеві пластмасові	40...45	10...15
Параболоторичні фокони	20...30	40...45
Призмокони	20...30	до 50

ККД сонячного елемента, ω — коефіцієнт використання площі ФЕС; τ — коефіцієнт світлопропускання, K — коефіцієнт концентрації сонячного випромінювання, a — коефіцієнт складності виготовлення (збирання) модулів; $C_{co} = C_{co0} + b \ln K$ — вартість системи орієнтації, грн/м², де C_{co0} — вартість елементів системи охолодження фотоелектричного модуля планарного типу; b — коефіцієнт, який враховує тип модуля з концентратором і продуктивність його системи охолодження; $C_{сист.ор.}$ — вартість системи орієнтації, грн/м²; при збільшенні коефіцієнта концентрації вартість системи орієнтації збільшується, оскільки зростають вимоги до точності орієнтації; $C_{обсл.} = C_{обсл.0} + dC_{co} + mC_{сист.ор.}$ — вартість обслуговування, грн/м², $C_{обсл.0}$ — вартість обслуговування планарного модуля; d — коефіцієнт, який враховує складність системи охолодження; m — коефіцієнт, який враховує складність системи орієнтації.

Здешевлення пікової потужності ФЕС значною мірою залежить від того, наскільки можна підвищити ККД сонячного елемента і коефіцієнт світлопропускання концентруючої системи і менше — від зміни коефіцієнта концентрації. Але значне збільшення ступеня концентрації призводить до серйозних проблем, пов'язаних: з виробництвом у необхідних обсягах дорогих високоякісних СЕ, яке супроводжується конструкторсько-технологічними труднощами; з виробництвом відповідних концентруючих систем та засобів надточної орієнтації та ін. Ці чинники призводять до подорожчання обслуговування модуля, збільшення вартості системи охолодження.

В даний час через нестабільність цін в Україні, відсутність налагодженого виробництва СЕ та концентраторів провести докладний економічний аналіз проблематично. Тому проведено орієнтовний аналіз вартості модулів із різноманітними типами концентраторів. У табл. 2 наводяться оцінки частки вартості концентраторів різних типів та сонячних елементів від загальної вартості фотоелектричного модуля.

— вартість концентратора типу параболюїд (псевдопараболюїд) складе 12...18 % від вартості. Вартість СЕ в таких модулях складе 7...10 %;

— вартість концентраторів виду лінз Френеля лінійчатих складе 5...10 % від вартості фотоелектричного модуля, а вартість СЕ — до 50 %;

— вартість концентраторів у вигляді лінз Френеля кільцевих пластмасових складе 40...45 % від вартості фотоелектричного модуля. Вартість СЕ в модулях такого типу — 10...15 %;

— вартість концентраторів типу параболоторичних фоконів щодо вартості модуля складе 20...30 %. Вартість СЕ, які входять до складу модуля, досягне 40...45 %.

— вартість концентраторів у вигляді призмоконів щодо вартості фотоелектричного модуля складе 20...30 %. Вартість СЕ які входять до складу модуля — до 50 %.

Остаточо обґрунтувати використання того чи іншого типу концентраторів з відповідними сонячними елементами можна на основі конкретного призначення фотоелектричної станції.

1. Тверьянович Э. В. // Гелиотехника.—1989.—3.
2. Тверьянович Э. В., Красина Е. А., Романкевич А. В. // Гелиотехника.—1990.—2.
3. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: Теория и эксперимент: Пер. с англ. / Под ред. М. М. Колтуна. — М.: Энергоатомиздат, 1987.

SPECIFICATION OF PHOTO-ELECTRIC SYSTEMS TRENDS DEVELOPMENT

L. V. Nakashidze, G. I. Zaryvniak, S. A. Mitrokhov

The conditions of optimum mode selection of the photo-electric systems from the power and economic point of view are considered in this article.