

УДК-517

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА РАБОТЫ КОТЛА КЕ 10-14

Смолина Н.А., студент гр. ИТб-172

Шевырёв С.А., к.т.н., доцент,

Дягилева А.В., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В процессе работы водогрейных и паровых котлов необходимо поддерживать рабочие характеристики для обеспечения заданной тепловой мощности. При отклонении параметров работы котла от заданных наблюдаться изменение таких параметров как, например, температура дымовых газов, температура котловой воды, температура пара и других. Анализ отклонений этих параметров в реальном времени при использовании методов математической статистики представляет собой актуальную задачу и позволяет прогнозировать работу котла. Рассмотрим возможности метода математической статистики для оценки работы парового котла КЕ-10-14.

Данный котел характеризуется слоевой топкой типа ТЛЗМ, двухбарабанной компоновкой и позволяет получать насыщенный водяной пар. На основе данных реальной эксплуатации котла КЕ-10-14 получены данные о температуре дымовых газов в топке котла в °С (X), температуре уходящих газов перед дымососом в °С (Y) и температуре дымовых газов в конвективном пучке в °С (Z) (таблица 1).

Таблица 1. Температуры дымового газа в топке, конвективной части и перед дымососом.

X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
994	131	562	952	129	541	1028	130	610	985	127	570	955	126	567
982	130	581	1026	130	600	1001	127	568	994	127	574	889	123	495
1050	135	638	969	127	570	924	125	517	971	128	568	851	119	460
1018	133	597	983	126	574	954	122	526	968	128	564	850	120	459
1023	132	597	948	127	538	948	124	520	917	125	506	873	125	476
930	127	532	1015	131	605	956	123	517	921	125	502	875	124	487
942	128	542	941	126	536	993	122	579	982	124	550	977	127	536
949	128	553	1001	127	575	998	128	590	904	124	504	921	125	500
1050	134	634	946	125	527	945	126	555	961	126	557	906	123	493
1038	131	620	977	126	557	941	126	549	1013	129	591	1020	127	617

Изучим характер распределения температуры в котле (X). Для этого построим гистограмму и полигон распределения, прежде построив интервальный вариационный ряд [2].

Получили 6 интервалов от 881 до 1050 с шагом $h = 31$. Находим \bar{x}_i – среднее на интервале по формуле:

$$\frac{x_{нач} + x_{кон}}{2} \quad (1)$$

где $x_{нач}$ – начальное значение интервала, $x_{кон}$ – конечное значение интервала. Также определяем n_i – число появления показаний температуры в каждом интервале. По данным \bar{x}_i и n_i строим гистограмму и полигон распределений (рисунок 1):

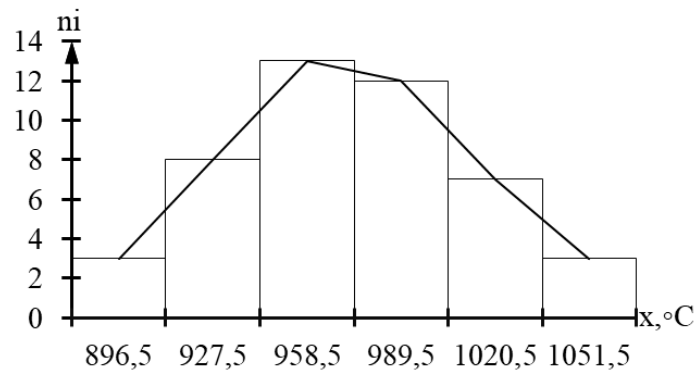


Рисунок 1. Полигон и гистограмма значений X

По виду гистограммы и соблюдению условий:

$$\frac{x_{max} + x_{min}}{2} ; \frac{x_{max} - x_{min}}{6} \approx \sigma_x \quad (2)$$

где x_{max} – максимальное значение температуры в котле, x_{min} – минимальное значение температуры в котле, \bar{x} – среднее значение выборки X, полученное по формуле (3), σ_x – среднее квадратическое отклонение, полученное по формуле 4:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{N} \quad (3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i}{N}} \quad (4)$$

где N – объём выборки, можно выдвинуть гипотезу о нормальном законе распределения температур в топке котла.

Для проверки этой гипотезы необходимо сделать оценку по одному из критериев: Пирсона, Романовского, Колмогорова или числам Вестергарда [1].

Возьмём для проверки критерий Романовского. Для этого рассчитываем теоретические частоты n_i^T по формуле 5, t_i по формуле 6, а $\phi(t_i)$ по формуле 7:

$$n_i^T = \frac{N \cdot h}{\sigma_x} \cdot \phi(t_i) \quad (5)$$

$$t_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma_x} \quad (6)$$

$$\phi(t_i) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot e^{-t_i^2/2} \quad (7)$$

Округляем теоретические частоты до целых, если на интервале $n_i^T < 5$, то объединяем его с соседним интервалом. Строим полигоны эмпирических и теоретических частот.

