

В то же время во всём мире идёт масштабная вырубка лесных массивов. Темпы обезлесения в Бразилии (Амазония – самый крупный поставщик кислорода свыше 35 тыс. кв. км в год, в Индонезии – 15, и т.д. потребление древесины в США 90 млн м³ в год, в России – 20 (трудно и медленно воспроизводимые лесные ресурсы!). Снижение общего количества кислорода в атмосфере является ударом по организмы жизни так же через факт уменьшения количества атмосферного озона O₃ образуется на определённых высотах из O₂ за счёт действия космических и других средств, и сам процесс его образования, на который расходуется энергия, приносящая вред живым организмам, является защитой в виде «озонового слоя».

Вышесказанное приводит к выводу о необходимости сохранения и расширения растительного покрова Земли, особенно лесов. Живая растущая древесная масса является не только генератором кислорода, но и аккумулятором теплоты, утилизатором некоторых промышленных выбросов, очистителем воздушного бассейна.

Технический прогресс и природопользование должны быть связаны критериями максимальной разумной пользы и минимальным нежелательным экологическим воздействием, для чего необходимо учитывать и изучать все значащие факторы.

В научно-исследовательской лаборатории ПУЛЬСАР кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского технического университета ведутся исследования по разработке новых энергоисточников с учётом минимизации вредного воздействия на окружающую среду. Разработанный и запатентованный парогазогенератор имеет высокие технические показатели, однако пульсирующее горение топлива сопровождается шумом и вибрациями. Поэтому особое внимание уделено этой проблеме. Этот аппарат можно применять не только в промышленности, но и в сельском хозяйстве, коммунальных предприятиях, т.к. он характеризуется отсутствием вредных выбросов, высоким КПД. Запатентовано также много разработок по ветро- и солнечной энергетике.

УДК 621.311.25

П.Ф. ЯНЧИЛИН, Л.Т. МОРОЗ

Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ФОРМЫ ГЕЛИОКОНЦЕНТРАТОРА

In article the mathematical description of the form of a helio-concentrator "ЛУЧ" is presented. The calculated geometrical parameters of a helio-concentrator are compared with received parameters for the ideal paraboloidal concentrator.

Для повышения эффективности существующих гелиоустановок используются сложные конструкции и дорогие материалы, это повышает срок окупаемости солнечных энергетических установок. Необходимо решение удешевления конструкции принципа действия, возведения и эксплуатации гелиоустановок для условий Республики Беларусь. В научно-исследовательской лаборатории «ПУЛЬСАР» БрГТУ под руководством д.т.н., профессора Северянина Виталия Степановича ведётся разработка над гелиоустановкой «ЛУЧ», основными особенностями которой являются простота конструкции гелиоконцентратора и ориентирование на Солнце механизмом слежения.

В работах [1, 2] показано, что принятую за основу концентратора форму параболоида требуется изменить так, чтобы упростить его конструкцию, процесс изготовления и эксплуатации. В ходе геометрических преобразований получаем новый вид концентратора, показанный на рисунке 1. Используя графоаналитический метод, основанный на геометрических построениях, будем отображать лучи, падающие и отраженные зеркалом. При этом используем закон зеркального отражения и будем рассматривать параллельный пучок лучей, распределение излучения в пучке по направлениям принимаем равномерным. Упрощать конструкцию будем расщеплением параболоида вращения на отдельные конусы [3]. Получаем, что концентратор представляет собой совокупность концентрических конусов. Каждый конус — это лента из листового материала, согнутая в виде усеченного конуса, внутренняя поверхность которой выполнена зеркальной. Угол образующей конуса к его оси выбираем таким, чтобы солнечный луч после отражения был направлен в фокус. Понятно, что все конуса имеют один и тот же фокус.

Концентраторы, у которых образующая отражающей поверхности является кривой второго порядка — окружностью, параболой, гиперболой и т.п. — относятся к группе сильноконцентрирующих систем. Идеальный параболоидный концентратор фокусирует параллельный пучок лучей в точку, что соответствует бесконечно большой степени концентрирования ($K_C \rightarrow \infty$). Геометрию параболоидного отражателя характеризуют двумя независимыми параметрами: диаметром концентратора D_K (или фокусным расстоянием f_K) и углом полуоткрытия U_K (или отношением D_K / f_K). Третий параметр всегда является зависимым и определяется из уравнения [4]:

$$D_K = \frac{4 \cdot f_K \cdot \sin U_K}{1 + \cos U_K} \quad (1)$$

Приведенные параметры показаны на рисунке 1, где индексы обозначают: п — для параболоидного концентратора, л — для концентратора «ЛУЧ».

