

1. Перкас М. Д., Кардонский В. М. Высокопрочные мартенситостареющие стали. — М.: Металлургия, 1971.—225 с.
2. Бодяко М. Н., Астапчик С. А. Мартенситостареющие стали. — Минск: Наука и техника, 1976.—248 с.
3. Бирман С. Р. Экономно легированные мартенситостареющие стали. — М.: Металлургия, 1974.—208 с.
4. Еднорал А. Ф., Кардонский В. М., Перкас М. Д. Структурные изменения при старении безуглеродистого железоникелевого мартенсита. — М: Наука, 1972.—С. 63—79.

STRUCTURE CHANGING DURING OF MARAGING-TYPE STEELS

N. E. Kalinina, A. V. Deinega

Heat treatment and doping hardening methods of maraging-type steels are estimated. The mechanism of homogenic and heterogenic burning of germinating intermetallic phases during aging is presented. Phase aging of multicomponent alloys of the Fe-Ni-Cr-Co-Mo system is suggested in this article.

УДК 629.78., 620.9

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОПРИЕМНИКА-АККУМУЛЯТОРА КОСМИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ, РАБОТАЮЩЕЙ ПО ЦИКЛУ БРАЙТОНА

© Л. И. Кныш, В. А. Габринец

Науково-дослідний інститут енергетики Дніпропетровського національного університету

Проводиться оптимізація основних параметрів системи «концентратор — приймач» космічної сонячної енергетичної установки, що діє за замкнутим газотурбінним циклом Брайтона. Теплоприймач конструктивно суміщено з теплоаккумулятором, принцип роботи якого оснований на використанні прихованого тепла фазового переходу «тверде тіло—рідина». В основу оптимізації покладено величину геометричного ККД концентратора. За заданими параметрами циклу і величиною корисної електричної потужності визначаються ККД системи «дзеркало—приймач», оптимальний радіус концентратора і апертурного отвору теплоприймача-аккумулятора.

Потребность в электрической энергии для космических аппаратов непрерывно возрастает. В настоящее время космическая энергетика в основном базируется на использовании фотоэлектрических преобразователей солнечной энергии (ФЭП). Однако большие перспективы для использования в космосе имеют энергетические установки с машинным преобразованием тепла. В частности установки, работающие по замкнутому газотурбинному циклу Брайтона. К преимуществам этих установок можно отнести:

- более высокий (20—25 %) КПД по сравнению с КПД ФЭП (14—19 %);
- неуязвимость по отношению к радиации;
- возможность получения легко регулируемого тока высокого напряжения;
- практически неограниченная мощность;
- хорошая сочетаемость с любым источником энергии.

В качестве первичного источника энергии может выступать энергия концентрированного солнечного излучения как наиболее экологически чистая, без-

опасная, имеющая неограниченный ресурс.

В настоящей работе рассмотрен полостной приемник лучистой энергии, совмещенный с тепловым аккумулятором. Такой приемник предназначен для поглощения концентрированного солнечного излучения. Концентрация солнечного излучения осуществляется с помощью параболического концентратора. Важнейшей задачей разработки таких систем является обеспечение требуемой температуры нагрева рабочего тела и теплоаккумулирующего материала (ТАМ) при минимальных потерях энергии.

Отраженные от концентратора лучи, плотность которых увеличивается во много раз, попадают в приемник тепла, помещенный в фокальной плоскости концентратора. Для солнечных высокотемпературных космических энергетических установок (КСЭУ) наиболее предпочтительной схемой является параболаид вращения в качестве зеркала и полость, имитирующая абсолютно черное тело, — в качестве приемника энергии.

При всех положительных качествах, которые имеет энергия Солнца как источник первичного

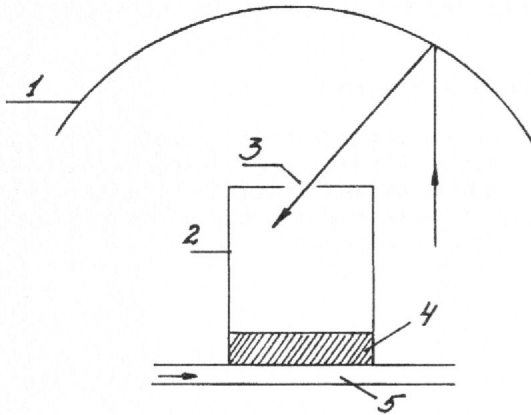


Рис. 1. Схема действия ТА

тепла для энергетических установок, у нее есть существенный недостаток — периодичность поступления. Таким образом, для поддержания постоянной мощности в цикле на теневом участке орбиты, необходимо запастись энергией, что влечет за собой использование специальных устройств — теплоаккумуляторов (ТА). В основе действия ТА могут быть положены самые разнообразные схемы. В настоящей работе рассмотрены аккумуляторы с использованием теплоты фазового перехода «твердое тело — жидкость».