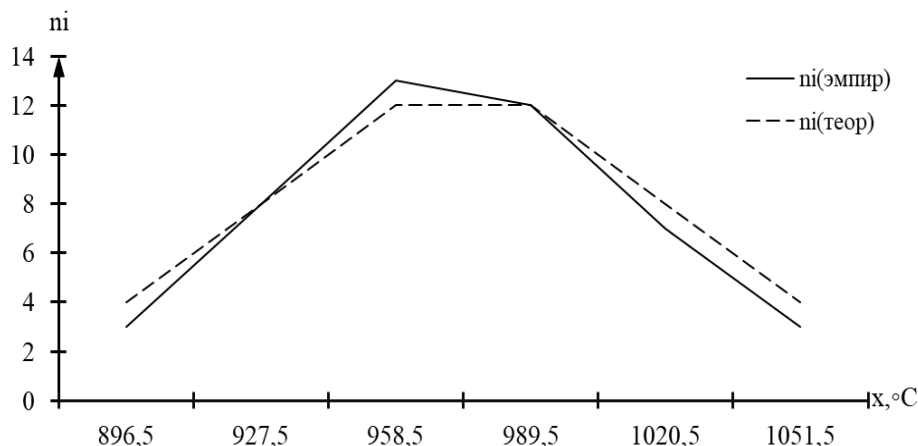


Рисунок 2. Полигон эмпирических и теоретических частот значений X

Теперь оценим расхождение между эмпирическим и теоретическим распределением частот. Вычисляем критерий χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_i - n_i^T)^2}{n_i^T} \quad (8)$$

Считаем k – число степеней свободы по формуле:

$$k = n - r - 1 \quad (9)$$

где n – число интервалов после объединения, r – число параметров, определяющих распределение. В нашем случае $r = 2$. Тогда $k = 1$, а $\chi^2 = 0,7083$. Оценим расхождение по формуле:

$$\frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2 \cdot k}} = 0,206 \quad (10)$$

Так как полученное значение меньше 3, то расхождение между эмпирическим и теоретическим распределениями является несущественным, что подтверждает гипотезу о нормальности распределения.

Тогда функция распределения будет иметь вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-x)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{49,28 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-964,08)^2}{4859,45}} \quad (11)$$

Доверительный интервал: $950.079 < x < 978.0812$.

По данным таблицы 1 исследуем температуры дымовых газов в конвективной части котла и перед дымососом на подчинение нормальному закону распределения. Методика построения аналогична приведенной ранее. В результате получаем закон распределения для температуры в конвективной части котла и перед дымососом (рисунок 3, 4).

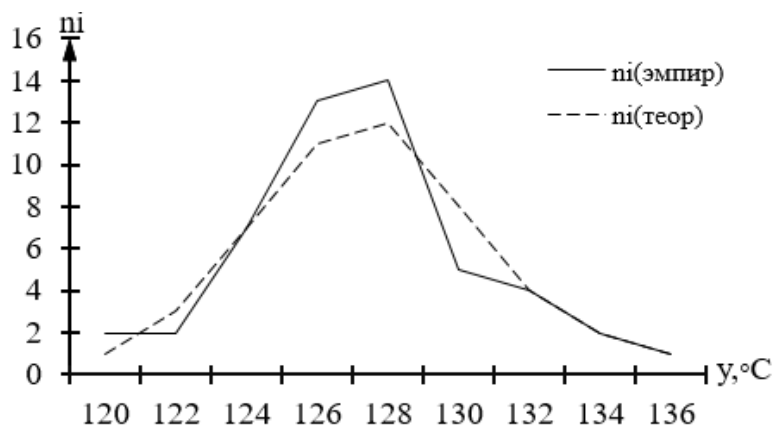


Рисунок 3. Полигон эмпирических и теоретических частот значений Y

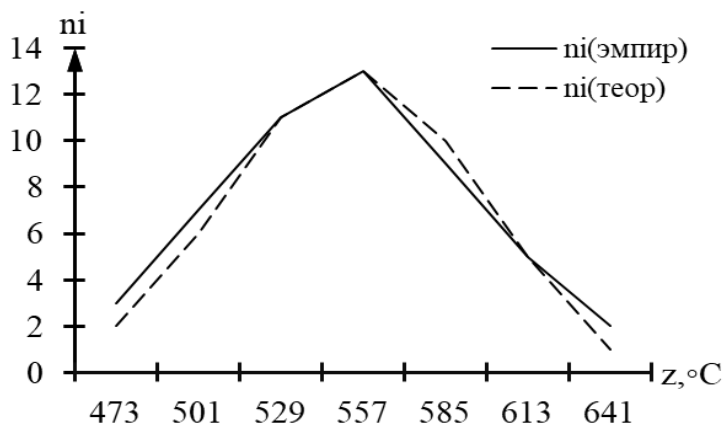


Рисунок 4. Полигон эмпирических и теоретических частот значений Z

Найдем зависимость температуры уходящих газов в дымососе (Y) от температуры в топке котла (X) в виде прямой линии регрессии, уравнение которой имеет вид:

