

УДК 519.711.2

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ БОКСА И ДЖЕНКИНСА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ РАБОТЫ ГАЗОВОЗДУШНОГО ТРАКТА КОТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

Подкорытов Алексей Александрович

Аспирант, e-mail:podkorytovleha@mail.ru

Куцкий Николай Николаевич

Д.т.н., профессор, e-mail:v20@istu.edu

Институт информационных технологий и анализа данных,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова 83

Аннотация. В статье рассматривается разработка модели, учитывающей динамику работы топочного устройства котельного агрегата. Применена методика Д.Ж. Бокса и Г. Дженкинса для идентификации процесса производства пара. В качестве объекта исследования выбран котельный агрегат, который является достаточно сложным, так как представляет из себя динамический стохастический объект с неконтролируемыми возмущающими воздействиями. Статистическими методами разработана модель, которая может быть использована для прогнозирования разрежения в топке котла.

Ключевые слова: топочное устройство, расход вторичного воздуха, разрежение в топке, стохастическая модель, идентификация, оценивание, диагностическая проверка.

Цитирование: Подкорытов А.А., Куцкий Н.Н. Применение методики Бокса и Дженкинса для идентификации работы газозвдушного тракта котельного агрегата //Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 2 (18). С. 144 -150 DOI: 10.38028/ESI.2020.18.2.012

Введение. В данной статье рассмотрена методика Бокса и Дженкинса или так называемая интегрированная модель авторегрессии и скользящего среднего - ARIMA. Это стандартизированная статистическая модель для прогнозирования и анализа временных рядов. Методика Бокса и Дженкинса активно используется для анализа и прогнозирования временных рядов в области экономики, финансов, медицине. Однако использование данной методики для построения динамических стохастических моделей применительно к процессам теплоэнергетики применяется впервые.

В качестве примера применения методики Бокса и Дженкинса в области теплоэнергетики авторами статьи разработана модель влияния расхода вторичного воздуха на разрежение [1]. Данные для исследования собраны в течение длительного времени наблюдений за нормальным ходом процесса выработки пара, подвергнуты статистическому анализу.

Косвенным параметром, определяющим расход вторичного воздуха, принят ток, потребляемый дутьевыми вентиляторами ДВ-А и ДВ-Б. В качестве исследуемых данных выбраны временные ряды, собранные в течение длительного времени наблюдений за

нормальным ходом процесса выработки пара на паровом котле марки БКЗ-420-140[2]. Данные получены на Ново-Иркутской ТЭЦ. Исследуемые данные содержат 1800 значений параметров с частотой дискретизации 10 секунд (около 5 часов). Всего в период пассивного эксперимента контролировались следующие технологические параметры:

- суммы рабочих токов дутьевых вентиляторов ДВ-А, ДВ-Б(А);
- разрежение в топке с левой стороны (мм вд. ст.);

Данные параметры выбраны для исследования, поскольку работа дутьевого вентилятора непосредственно оказывает влияние на работу топочного устройства.

Поскольку измеряемые значения данных параметров находятся в разных диапазонах. Для дальнейшего анализа необходимо провести масштабирование временных рядов. Для этого производим процедуру стандартизации для каждого временного ряда [3].

В качестве примера (рис. 1) приведены временные ряды: сумма рабочих токов дутьевых вентиляторов ДВ-А, ДВ-Б и разрежение в топке слева в стандартизированном виде.

