

АППРОКСИМАЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС ПО МАССИВУ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ СО СЛОЖНОЙ ГРАНИЦЕЙ РАЗДЕЛЕНИЯ

Н.Н. Галашов

Томский политехнический университет

E-mail: gal@tpu.ru

Показано, как массив экспериментальных данных по энергетическим характеристикам оборудования ТЭС со сложной границей разделения может быть аппроксимирован системой регрессионных уравнений. Приведен пример реализации подхода для описания энергетических характеристик конденсатора КГ2-620-III турбоустановки Т-118/125-130-8 Томской ГРЭС-2.

Ключевые слова:

Энергетическая характеристика, графическая зависимость, регрессионный анализ, метод наименьших квадратов, конденсатор, давление в конденсаторе, температурный напор.

При составлении отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования [1] для всего оборудования электростанции на основе испытаний должны быть в графическом виде построены его энергетические характеристики.

Энергетические характеристики в графическом виде используются для «ручного» расчета показателей электростанции. Применение для автоматизированного расчета показателей компьютера требует перевода графических зависимостей в аналитические, выраженные одним или системой уравнений. Обычно для получения уравнений на основе графических зависимостей применяют регрессионный анализ [2]. При этом можно использовать два способа.

1. Можно для каждой линии графика записать свое уравнение на основе однофакторной зависимости вида

$$Y = a_0 + \sum a_i X_i^i, \quad (1)$$

где Y – зависимый фактор; X – независимый фактор; a_0, a_i – постоянные коэффициенты, i – показатель полинома. Получим систему уравнений, соответствующую числу линий графической зависимости. В этом случае при попадании точки между линиями необходимо производить интерполяцию.

2. Можно применить двухфакторную зависимость вида

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_1^2 + b_4 X_2^2 + b_5 X_1 X_2, \quad (2)$$

где b_i – постоянные коэффициенты; X_1, X_2 – независимые факторы. В этом случае всю область рисунка можно описать одним уравнением или несколькими, если для повышения точности уравнения область придется разбить на подобласти. Этот способ позволяет существенно сократить число уравнений и не требует интерполяции, но обычно имеет меньшую точность аппроксимации данных по сравнению с первым.

Для оценки постоянных коэффициентов в уравнениях (1) и (2) используется метод наименьших квадратов. Для его применения необходимо составить матрицу данных, которая представляет набор

значений независимых факторов и соответствующих им значений зависимого фактора. Минимальное число точек в матрице должно быть на 1 больше числа оцениваемых коэффициентов. Обычно число точек для получения надежной оценки коэффициентов принимается больше минимального. Адекватность уравнения оценивается критерием Фишера, значимость коэффициентов критерием Стьюдента, а погрешность аппроксимации уравнением исходных данных среднеквадратической ошибкой.

Если есть таблица результатов испытаний, то для оценки коэффициентов удобно использовать ее. Если таблицы нет, то данные необходимо снять с графической зависимости.

В имеющихся в настоящее время работах регрессионные уравнения характеристик оборудования по уравнению (2) строятся по всей области графика, в результате чего они имеют погрешность до 3 % и больше. В данной работе предлагается разбиение области графика на подобласти, что позволяет получить уравнения с допустимой для технических расчетов точностью. При этом уравнения границ деления графической зависимости на подобласти должны быть включены в общую систему уравнений.

Рассмотрим применение предложенного метода для получения уравнений энергетических характеристик конденсатора, построенных в результате испытаний конденсатора КГ2-620-III турбоустановки Т-118/125-130-8 Томской ГРЭС-2.

Основными энергетическими характеристиками конденсатора являются зависимости давления пара в конденсаторе P_2 и температурного напора на выходе δt от расхода пара в конденсатор G_2 , расхода $W_{ов}$ и температуры $t_{в1}$ охлаждающей воды на входе, конструктивных характеристик, чистоты поверхности теплообмена и присосов воздуха [3].

Характеристики строят для двух или трех характерных расходов охлаждающей воды при чистой поверхности нагрева и нормативных присосах воздуха. Расходы охлаждающей воды выбирают для определенного сочетания работающих на конден-

сатор циркуляционных насосов: одного, двух или трех. В нашем случае характеристики построены для трех расходов охлаждающей воды: 8000, 12000 и 16000 м³/ч.

На рис. 1 и 2 приведены характеристики конденсатора, построенные при расходе охлаждающей воды 12000 м³/ч.