$$y - \bar{y} = \frac{r_b \cdot \sigma_y}{\sigma_x} \cdot (x - \bar{x}) \quad (12)$$

Для этого находим коэффициент корреляции r_b по формуле:

$$\frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (13)$$

где \overline{xy} - среднее значение произведения x на y.

Составили корреляционную таблицу по методике [2] и по данным, приведённым в ней вычисляем коэффициент корреляции между величинами X и Y.

Значение \overline{xy} вычисляем по формуле:

$$\overline{xy} = \frac{\sum x_i \cdot n_{xi} \cdot \bar{y}_x}{N} \quad (14)$$

где \bar{y}_x - групповые средние значения Y на i - том интервале X, полученные по формуле:

$$\frac{\sum x_i \cdot n_{yi}}{n_y} \quad (15)$$

Определяем коэффициент корреляции r_b :

$$\frac{\bar{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \approx 0,67 \quad (16)$$

Так как $r_b > 0$, то связь между величинами X и Y существует, то есть температура уходящих газов перед дымососом зависит прямо пропорционально от температуры в топке котла.

Определяем коэффициент регрессии:

$$\rho_{y/x} = \frac{r_b \cdot \sigma_y}{\sigma_x} \approx 0,0454 \quad (17)$$

Получаем уравнение регрессии:

$$y = 0,0454 \cdot x + 83,27 \quad (18)$$

Таким же способом получим зависимость температуры в конвективной части котла от температуры в топке котла:

$$z = 0,769 \cdot x - 189,417 \quad (19)$$

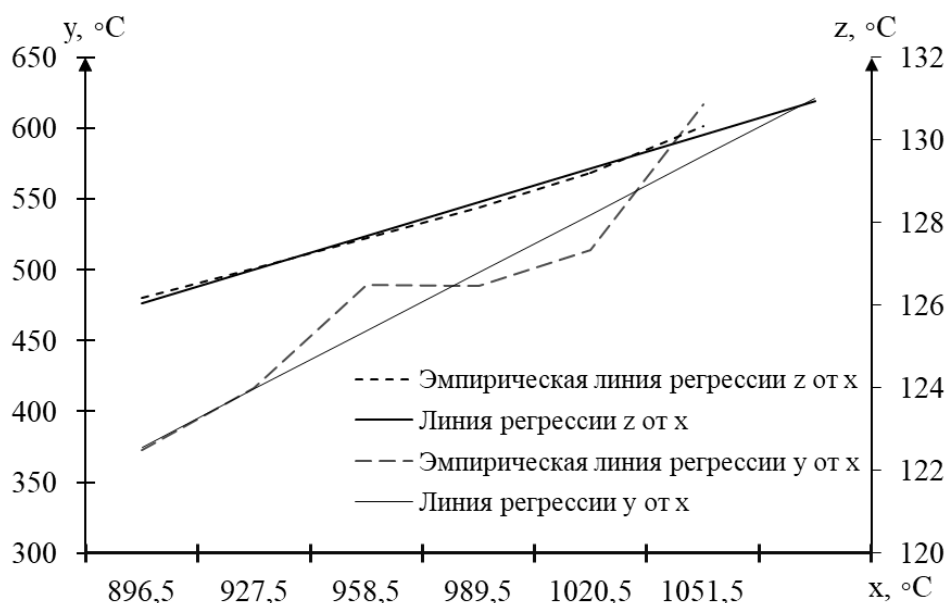


Рисунок 5. Прямые регрессии

На рисунке 5 показаны полученные прямые регрессии и эмпирические линии регрессии.

Таким образом, используя методы математической статистики, была установлена взаимосвязь температуры дымовых газов в топке котла с температурой дымового газа в конвективной части и перед дымососом. Полученные зависимости (рисунок 5) могут быть использованы для оценки параметров работы котла и величин допустимых отклонений от заданных режимов работы.

Список литературы:

1. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике [Текст]: учебное пособие для студентов вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2004. – 404 с.: ил.
2. Ивченко Г.И., Медведев И.Ю. «Введение в математическую статистику», Учебное пособие, 2010. – 310 с.