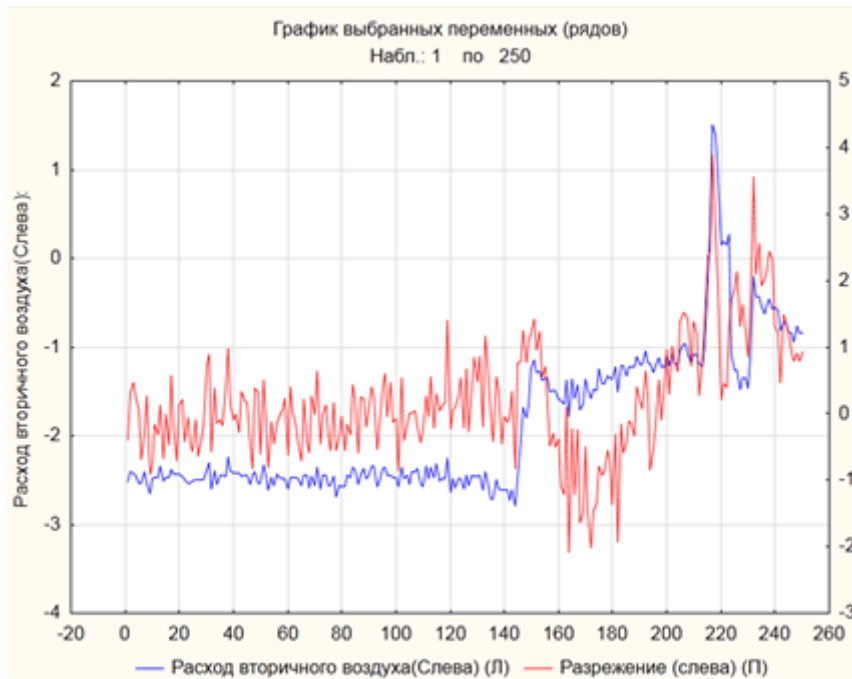


Рис. 1. График временных рядов разрежения в топке – расход вторичного воздуха

С целью приведения указанных выше временных рядов к стационарному виду, согласно методике [4], для каждого ряда получены разностные временные ряды с помощью оператора взятия разностей:

$$x_t = \nabla^d X_t ; \quad y_t = \nabla^d Y_t \quad \text{при} \quad d > 0, \quad (1)$$

где d – порядок разности; x_t, y_t – нормированные значения временных рядов:

$$x_t = (X_t - \bar{X}_t) / \sigma_x, \quad y_t = (Y_t - \bar{Y}_t) / \sigma_y, \quad (2)$$

в которых \bar{X}_t, \bar{Y}_t – средние значения ряда, σ_x, σ_y – среднееквадратичное отклонение.

Приведение рядов к стационарному виду позволяет использовать метод взаимных корреляционных функций для определения в структуре модели таких времен запаздываний, для которых коэффициенты связи между расходом вторичного воздуха и разрежением в топочной камере значимы.

В качестве примера на рис. 2 приведен график взаимно-корреляционной функции $R_{xy}(k)$ между наблюдаемыми рядами (суммы рабочих токов дутьевых вентиляторов ДВ-А, ДВ-Б) и рядом разрежением в топке с левой стороны), полученными в результате обработки статистического материала.