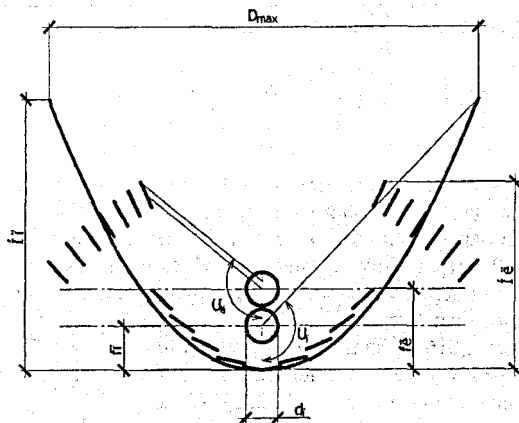


Рисунок 1 — Совмещение двух концентраторов и их основные размеры

Для нахождения основных параметров параболоидного концентратора и площадь отражающей поверхности концентратора (зеркала) $S_{нов.}$ воспользуемся известными формулами для параболы. Каноническое уравнение параболы в прямоугольной системе координат имеет вид:

$$y^2 = 2px, p > 0,$$

где p – фокальный параметр параболы, он равен расстоянию от фокуса до директрисы.

Поскольку каждая точка параболы равноудалена от фокуса и директрисы, то вершина тоже, поэтому она лежит между фокусом и директрисой на расстоянии p от обоих. Отсюда фокусное расстояние f_K , м:

$$f_K = \frac{p}{2}$$

Высота параболы h находится из соотношения:

$$h = \frac{R^2}{2p},$$

где R – радиус окружности, описываемой ветками параболы при вращении вокруг OY (параболоида), в плоскости перпендикулярной этой оси на расстоянии h от вершины параболы, м.

Площадь поверхности параболоида или площадь отражающей поверхности концентратора (зеркала) $S_{нов.}$ можно найти из уравнения:

$$S_{нов.} = \frac{2\pi}{3p} \cdot \left(\sqrt{(p^2 + R^2)^3} - p^3 \right)$$

Поставим задачу найти такой параметр параболы (и соответственно параболоида) p , при котором его площадь поверхности $S_{нов.}$ будет стремиться к минимуму. Для этого нужно взять производную от уравнения (6) и определить безусловный максимум функции, приравняв её к нулю.

$$\begin{aligned} S'_{нов.}(p) &= \frac{2\pi}{3} \cdot \frac{1}{p} \left[3p\sqrt{(p^2 + R^2)^3} - 3p^2 - \frac{1}{p} \left(\sqrt{(p^2 + R^2)^3} - p^3 \right) \right] = \\ &= \frac{2\pi}{3p} \cdot \left[\sqrt{p^2 + R^2} \left(2p - \frac{R^2}{p} \right) - 2p^2 \right] = 0. \end{aligned}$$

Корень этого уравнения получится $R=0$. Поэтому нужно искать условный (локальный) экстремум, для этого принимаем ограничения, установленные опытным путём. Т.к. радиус R и параметр p связаны соотношением (5), то будем задавать диапазон высот от 0,1 до 2 метров. Этот промежуток обусловлен тем, что рассчитываемый идеальный параболоид должен максимально соответствовать геометрическим размерам нашего составного концентратора, а высота h_L рассчитанного гелиоконцентратора «ЛУЧ» составляет 1,016 м. Задаёмся значением радиуса параболоида $R_L = 1,2$ м, что соответствует радиусу гелиоконцентратора «ЛУЧ» и соответственно площади улавливаемого солнечного потока $S_{с.п.} = 4,523893421$ м².

Последовательность расчёта: находим площадь $S_{нов.}$ из формулы (7), параметр p из (5), фокусное расстояние из (4). В таблице 1 приведены некоторые полученные данные расчёта.