В схеме, изображенной на рис. 1, теплоприемник и теплоаккумулятор конструктивно совмещены. Слой ТАМ 4 размещен над каналом, в котором течет теплоноситель 5. Лучистая энергия от концентратора 1 попадает через апертурное отверстие 3 в полость теплоприемника 2. Многократно отражаясь, часть энергии идет на нагрев теплоносителя в щелевом канале, а часть идет на расплавление ТАМ. Это соответствует режиму зарядки ТА. На режиме разрядки накопленная в расплаве энергия используется на теневом участке орбиты для поддержания заданной тепловой мощности цикла. Отсюда следует, что важным моментом является выбор типа ТАМ и его количества. Тип ТАМ выбирается с учетом температурного уровня данной газотурбинной установки, то есть температура плавления ТАМ должна быть близка к рабочей температуре теплоносителя в цикле. Для рассматриваемой КСЭУ наиболее предпочтительным веществом является фторид лития LiF, имеющий температуру плавления $T_{\text{ф}} = 1120$ К.

Рабочим телом установки мощностью 3 кВт выбрана смесь инертных газов гелия и ксенона, которая по своим теплофизическим характеристикам наиболее подходит для установок такого типа.

Целью работы является определение оптимальных геометрических размеров концентратора, апер-

турного отверстия ТПА, а также КПД системы «зеркало-приемник» ($\eta_{\text{з-пр}}$), зная значение полезной электрической мощности ($N_{\text{эл}}$), параметры газотурбинного цикла и теплофизические свойства теплоносителя. Эта задача решалась в два этапа.

На первом этапе предполагалось отсутствие слоя ТАМ, то есть вся энергия, полученная от концентратора, идет на нагрев теплоносителя, с учетом потерь через апертурное отверстие теплоприемника

$$N_T = \pi R_z^2 E_0 \alpha_z \eta_r - \sigma T_{\text{ф}}^4 \pi R_{\text{пр}}^2, \quad (1)$$

где N_T — полезная тепловая мощность цикла, Вт; R_z , $R_{\text{пр}}$ — радиусы зеркала и апертуры приемника соответственно, м; E_0 — солнечная постоянная, Вт/м²; α_z — коэффициент зеркального отражения концентратора; $T_{\text{ф}}$ — температура внутренней поверхности ТПА, принятая равной температуре фазового перехода ТАМ, К; σ — постоянная Стефана — Больцмана; η_r — геометрический КПД зеркала [4].

В основу оптимизации положен геометрический КПД, который, если следовать методике Р. Апариси [1], можно представить следующей зависимостью:

$$\eta_r = 1 - \exp(-C R_{\text{пр}}^2 / R_z^2), \quad (2)$$

где $C = 3.283 \cdot 10^3 h^2 \sin^2 u_k$ — безразмерный коэффициент, учитывающий точность изготовления концентратора; h — мера точности, определяемая в теории ошибок; u_k — угол раскрытия концентратора (рис. 2).

В связи с необходимостью сборки зеркал после вывода на орбиту они не могут иметь высокую

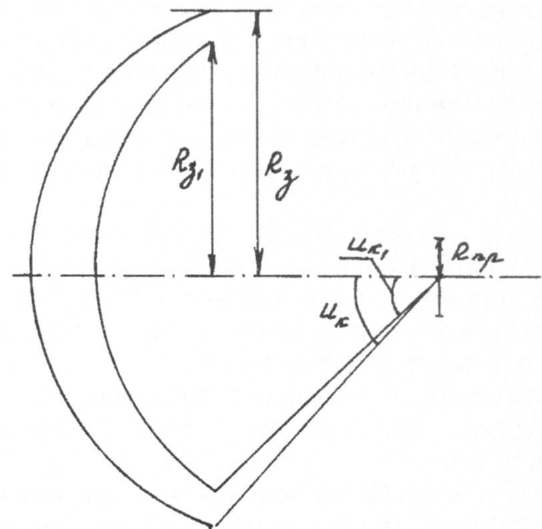


Рис. 2. К вычислению геометрического КПД

точность. В качестве первого приближения выбирается $h = 1$ [3]. Идеальные параболические концентраторы, например стеклянные прожекторные зеркала, имеют $h \approx 3.6-4$.

