

С.В.Билецкий, Б.Б.Ситабдиев

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА «ТЕПЛОВОГО РЕЗОНАНСА» ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ЖАРОЧНЫХ ШКАФОВ

Постановка проблемы. В теплофизике известен эффект «инерции тепла», объяснить который можно на основе теории солитонов (единичных волн) [1]. По аналогии рассмотрим интерпретацию еще одного физического феномена - «теплового резонанса». Суть его состоит в возможности увеличивать эффективность теплового источника за счет многократной фокусировки на его поверхности тепловых лучей, отраженных от рефлектора. В основу объяснения «теплового резонанса» положено понятие катакаустики.

Анализ последних исследований. Рассмотрим цилиндрическую отражательную систему, состоящую из рефлектора цилиндрической формы и трубчатого ТЭНа, диаметром которого можно пренебречь. Выберем нормальное сечение этой системы. Пусть секущая плоскость снабжена декартовой системой координат Oxy , и на ней заданы отражающая кривая, а также источник тепловых лучей, расположенный в точке S . Как известно [2], процесс отражения лучей, исходящих от источника, сопровождается формообразованием на секущей плоскости огибающей этих лучей, т. е. катакаустики. Отличительной особенностью формы катакаустики является точка возврата (клев). Эксперименты показывают, что отраженная тепловая энергия сосредотачивается преимущественно в точке возврата (на кончике «клюва»). Заметим, что именно этим объясняется возможность «выжигать» отраженными солнечными лучами при помощи вогнутого зеркала. В работе [3] рассмотрен вариант схемы конструкции жарочных шкафов с учетом эффекта «теплового резонанса».

Постановка задачи. Составить программу расчета схемы конструкции цилиндрического отражательного устройства, когда источник тепла «подпитывается» отраженными от рефлектора тепловыми лучами, т.е. когда реализуется «тепловой резонанс».

Основная часть. Пусть отражательная кривая описана уравнением $y=y(x)$, а источник тепловых лучей расположен в точке $S(0, y_s)$. Тогда описание катакаустики имеет вид [3]

© С.В.Билецкий, Б.Б.Ситабдиев, 2006

$$X(x) = \frac{1}{W} (-2x^2 y'^3 + 2y'(-y^2 + 2yy_s - y_s^2) + 4y'^2(xy - xy_s) + 2y''(x^3 + xy^2 + xy_s^2 - 2xyy_s)) ;$$

$$(1)$$

$$Y(x) = -\frac{1}{W} (y_s xy'^3 - 2y^2 + y'^2(y_s^2 - 2x^2 - yy_s) + 3yy_s - y_s^2 + y'(4xy - 3y_s x) + 2y''(y^3 + x^2 y + yy_s^2 - 2y^2 y_s)) ,$$

где $W = 2y''(x^2 + y^2 + y_s^2 - 2yy_s) + (1 + y'^2)(y - y_s - xy')$.

Утверждение. Пусть источник тепловых лучей расположен в точке A . Обозначим через B точку возврата кривой C_A катакаустики. Тогда, если поместить источник лучей в точку B , то точка возврата соответствующей катакаустики C_B совпадет с точкой A . В этом случае точки A и B называем *взаимными*.

На рис. 1 в качестве примера приведены взаимные точки $A(0; 6)$ и $B(0; 1)$ в случае, когда рефлектор имеет форму параболы $y = \frac{x^2}{10} - \frac{5}{2}$.