Таблица 1 – Результаты расчёта параболоида

$S_{\text{пов}}, \text{ м}^2$	$h_{\text{п}}, \text{ м}$	p	$f, \text{ м}$	$K_{\text{п}}$
4,555165398	0,1	7,2	3,6	1,006912625
4,647321924	0,2	3,6	1,8	1,027283689
4,795839565	0,3	2,4	1,2	1,060113296
4,994420203	0,4	1,8	0,9	1,104009255
5,236159937	0,5	1,44	0,72	1,157445468
5,514406294	0,6	1,2	0,6	1,218951416
5,82321797	0,7	1,028571429	0,514285714	1,287213784
6,157521601	0,8	0,9	0,45	1,361111111
6,192184516	0,81	0,888888889	0,444444444	1,368773298
6,227055715	0,82	0,87804878	0,43902439 = f/h	1,376481525
6,262131494	0,83	0,86746988	0,43373494	1,384234974
6,886466176	1	0,72	0,36	1,522243239
6,92466841	1,01	0,712871287	0,356435644	1,530687787
6,963017355	1,02 = $h_{\text{п}}$	0,705882353	0,352941176	1,539164765
7,001510542	1,03	0,699029126	0,349514563	1,547673628
7,274804307	1,1	0,654545455	0,327272727	1,608084813
7,314368253	1,11	0,648648649	0,324324324	1,616830365
7,393866505	1,12	0,642857143	0,321428571	1,62503356 = $K_{\text{п}}$
7,67579544	1,2	0,637168142	0,318584071	1,634403337
8,087547539	1,3	0,6	0,3	1,696723315
8,508506744	1,4	0,553846154	0,276923077	1,787740511
8,937390537	1,5	0,514285714	0,257142857	1,880792926
9,373134472	1,6	0,48	0,24	1,975597059
9,814849971	1,7	0,45	0,225	2,071917616
10,26179093	1,8	0,423529412	0,211764706	2,169558179
10,71332728	1,9	0,4	0,2	2,268353822
11,16892395	2	0,378947368	0,189473684	2,36816527
		0,36	0,18	2,468874243

Анализируя полученные данные видим, что минимальная площадь поверхности достигается при минимальной высоте параболоида. При увеличении высоты h возрастает площадь поверхности и уменьшается фокусное расстояние, очевидно, что с увеличением площади поверхности возрастает и коэффициент $K_{\text{п}}$ (рисунок 2).

Т.к. радиус параболоида и гелиоконцентратора «ЛУЧ» равны, то соответственно площадь улавливаемого солнечного потока $S_{\text{с.л.}}$ у этих двух концентраторов одинаковая. Это означает, что тепловая мощность Q принятая, отражённая, сконцентрированная и «утилизированная» (переданная теплоносителю в теплоприёмнике) у них так же одинакова. С экономической точки зрения невыгодно производить концентратор с большими геометрическими размерами, если его тепловая мощность соответствует концентратору с меньшими габаритами. Поэтому нужно учитывать соотношение между геометрическими параметрами концентратора (R, h, f) для данной тепловой мощности гелиоустановки.

Сопоставим рассчитанные ранее графоаналитическим методом геометрические параметры гелиоконцентратора «ЛУЧ» с полученными параметрами для параболоидного концентратора (таблица 1, выделенные строки).

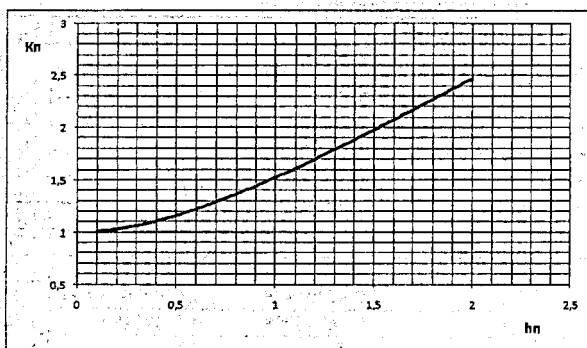


Рисунок 2 – График зависимости K_n от h_n

Рассчитанные геометрические параметры гелиоконцентратора «ЛУЧ» [3]:

- Общая высота $h = 1,016$ м.
- Диаметр максимальный $D = 2,4$ м, радиус $R = 1,2$ м.
- Фокусное расстояние $f = 0,438$ м.
- Площадь поверхности зеркал $S_{нов.} = 7,3591$ м².
- Коэффициент $K_n = 1,6267$.