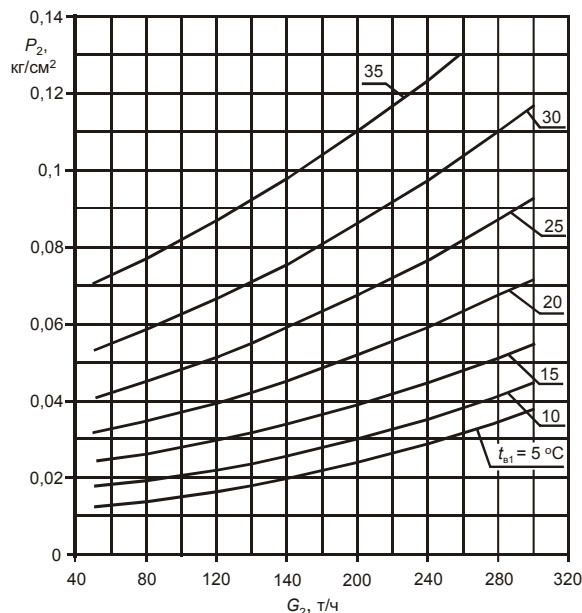


Рис. 1. Давление пара в конденсаторе КГ2-620-III при расходе охлаждающей воды 12000 м³/ч

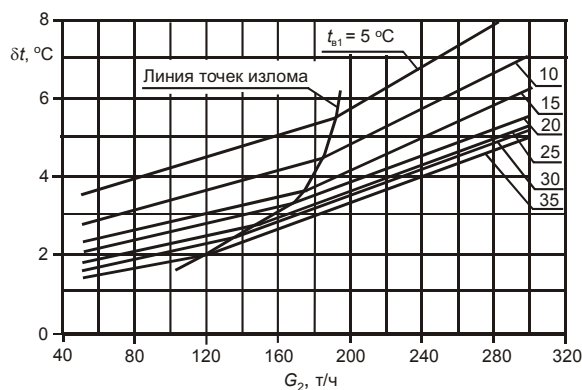


Рис. 2. Температурный напор в конденсаторе КГ2-620-III при расходе охлаждающей воды 12000 м³/ч

Из рисунков видно, что зависимости P₂ и δt от расхода пара G₂ и температуры воды на входе t_{в1} имеют сложный нелинейный характер.

Для всех расходов охлаждающей воды с графических зависимостей (рис. 1) были сняты данные, по которым с помощью метода наименьших квадратов на основе уравнения (2) были определены коэффициенты b_i, при этом в качестве Y принято P₂, X₁ — G₂ и X₂ — t_{в1}. При расчете коэффициентов данные по t_{в1} пришлось разделить на два диапазона (от 5 до 15 и от 15 до 35 °C), т. к. расчет коэффициентов по всему диапазону температур дает погрешность больше 3,5 %. Разбивка на два диапазона позволила получить уравнения, расчет по которым дает по-

грешность относительно данных, снятых с графических зависимостей, меньше 1 %. Полученные коэффициенты приведены в табл. 1. Все уравнения адекватны по критерию Фишера. Все коэффициенты имеют критерий Стьюдента выше табличного. В данном случае границей раздела областей является температура охлаждающей воды t_{в1} = 15 °C.

Таблица 1. Коэффициенты уравнения расчета давления в конденсаторе

W _{об} , м ³ /ч	t _{в1} , °C	b ₀	b ₁ ·10 ⁶	b ₂ ·10 ⁶	b ₃ ·10 ⁶	b ₄ ·10 ⁶	b ₅ ·10 ⁶
8000	5...15	0,01520	-7,86	-694,43	0,28	71,25	5,08
	15...35	0,03293	-116,19	-1855,05	0,31	73,95	11,36
12000	5...15	0,00880	5,38	278,57	0,24	40,00	2,08
	15...35	0,03399	-118,55	-1721,81	0,30	69,96	8,94
16000	5...15	0,01563	-40,52	-397,95	0,28	60,50	125,77
	15...35	0,04001	-125,77	-2069,38	0,29	75,21	6,93

Для оценки коэффициентов уравнений расчета температурного напора на выходе конденсатора δt с графических зависимостей (рис. 2) были сняты данные, на основе которых по уравнению (2) определены коэффициенты b_i, где в качестве Y принят δt, X₁ — G₂ и X₂ — t_{в1}. Расчет коэффициентов производился по данным до точек излома и после них. Коэффициенты расчета температурного напора по уравнению (2) приведены в табл. 2. Погрешность расчета температурного напора по полученным уравнениям не превышает 0,35 °C относительно исходных данных. Все уравнения адекватны по критерию Фишера. По критерию Стьюдента был исключен коэффициент b₃. Для получения несмещенных оценок оставшихся коэффициентов в результате исключения b₃ был применен метод, описанный в [4].