Оптимальный угол раскрытия для идеального параболического концентратора $u_{кл} = 45^\circ$. На практике реальная отражающая поверхность имеет локальные отклонения от точной конфигурации. Учитывая это обстоятельство, Д. Силверн [2] установил, что $u_{кл\text{опт}}$ лежит в пределах $50-60^\circ$.

Выбирая $u_{кл\text{опт}} = 50^\circ$ и переходя к относительному радиусу приемника $R_0 = R_{пр}/R_3$, запишем функциональную зависимость

$$\eta_{з-пр}(R_0) = \frac{N_T}{N_C} = \alpha_3 [1 - \exp(-CR_0^2)] - \frac{\sigma}{E_0} T_\Phi^4 R_0^2, \quad (3)$$

где N_C — вся лучистая энергия, падающая на концентратор, Вт.

Для определения $R_{0\text{опт}}$ продифференцируем (3) и полученное уравнение приравняем нулю:

$$\frac{d\eta_{з-пр}}{dR_0} = \frac{d}{dR_0} \left[\alpha_3 (1 - e^{-CR_0^2}) - \frac{\sigma}{E_0} T_\Phi^4 R_0^2 \right] = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (4) находим $R_{0\text{опт}}$, и после подстановки найденного значения в (3) определяется $\eta_{з-пр}$, η_Γ . Зная эти величины, легко определить количество энергии Солнца, которая падает на концентратор N_C , а следовательно, и площадь концентратора F_K и R_3 .

Следует отметить, что все приведенные выше соотношения не учитывали необходимость теплового аккумулирования энергии, которую необходимо запасти для дальнейшего использования на теневой стороне орбиты.

Следующий этап — расчет системы с учетом теплоты, необходимой для аккумулирования. Для этого, во-первых, необходимо найти коэффициент F^1 , показывающий, во сколько раз необходимо увеличить площадь концентратора, чтобы учесть теплоту, необходимую для расплавления LiF [2]

$$F^1 = 1 + \frac{\tau_{T\max}}{1 - \tau_{T\max}}, \quad (5)$$

где

$$\tau_{T\max} = \frac{\tau_{T\max}^1}{\tau_0} = \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{R}{R+H}$$

— максимальное за период относительное время пребывания аппарата в тени планеты; τ_0 — период круговой орбиты, с; $\tau_{T\max}^1$ — абсолютное максималь-

ное время пребывания в тени, с; R — радиус Земли, км; H — высота орбиты, км.

Во-вторых, при увеличении площади концентратора изменяется и угол его раскрытия $u_{кл}$. После уточнения угла раскрытия u_K еще раз проводятся рассуждения, описанные выше, но уже в противоположном направлении: по найденному значению площади концентратора F_K находится лучистая энергия, падающая на зеркало $N_C = F_K E_0$. А по уточненному значению угла раскрытия, находится геометрический КПД η_Γ . Подставляя найденные значения в формулу (4), можно найти $R_{0\text{опт}}$ и оптимальный радиус апертурного отверстия ТПА $R_{пр\text{опт}}$. Воспользовавшись формулой (3), находим КПД системы «зеркало—приемник» с учетом теплоты, необходимой для аккумулирования.

По данной методике составлена программа, в которой есть возможность легко варьировать значениями полезной электрической мощности цикла $N_{эл}$, параметрами цикла, теплофизическими свойствами ТАМ и теплоносителя, а также высотой орбиты, а следовательно, и временем пребывания установки в тени Земли.

На рис. 3 изображена зависимость полезной электрической мощности от реальной площади концентратора, а также от радиуса апертурного отвер-

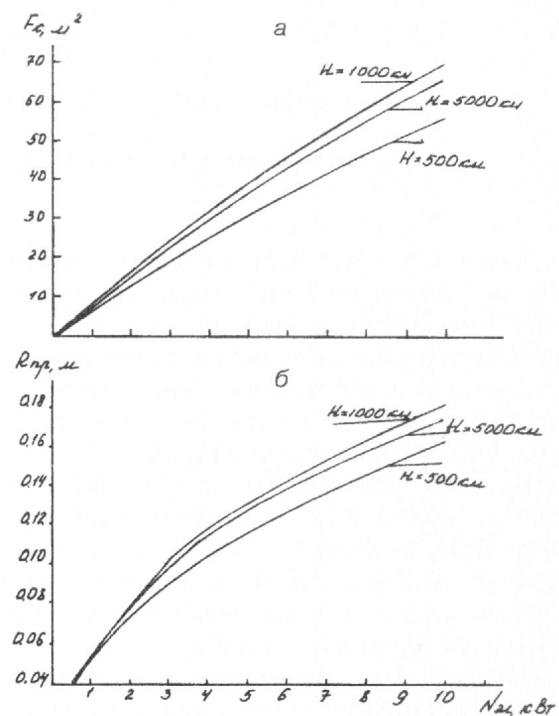


Рис. 3. Зависимость полезной электрической мощности цикла при орбитах различной высоты H : а — от реальной площади концентратора, б — от радиуса апертурного отверстия ТПА

ствия ТПА при различной высоте орбиты. Анализ графиков показывает, что при мощности до 4—5 кВт зависимость высоты орбиты от геометрических размеров системы незначительна. Для более высоких орбит эта зависимость усиливается.