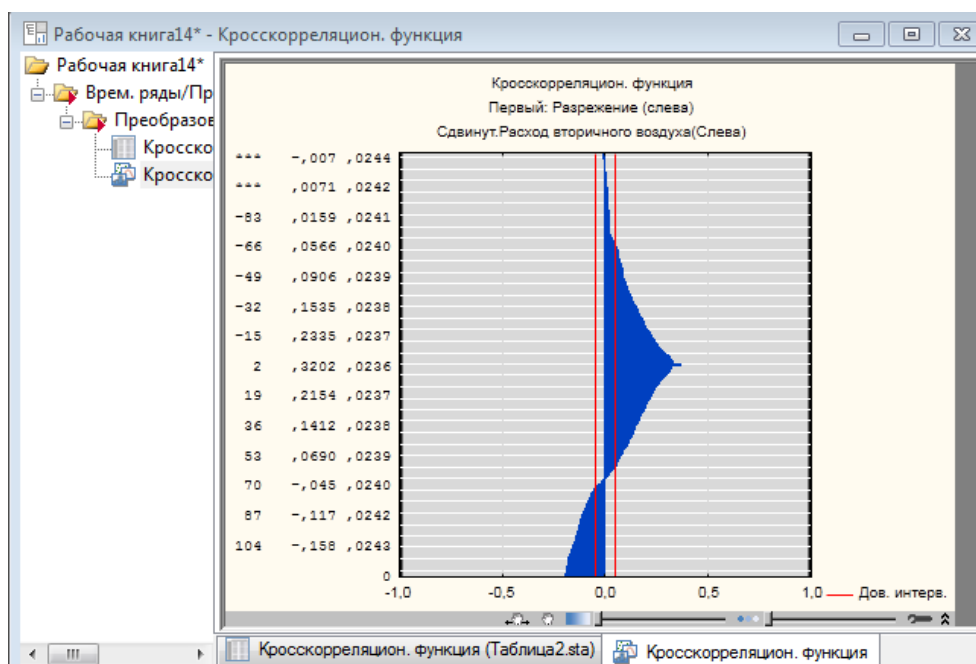


Рис. 2. Взаимно корреляционная функция разрежения в топке

Визуальный анализ этого графика не позволяет сделать однозначного вывода о тех временных интервалах, при которых расход вторичного воздуха с левой стороны существенно влияет на разрежение в топке слева, т.к. механизм взаимодействия завуалирован коррелированностью значений входного ряда, но помогает определить значимость коэффициентов взаимной корреляции [5].

Для устранения эффекта коррелированности произведем предварительную идентификацию исследуемых временных рядов для установления соответствия выбранного класса модели с имеющимися экспериментальными данными. Основным критерием идентификации является поведение автокорреляционной и частной автокорреляционной функций. Построим для исследуемых временных рядов модели авторегрессии и скользящего среднего (АРСС):

$$\alpha_t = x_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i x_{t-i} + \sum_{j=1}^q \Theta_{t-j} \alpha_{t-j}; \quad (3)$$

$$\beta_t = y_t - \sum_{i=1}^p \Phi_i y_{t-i} + \sum_{j=1}^q \Theta_{t-j} \beta_{t-j}. \quad (4)$$

где α_t , β_t – выровненные ряды, соответственно, для входных и выходных разностных рядов;

Φ_i – значение параметров для авторегрессионной модели;

Θ_{t-j} – значения параметров для модели скользящего среднего;

p – порядок модели авторегрессии;

q – порядок модели скользящего среднего [6].

Предварительная идентификация показала, что разрежение в топке слева хорошо описывается моделью авторегрессии третьего порядка АРСС (3 0 0) $p=3$; $q=0$. Временной ряд вторичного расхода воздуха слева описывается моделью авторегрессии первого порядка и скользящего среднего первого порядка АРСС (1 1 0) $p=1$; $q=1$.

Далее для новых временных рядов построим взаимно корреляционную функцию (рис. 3)

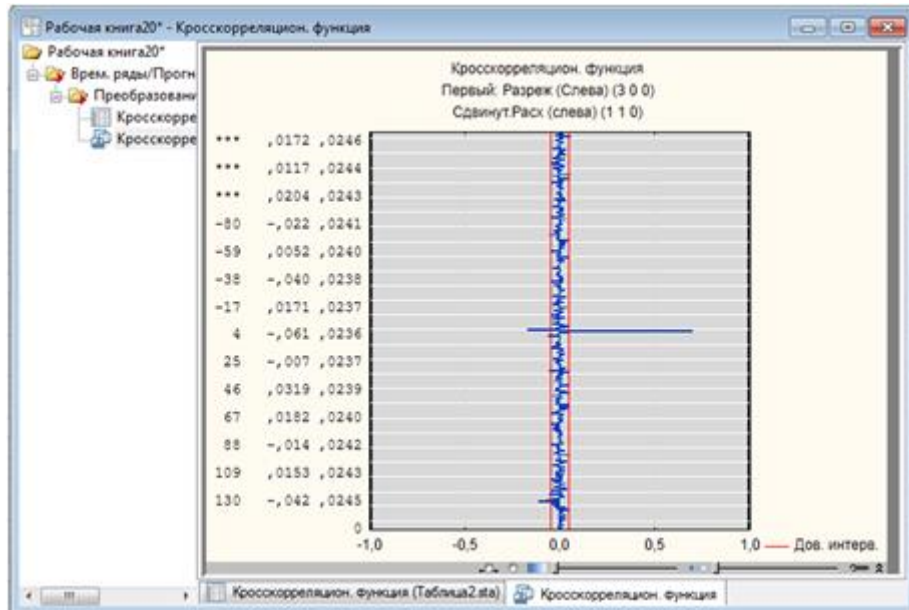


Рис. 3. Взаимно корреляционная функция рядов после предварительной идентификации

Для получения оценок p, q, Φ_1 был применен нелинейный алгоритм наименьших квадратов.