Таблица 2. Коэффициенты уравнения расчета температурного напора δt в °C

W _{об} , м ³ /ч	Область	b ₀	b ₁ ·10 ³	b ₂ ·10 ³	b ₃	b ₄ ·10 ³	b ₅ ·10 ³
8000	До излома	3,27	12,89	-147,32	0	2,64	-0,17
	За изломом	1,58	21,89	-152,73	0	3,35	-0,17
12000	До излома	3,63	14,8	-168,74	0	2,95	-0,24
	За изломом	1,81	25,18	-178,56	0	3,89	-0,27
16000	До излома	3,90	16,53	-190,90	0	3,14	-0,24
	За изломом	2,02	28,78	-216,84	0	4,82	-0,37

Также с графических зависимостей были сняты значения расхода пара в конденсатор G₂ при соответствующих температурах t_{в1} в точках излома (рис. 2), которые приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расход пара в конденсатор G₂ в т/ч в точках излома

W _{об} , м ³ /ч	t _{в1} , °C						
	5	10	15	20	25	30	35
8000	196	186	175	162	150	136	120
12000	192	182	170	158	145	132	120
16000	190	180	172	160	142	130	120

По данным табл. 3 на основе (1) определены коэффициенты расчета расхода пара в конденсатор G₂ в зависимости от температуры охлаждающей воды

на входе $t_{в1}$, значения которых приведены в табл. 4. Все уравнения адекватны по критерию Фишера. Все коэффициенты значимы по критерию Стьюдента. Погрешность расчета по уравнениям не превышает 1,5 % относительно исходных данных.

Таблица 4. Коэффициенты уравнения линии излома G_2 от $t_{в1}$

$W_{ов}, \text{м}^3/\text{ч}$	a_0	a_1	$a_2 \cdot 10^3$
8000	205,0	-1,702	-20,476
12000	203,3	-2,112	-8,095
16000	204,9	-2,429	0

Для расчета температурного напора по заданным $W_{ов}$, G_2 и $t_{в1}$ необходимо по уравнению линии излома определить $G_{2изл}$ по $t_{в1}$. Если $G_2 < G_{2изл}$, то δt определяем по уравнению расчета температурного напора в области до излома, иначе – после.

Если при расчете P_2 или δt расход воды отличается от табличного, то расчет производим по двум ближайшим табличным расходам воды, а потом полученные P_2 или δt интерполируем или экстра-

полируем по расходу воды.

Выводы

1. Произведен комплексный анализ массива экспериментальных данных по энергетическим характеристикам оборудования тепловых электрических станций со сложной границей разделения на примере конденсатора КГ2-620-III турбоустановки Т-118/125-130-8 Томской ГРЭС-2.
2. Для аналитического описания массива экспериментальных данных применен метод регрессионного анализа и составлена система уравнений, позволяющая с достаточной степенью приближения описать давление и температурный напор конденсатора в зависимости от расхода пара и температуры охлаждающей воды на входе при постоянном расходе охлаждающей воды. С целью повышения точности уравнений массив данных для температурного напора разбит на смежные области со сложной границей разделения.
3. Клямкин С.Л. Тепловое испытание паротурбинных установок электростанций. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. – 408 с.
4. Гиршфельд В.Я., Галашов Н.Н. Выбор существенных факторов при построении многофакторных моделей энергетических показателей по статистическим отчетным данным энергосистем и ТЭС // Труды МЭИ. – 1979. – Вып. 408. – С. 118–125.

Поступила 22.12.2008 г.

УДК 536.21

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРОПРОВОДНОСТИ ПЕНОСТЕКЛЬНОЙ ШИХТЫ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Р.В. Городов

Томский политехнический университет
E-mail: gorodov@tpu.ru

Описаны процедуры проведения эксперимента по определению зависимости теплопроводности шихты, используемой для производства пеностекла, от температуры за один опыт и обработки полученных результатов. Представлен фракционный состав пеностекляной шихты. Определена аппроксимирующая функция полученной зависимости.

Ключевые слова:

Фракционный и химический составы, пеностекляная шихта, определение теплопроводности.

Введение

Оптимальный температурный режим является одним из важнейших этапов в рациональной технологии производства пеностекла, т. к. в зависимости от выбранного режима можно получить пеностекло с широким диапазоном свойств.

Для научного обоснованного объяснения свойств и структуры пеностекла на различных этапах его

возникновения необходимо достаточно полно знать механизм формирования исходной системы, из которой в результате постепенного накопления газообразных продуктов при нагревании формируется пеностекло. При разработке теоретической кривой вспенивания необходимо учитывать взаимосвязь между физическим состоянием смеси на каждом технологическом этапе и динамикой изменения ее теплофизических свойств [1].