УДК 662.997:535.8

К.А.Бокоев – ст.преп.ОшТУ
K.A.Bokoev – senior teacher OshTU

КОНЦЕНТРАЦИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ФОКУСЕ НЕТОЧНОГО ПАРАБОЛОИДНОГО ЗЕРКАЛА

Проведен анализ различных методик учета неточностей геометрии на концентрацию в фокусе параболоидного зеркала. Показано, что методика предложенные Захидовым Р.А. и Клычевым Ш.И. дают близкие результаты, формула Уинстона справедлива только для очень точных и очень неточных зеркал.

Ключевые слова: концентрация, фокус, солнечное излучение, параболоидное зеркало, солнечные печи.

CONCENTRATION OF SOLAR RADIATION IN THE FOCUS OF AN INACCURATE PARABOLOIDAL MIRROR

An analysis of various methods for taking into account inaccuracies in the geometry of the concentration in the focus of a paraboloid mirror was carried out. It is shown that the method proposed by R.A. Zakhidov and Sh.I. Klychev gives close results, Winston's formula is valid only for very accurate and very inaccurate mirrors.

Key words: concentration, focus, solar radiation, paraboloid mirror, solar furnaces.

Одна из основных характеристик концентраторов солнечных печей (обычно это параболоидные зеркала) это концентрация солнечного излучения в фокусе /1-3/. На практике концентраторы имеют неточности геометрии, в связи с чем, актуальной является задача учета неточностей в численных расчетах концентрации. В настоящее время существуют различные подходы к учету неточностей /1-3/. Сравнительный анализ этих подходов для концентрации в фокусе параболоидного концентратора и является целью настоящей работы.

Основным уравнением для определения характеристик концентрации в общем случае является поверхностный интеграл облученности /2/.

$$E_A = \int_S R_Z * B(\mathbf{a}) * (\mathbf{n_A} * \mathbf{a}) * d\omega \qquad (1)$$

где (см. рис.1) E_A – плотность потока в некоторой точке А поля концентрации (на элементарной площадке dS_A с центром в точке А /4/); R_Z – коэффициент зеркального отражения (КЗО) /5/ и S – площадь концентратора; B(**a**)- яркость солнечного луча в направлении единичного вектора **a** (**a** =**MA**/ρ), dω - элементарный телесный угол с центром в точке А /6/; $\mathbf{n_A}$ – единичный вектор нормали площадки dS_A; $\mathbf{n_A}*\mathbf{a}$ – скалярное произведение $\mathbf{n_A}$ на **a,** или проекция **a** на $\mathbf{n_A}$ /2,3/.

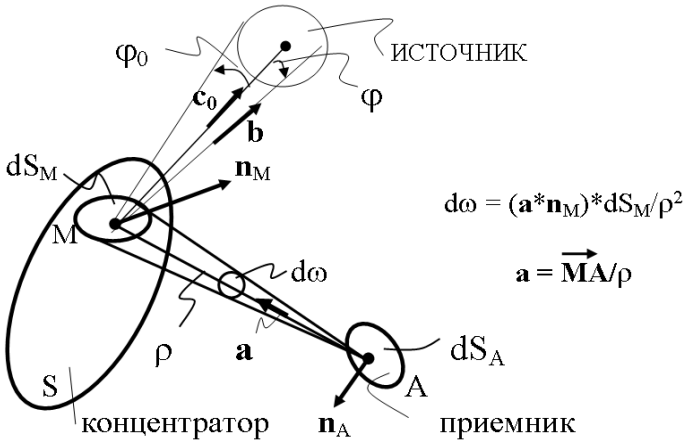

Рис.1. Схема хода лучей и параметры интеграла облученности.

Для случая, когда источник излучения Солнце, яркость описывают эмпирической формулой Жозе /7/.

$$B(\mathbf{a}) = B(\varphi) = B_m*[1 + 1.5641(1 - (\varphi/\varphi_0)^2)^{0.5}]/2.5641 \qquad (2)$$

где B_m - яркость в центре диска Солнца.

Схема численного решения (1) для случая точного параболоида дана в /2,3/. Особенности решения проявляются в учете неточностей параболоида (в общем случае это неточности составляющих её фацет и их юстировки), а также неточности слежения концентратора за Солнцем). На практике геометрия реальной концентрирующей поверхности неизвестна и в общем для решения задачи применяют следующие три основных подхода. В первом подходе /1/ задают расчетную геометрию концентрирующей поверхности

$$F(x, y, z, c) = 0 \qquad (3)$$

и неточности вводят в солнечный пучок - рассматривают эффективный солнечный пучок /1/ с угловой радиусом θ_S равным

$$\theta_S = \varphi_0 + 2\alpha_m \qquad (4)$$

где φ_0 – угловой радиус Солнца ($\varphi_0 \approx 16'$ ('- угл. мин.)); α_m – максимальная угловая неточность поверхности зеркала, коэффициент 2 - при отклонении нормали на угол α, луч отклоняется на 2α.

По второму способу /2/ также задают расчетную геометрию, и вводят некоторую эффективную яркость, зависящую от неточностей и положения точки в фокальной плоскости. В третьем способе /3/ также опираются на расчетную геометрию, а неточности вводят в виде отклонений реальной нормали от расчетной и считают, что отраженный пучок подобен падающему конусу Солнца.