Необходимо отметить, что на высоте порядка 900—1000 км геометрические размеры системы «зеркало — приемник» принимают свои максимальные значения, после чего с удалением орбиты они уменьшаются. Проводить расчеты по этой методике для $H > 10000$ км нецелесообразно, так как в этом случае необходимо учитывать нахождение аппарата в полутени планеты.

Знание оптимальных геометрических размеров системы «зеркало—приемник» крайне важно, прежде всего в связи с массогабаритными ограничениями, а также в связи с высокими значениями потерь через апертурное отверстие приемника.

1. Баум В. А., Апариси Р. Р., Тепляков Д. И. Об объективной оценке точности оптических систем солнечных установок // Теплоэнергетика.—1960.—Вып. 2.—С. 148—152.

2. Грилихес В. А., Матвеев В. М., Полуэктов В. П. Солнечные высокотемпературные источники тепла для космических аппаратов. — М.: Машиностроение, 1975.—248 с.
3. Кудрин О. И. Солнечные высокотемпературные космические электродвигательные установки. — М.: Машиностроение, 1987.—248 с.
4. Фаворский О. Н., Фишгойт В. В., Янговский Е. И. Основы теории космических электродвигательных установок. — М.: Высш. шк., 1970.—485 с.

OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF RECEIVER FOR BRAYTON CYCLE SPACE SOLAR POWER SYSTEM

L. I. Knysh, V. A. Gabrinets

Optimization of geometrical parameters of receiver for Brayton cycle Space Solar power system is considered. A thermal energy storage module with a phase-change material combines with a receiver of solar energy. Geometrical performance coefficient is considered as main value. Performance coefficient of device concentration and reception, radius of reflector and radius of aperture are determined in this paper too, if the parameters of cycle and the value of useful electric power is known.

УДК 621.791

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ КОЛЕЦ ТОРЦОВЫХ УПЛОТНЕНИЙ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

© А. В. Кулик

Дніпропетровський національний університет

Розглядається технологія дифузійного зварювання ущільнювальних кілець із пірографіту та сталі.

Как известно [1, 2], узел торцового уплотнения состоит из уплотнительного кольца, соединенного с обоймой и контркольца (рис. 1). Торцовые поверхности уплотнительного кольца и контркольца образуют плоскую пару трения. Зазор между ними определяет величину утечки газа или жидкости, находящихся в машине под давлением.

В разрабатываемом торцовом уплотнении уплотнительное кольцо (рис. 2), выполненное из пирографита ПГИ, необходимо качественно соединить с заготовкой ползуна (обоймы), выполненного из бронзового сплава, с применением промежуточной прокладки из хромоникелевой стали.

В зависимости от назначения и рабочих условий эксплуатации графит используют совместно с различными металлическими материалами, отличающимися по составам и физико-химическим свойствам. Поэтому в каждом конкретном случае при

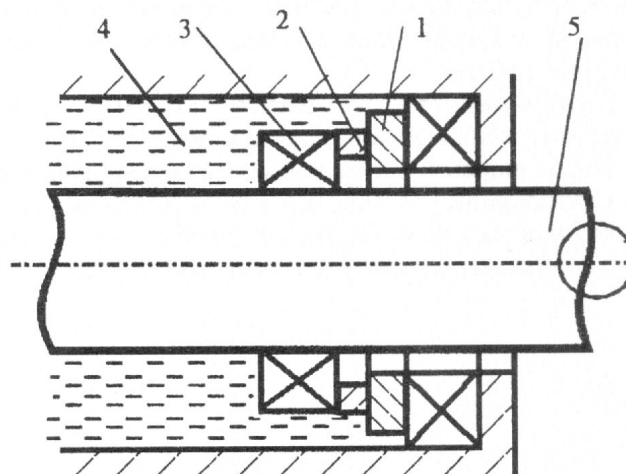


Рис. 1. Схема торцового уплотнения: 1 — контркольцо; 2 — уплотнительное кольцо; 3 — обойма; 4 — рабочая среда; 5 — вал