Привязка модели к наблюдаемым значениям временных рядов осуществляется в несколько этапов: сначала делается пробная идентификация на основе анализа приближенной функции отклика на единичный импульс, затем применяется процедура нелинейного оценивания пробной модели и диагностическая проверка с использованием критерия согласия χ^2 [7].

Динамические стохастические модели влияния вторичного воздуха с левой стороны на разрежение в топке слева получены с использованием методики Бокса-Дженкинса в классе моделей $y_t = \delta^{-1}(B)\omega(B) \cdot x_{t-b} + n_t$, где B – оператор сдвига назад на один шаг, b – параметр запаздывания,

$$\delta(B) = 1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2 - \dots - \delta_r B^r; \quad (5)$$

$$\omega(B) = \omega_0 - \omega_1 B - \omega_2 B^2 - \dots - \omega_s B^s. \quad (6)$$

Ниже представлена разработанная динамическая стохастическая модель: Зависимость разрежения в топке с левой стороны от расхода вторичного воздуха:

$$\begin{aligned} & (1 - 0,366 B - 0,343 B^2 - 0,192 B^3) \nabla P_{\text{слева}}(t) = \\ & \pm 0,023 \quad \pm 0,023 \quad \pm 0,023 \\ & = -2,29 \nabla f(t-0) - 0,131 \nabla f(t-30) - 0,166 \nabla f(t-128) - 0,298 B^2 \nabla f(t-129) - \\ & \pm 0,065 \quad \pm 0,065 \quad \pm 0,065 \quad \pm 0,065 \\ & 0,358 \nabla f(t-223) + 0,151 \nabla f(t-299) + n_t \quad (7) \\ & \pm 0,065 \quad \pm 0,065 \end{aligned}$$

Значение шума описывается моделью:

$$(1 - 0,077 B + 0,073 B^2) * n_t = a_t \quad (8)$$

$\pm 0,025 \quad \pm 0,025$

где ∇ – первые разности, а значения под коэффициентами – их стандартные ошибки.

Полученная модель анализируется на адекватность реального процесса влияния расхода вторичного воздуха на разрежение в топке с помощью диагностической проверки [8], осуществляемой в два этапа: сначала вычисляется χ^2 – статистика для значений автокорреляционной функции остаточных ошибок $r_{aa}(k)$ как $Q = (N-s-b-r) \sum_{k=1}^k r_{aa}^2(k)$,

где N – число наблюдений,

k – максимальная задержка автокорреляций и взаимных корреляций,

S – число «правосторонних» параметров динамической стохастической модели,

r – число «левосторонних» параметров, далее вычисляется χ^2 статистика с использованием взаимных корреляционных функций $r_{aa}(k)$ между выровненным входным рядом α_t и рядом остаточных ошибок, а $H = (N-s-b-r) \sum_{k=1}^k r_{aa}(k)$.

В первом случае Q сравнивается с χ^2 – распределением с $K-p-q$ степенями свободы, а во втором – H сравнивается с χ^2 – распределением с $K-r-S$ степенями свободы.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов χ^2 – статистики диагностической проверки по автокорреляционной и взаимной корреляционной функциям.

Таблица 1. Значения коэффициентов χ^2 статистики

Вход	Выход	Число степеней свободы	H	Число степеней свободы	Q
(I _a + I _b)	Разр _{лев}	30	25,15	30	43,8

Диагностическая проверка по автокорреляционным и взаимно-корреляционным функциям с использованием значений χ^2 статистики не дает оснований в сомнении адекватности модели [9].