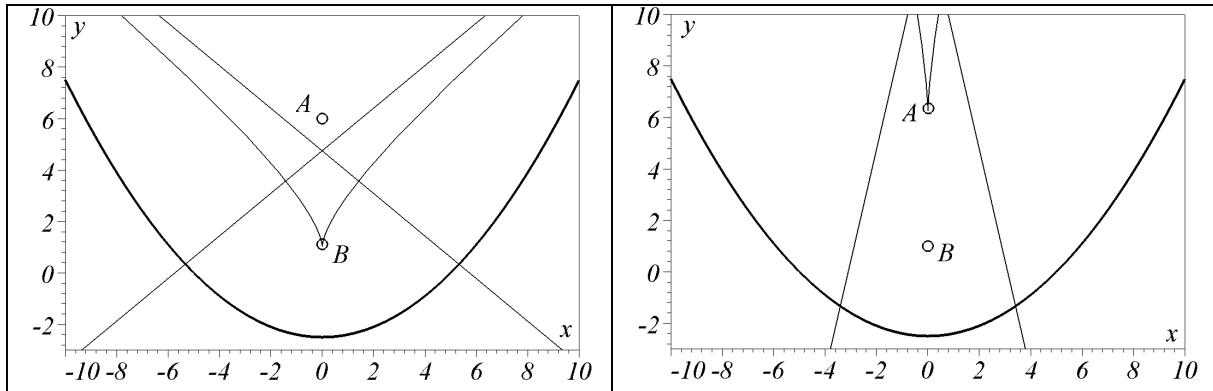


Рисунок 1 - Пример пары взаимных точек $A(0; 6)$ и $B(0; 1)$

Предположим, что взаимные точки совпадают. Тогда в отражающей системе часть тепловой энергии будет как бы «возвращаться» к источнику. В этом случае логично предположить существование «теплового резонанса», поскольку благодаря отражателю часть тепловой энергии источника будет многократно «возвращаться» к этому же источнику.

Утверждение. Для параболы $y = \frac{x^2}{2p} - \frac{p}{2}$ взаимными будут точки

$S(0, y_s)$ и $D\left(0, \frac{p^2}{4y_s}\right)$. Взаимные точки совпадут при $y_s = p / 2$.

Утверждение. Для синусоиды $y = p(1 - \cos x)$ взаимными будут точки с координатами $S(0, y_s)$ и $D\left(0, \frac{y_s}{2py_s - 1}\right)$. Положения взаимных точек совпадут при $y_s = 1 / p$.

Утверждение. Для цепной линии $y = p\left(\operatorname{ch} \frac{x}{p} - 1\right)$ взаимными будут точки $S(0, y_s)$ и $D\left(0, \frac{py_s}{2y_s - p}\right)$. При $y_s = p$ взаимные точки совпадают.

На основе приведенных утверждений можно конструировать жарочные шкафы с одним ТЭНом, главным элементом которых есть отражатель в виде свода [3].

Однако, более эффективными являются конструкции жарочных шкафов, содержащих несколько ТЭНов. На рис. 2 приведена схема нормального сечения одного из них - жарочного шкафа в форме правильного цилиндра с четырьмя трубчатыми ТЭНами (на рис.2 они пронумерованы), расположенными вдоль оси цилиндра с одинаковым угловым шагом (90°).