Так как неточности α по поверхности концентратора неизвестны, то во всех трех подходах считают, что α случайная величина с известным законом распределения, обычно используют нормальный или равномерный случайные законы, которые характеризуются

при равномерном законе распределения

$$\alpha_m = \sigma\sqrt{3} \qquad (5)$$

где σ - среднеквадратическое отклонение

при нормальном законе распределения

$$\alpha_m = 3\sigma \qquad (6)$$

Первый подход достаточно прост и позволяет быстро определить концентрации. Во втором подходе, наиболее полном, сложность в том, кратность интеграла возрастает пропорционально числу неточностей. Третий, упрощенный подход позволяет исключить недостатки второго (имеется основной двукратный интеграл для плотности потока).

Рассмотрим результаты, которые дают эти подходы для концентрации в фокусе C_F неточного параболоида. В общем случае, под концентрацией понимают безразмерную плотность потока, равную

$$C_F = E_A / (E_0 * R_Z) \qquad (7)$$

где E_0 – плотность прямой части солнечного излучения.

Отметим, что для точки фокуса точного параболоида уравнение (1) допускает аналитическое решение /2/, или

$$E_A = R_Z * B_m * \pi * \sin^2 U_0 \qquad (8)$$

где U_0 – угол раскрытия параболоидного концентратора. Известно, что $E_0 = B_{cp} * \pi * \varphi_0^2$, где B_{cp} – некоторая средняя яркость диска Солнца, при этом из (2) следует, что $B_m = 1.255 * B_{cp}$, или точная формула для концентрация C_F в фокусе точного параболоида имеет вид

$$C_{Fid} = E_A / (E_0 * R_Z) = 1.255 * \sin^2 U_0 / \varphi_0^2 \qquad (9)$$

Для концентрации в фокусе неточного параболоида в /1/ предложена следующая зависимость

$$C_F = E_A / (E_0 * R_Z) = \sin^2 U_0 / \sin\theta_S^2 \qquad (10)$$

для случая точного параболоида $\theta_S = \varphi_0$ и равнояркого Солнца (10) совпадает с (9). По результатам численных исследований в /2/ для C_F неточного параболоида была предложена следующая аппроксимирующая зависимость

$$C_F = æ_i C_F^{ид} = C_F^{ид} \exp(-C_\sigma * \sigma_i^2) \qquad (11)$$

где коэффициент $C_\sigma = 9.2 * 10^{-3}$[1/угл.мин^2], σ_i [угл.мин.]- среднеквадратическая неточность. Сравнение этих формул приведено на рис. 2, где, кривая 1- численное решение (1) на основе подхода /3/, кривая 2- получаемая из (11) и кривая 3 - получаемая из (10).

Как видно, зависимость фокальной облученности (концентрации) от неточностей имеет сложный характер и, применение (10) для параболоидного концентратора в целом не приемлемо. Практически, выражение (10) справедливо только для очень точных и очень неточных концентраторов, т.е. работает в области неточностей не имеющих места в концентраторах солнечных печей.

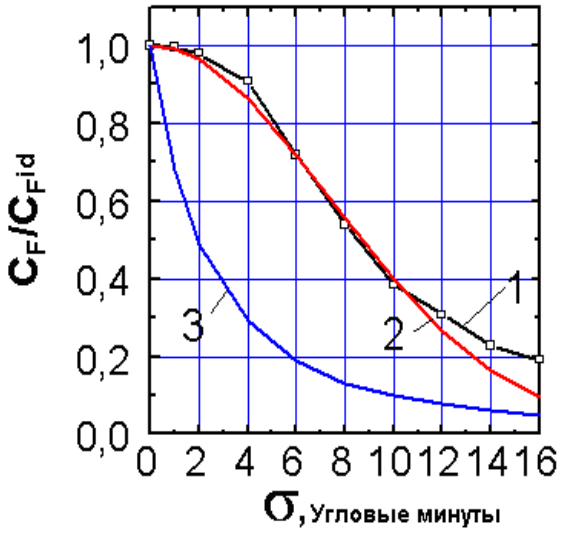

Рис.2. Отношение концентраций неточного C_F и точного C_{Fid} параболоидного концентратора в зависимости от неточностей σ.

Также можно видеть, что кривые 1 и 2 в общем достаточно близки и практически охватывают весь возможный диапазон неточностей солнечных концентраторов. Отметим, что значения σ порядка 8', являются границей допустимых неточностей концентраторов солнечных печей. Также отметим, что в нашей работе по анализу систем первичный -

вторичный концентратор /8/ именно относительно C_F нормированы концентрации двухзеркальных систем.

В заключении выражаю благодарность Исманжанову А.И. и Клычеву Ш.И. за полезные замечания и советы в ходе выполнения работы.

Литература:

1. Абдурахманов А.А. и др. Габаритный расчет концентраторов солнечных высокотемпературных установок (предварительный этап). Гелиотехника, 2003, №2, с54-59.
2. Исманжанов А.И. Оценка ресурса работоспособности высокотемпературных зеркал. Гелиотехника, 1996, №6, с37-41.
3. Гершун А.А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике, М-Л, Гостехиздат, 1958, 548с.
4. Жозе П. Распределение плотности энергии в фокальном изображении солнечной печи. в сб. Солнечные высокотемпературные печи, под ред. Баума В.А., ИЛ, Москва, 1960, с229-238.
5. Клычев Ш.И. Моделирование оптико-энергетических характеристик концентраторов солнечного излучения. Гелиотехника, 2002, № 3 с 59-63.
6. Клычев Ш.И., Исманжанов А.И., Бокоев К.А. и др. Сравнительные характеристики конуса и фокона как вторичных концентраторов. Гелиотехника, 2006, №4, с28-32.
7. Умаров Г.Я., Захидов Р.А., Вайнер А.А., Теория и расчет гелиотехнических концентрирующих систем. Ташкент, ФАН, 1977, 144с.
8. Winston, R. and Hinterberger, H. 1975. Sol. Energy, 17, 255.