Рассчитанные геометрические параметры параболического концентратора с одинаковой высотой h :

- Общая высота $h = 1,02$ м.
- Диаметр максимальный $D = 2,4$ м, радиус $R = 1,2$ м.
- Фокусное расстояние $f = 0,3529$ м.
- Площадь поверхности зеркала $S_{нов.} = 6,96302$ м².
- Коэффициент $K_n = 1,5392$.

Рассчитанные геометрические параметры параболического концентратора с одинаковым фокусе f :

- Общая высота $h = 0,82$ м.
- Диаметр максимальный $D = 2,4$ м, радиус $R = 1,2$ м.
- Фокусное расстояние $f = 0,439$ м.
- Площадь поверхности зеркала $S_{нов.} = 6,22705$ м².
- Коэффициент $K_n = 1,3764$.

Рассчитанные геометрические параметры параболического концентратора с одинаковой площади поверхности зеркала $S_{нов.}$ и одинаковым коэффициенте K_n :

- Общая высота $h = 1,12$ м.
- Диаметр максимальный $D = 2,4$ м, радиус $R = 1,2$ м.
- Фокусное расстояние $f = 0,3214$ м.
- Площадь поверхности зеркала $S_{нов.} = 7,35405$ м².
- Коэффициент $K_n = 1,6256$.

По нашему мнению, наилучшее соотношение между геометрическими параметрами концентратора для определённой тепловой мощности гелиоустановки учитывает коэффициент K_n (отношение площади отражающей поверхности концентратора $S_{нов.}$

площади улавливаемого солнечного потока $S_{c,n}$). Опытным путём установлено, что коэффициент K_n должен быть в пределах от 1,3 до 1,7.

Анализируя приведённые геометрические параметры двух концентраторов, можно сделать следующие выводы:

- Достигнута поставленная цель создания новой конструкции концентратора – геометрически преобразовать параболидный концентратор так, чтобы упростить его конструкцию для изготовления и эксплуатации.

- При равных геометрических и оптико-энергетических параметрах разработанная конструкция гелиоконцентратора «ЛУЧ» близка к идеальной параболидной, наклон максимальное отклонение высоты концентратора составляет менее 10 см при диаметре в 2,4 м.

- По величине фокусного расстояния можно оценить степень «освещённости» поверхности теплоприёмника, его равномерности, помещённого в этой точке. Чем больше фокус, тем меньшей поверхностью теплоприёмник воспринимает концентрированное излучение. И наоборот, чем меньше фокусное расстояние, тем большая часть поверхности теплоприёмника освещена.

- Наиболее близкое совпадение геометрических и оптико-энергетических параметров двух концентраторов получается при одинаковых площади поверхности зеркала $S_{пов}$ и коэффициенте K_n , что позволяет нам записать математическое выражение концентратора «ЛУЧ» в виде канонического уравнения параболы:

$$y^2 = 2px = 2 \cdot 0,642857143x = 1,285714286x.$$

- Явным преимуществом разработанной конструкции является улучшение аэродинамических свойств, а именно – уменьшение ветровой нагрузки на строительные конструкции (большая продуваемость конструкции концентратора). Это позволяет производить концентратор с большими поперечными размерами и повысить тепловую мощность одной гелиоустановки.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гелиоустановка: пат. 3998 Респ. Беларусь, МПК F 24J 2/00 / В.С. Северянин; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т – № 20070327 заявл. 02.05.2007, опубл. 01.08.2007.
2. Гелиоконцентратор: пат. 4296 Респ. Беларусь, МПК F 24J 2/00 / В.С. Северянин; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т – № 20070576 заявл. 03.08.2007, опубл. 17.12.2007.
3. Особенности расчета оптической системы гелиоустановки «Луч» / В.С. Северянин, П.Ф. Янцелин // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2010. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 74–77.
4. Андреев, В.М. Фотозлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В.М. Андреев, В.А. Гриллхес, В.Д. Румянцев. – Л.: Наука, 1989. – 310 с.