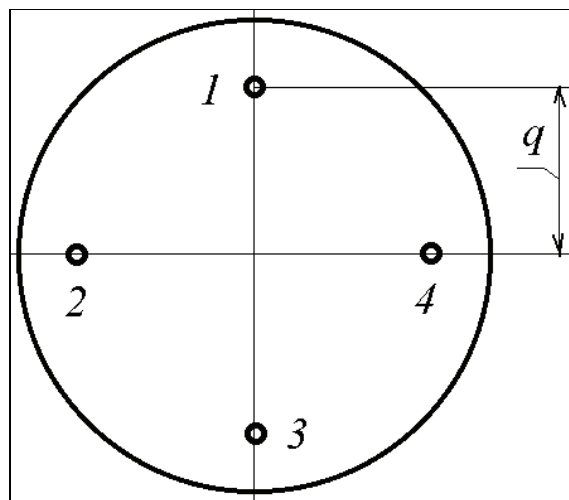
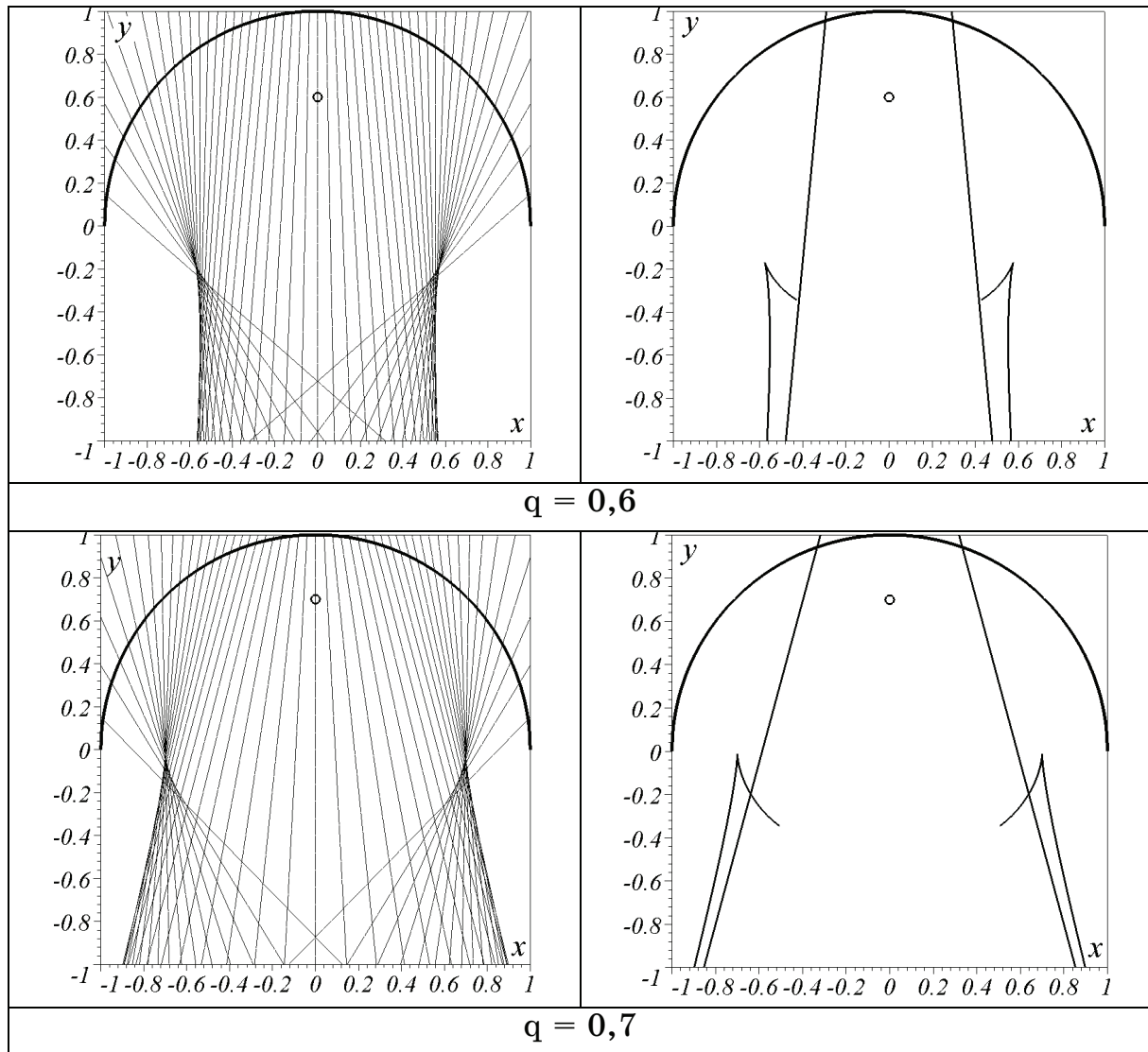


Рис. 2 - Схема жарочного шкафа цилиндрической формы

Пусть размеры жарочного шкафа нормированы так, что радиус цилиндра равен единице. Необходимо определить расположение системы ТЭНов, которое обеспечило бы наиболее экономичный режим работы жарочного шкафа. Для этого следует определить величину q такую, чтобы в отражательной системе реализовался «тепловой резонанс».

Для среды математического процессора Maple была составлена программа, позволяющая строить изображение системы отраженных тепловых лучей, а также на основе формул (1) строить их катакаустики в зависимости от величины q . На рис. 3 приведены примеры выполнения программы в случае, когда излучателем является ТЭН №1 (катакаустики везде изображаются совместно с асимптотами).



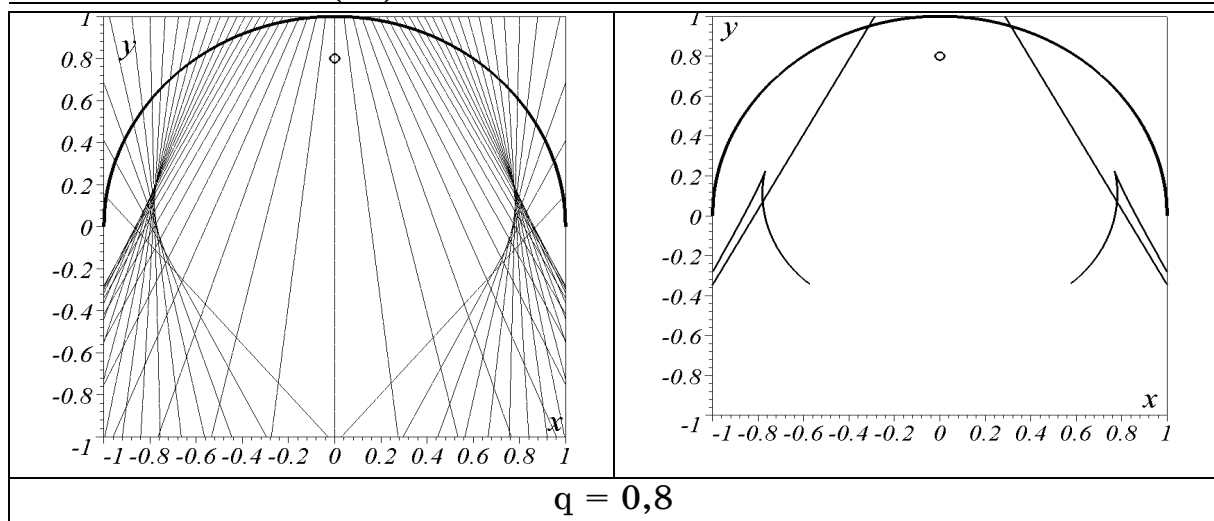


Рисунок 3 - Схемы хода отраженных лучей и их катакаустики в зависимости от величины q

Приведем фрагмент программы построения отраженных лучей:

```

xs := 0:    ys := 0.7:
S := circle([xs, ys], 0.03, thickness=4):
f := t -> sqrt(1 - t^2):
ft := plot(f(t), t=-1..1, thickness=6):
df := diff(f(t), t):
k := ((xs-t) + (ys-f(t))*df(t))/(1 + df(t)^2):
xs1 := t -> 2*t - xs + 2*k:
ys1 := t -> 2*f(t) - ys + 2*k*df:
for i from 0 to 50 do
t := -0.99 + 1.98*i/50:
otr := (x,y) -> (x-xs1(t))*(f(t)-ys1(t)) -
               (t-xs1(t))*(y-ys1(t)):
implicitplot(otr(x,y), x=-1..1, y=-0.3..1):

```

В ходе проведения компьютерных экспериментов было установлено, что при $q = 0,7$ точки возврата катакаустики для ТЭНа № 1 совпадают с положением ТЭНов № 2 и № 4. Точки возврата катакаустики расположены на оси Ox и отстоят от начала координат на расстоянии $q = 0,7$. Аналогично, в силу круговой симметрии, это выполняется и для других троек ТЭНов.

Выводы. Наиболее экономичным жарочный шкаф цилиндрической формы единичного радиуса будет тогда, когда четыре ТЭНа расположены вдоль оси цилиндра с угловым шагом 90° , и каждый на расстоянии $0,7$ ед от оси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков С.П. Теория солитонов: метод обратной задачи. - М.: Наука, 1980. - 230 с.
2. Підгорний О.Л., Куценко Л.М. Опис подери, ортотоміки і катакаустики як елементів відбивальної системи // Труды / Таврическая государственная агротехническая академия.- вып. 4, том 10.- Мелитополь: ТГАТА, 1999 - с.14-18
3. Тормосов Ю.М. Лебединец И.В. Принципы построения жарочных шкафов с учетом эффекта «теплового резонанса» // Проблемы пожарной безопасности. Харьков: Фолио, 2002. Вып. 12. - С. 170-174.

Получено 10.03.2006 г.

УДК 515.2

В.Д. Борисенко, І.В. Устенко, С.А. Устенко

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ЛОПАТКОВИХ АПАРАТІВ ОСЬОВИХ ТУРБІН

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Важливим і одним з найбільш трудомістких етапів у проектуванні турбінних ступенів є профілювання їх лопаткових апаратів. Для задоволення всіх різноманітних, часто суперечливих вимог, проектувальникам доводиться розглядати велику кількість варіантів профілів, тобто займатися випадковим пошуком оптимального варіанта.

Незважаючи на значний досвід розробки та створення досконалих турбін, бурхливий, особливо останніми роками, розвиток відповідних комп'ютерних методів проектування та конструювання, все ж таки можна констатувати, що технологія проектування турбін ще не стала технологією в звичайному розумінні, тобто не стала набором універсальних правил. Вона залишається заручницею мало передбачуваного шляху інженерного пошуку найкращого технічного рішення. Все це в повному обсязі відноситься і до лопаткових апаратів турбін, які є найважливішими компонентами цих широко поширених у транспортній та стаціонарній енергетиці теплових двигунів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останніми роками опубліковано кілька монографій, наприклад [1-3], присвячених