Заключение. В результате проведенных исследований получена модель, которая может быть использована для прогноза разрежения в топке котельного агрегата в зависимости от расхода вторичного воздуха, подаваемого в топочное устройство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аракелян Э.К., Пикина Г.А. Оптимизация и оптимальное управление. М.: Изд-во МЭИ. 2007. 408 с.
2. Волошенко А.В. Принципиальные схемы паровых котлов и топливоподач. Томск: Изд-во ТПУ. 2011. 100 с.
3. Плетнев Г.П. Автоматизация технологических процессов и производств в теплоэнергетике. 4-е изд. М.: Издательский Дом МЭИ. 2007. 352 с.
4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: Изд. Дом МЭИ. 2005. 400 с.
5. Серов Е.П., Корольков Б.П. Динамика парогенераторов. М.: Изд-во Энергоиздат. 1981. 409 с.
6. Хапусов В.Г. Моделирование систем. Иркутск: Изд-во ИрНИТУ. 2007. 212 с.
7. Хапусов В.Г., Баев А.В. Смешанные авторегрессионные модели и прогнозирование процесса выработки пара // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 12. С. 29–34.

8. Шорохов В.А., Смольников А.П. Разработка динамической модели многосвязной АСР пылеугольного блока с прямым вдуванием пыли // Теплоэнергетика. 2009. № 10. С. 56–61.
 9. Box G.E.P., Jenkins G.M. Time Series Analysis, Forecasting and Control, San Francisco: Holden-Day, 1976.
-

UDK 519.711.2

APPLICATION OF THE BOXING AND JENKINS TECHNIQUE FOR IDENTIFICATION OF THE OPERATION OF THE GAS-AIR TRACT OF THE BOILER UNIT

Alexey A. Podkorytov

Postgraduate student, e-mail: podkorytovleha@mail.ru

Nikolay N. Kutsy

Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: v20@istu.edu

Institute of Information Technology and Data Analysis,

Irkutsk National Research Technical University,

str. Lermontov, 83, 664074, Irkutsk

Abstract. The article discusses the development of a model that takes into account the dynamics of the operation of the combustion device of the boiler unit. The technique of D.Zh. Box and G. Jenkins to identify the steam production process. As the object of research, a boiler unit was chosen, which is quite complex, since it is a dynamic stochastic object with uncontrolled disturbing influences. A model has been developed by statistical methods that can be used to predict the vacuum in the boiler furnace.

Keywords: combustion device, secondary air flow rate, vacuum in the combustion chamber, stochastic model, identification, estimation, diagnostic check.

References

1. Arakelyan E.K., Pikina G.A. Optimizacija i optimal'noe upravlenie [Optimization and optimal control]. M.: Izd-vo Moskovskogo jenergeticheskogo instituta = Moscow: Moscow Energy Institute Publisher. 2007. 408 p. (in Russian).
2. Voloshenko A.V. Principial'nye shemy parovyh kotlov i toplivopodach [Schematic diagrams of steam boilers and fuel supplies]. Tomsk: Izd-vo TPU = Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2011. 100 p. (in Russian).
3. Pletnev G.P. Avtomatizacija tehnologicheskikh processov i proizvodstv v teplojenergetike. 4-e izd. [Automation of technological processes and production in heat power engineering. 4th ed.]. M.: Izd-vo Moskovskogo jenergeticheskogo instituta = Moscow: Moscow Energy Institute Publisher. 2007. 352 p. (in Russian).
4. Rotach V.Ya. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. [Automatic control theory]. M.: Izd-vo Moskovskogo jenergeticheskogo instituta = Moscow: Moscow Energy Institute Publisher. 2005. 400 p. (in Russian).

5. Serov E.P., Korolkov B.P. Dinamika parogeneratorov [Steam generator dynamics]. M.: Izd-vo Jenergoizdat = Moscow: Energoizdat Publishing House. 1981. 409 p. (in Russian).
6. Khapusov V.G. Modelirovanie system [System modeling]. Irkutsk: Izd-vo IrNITU = Irkutsk: Publishing House of Irkutsk National Research Technical University. 2007. 212 p. (in Russian).
7. Khapusov V.G., Baev A.V. Smeshannyye avtoregressionnyye modeli i prognozirovaniye processa vyrabotki para [Mixed autoregressive models and forecasting of the steam generation process] // // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnikeskogo universiteta = Bulletin of the Irkutsk State Technical University. 2014. № 12. Pp. 29–34. (in Russian).
8. Shorokhov V.A., Smolnikov A.P. Razrabotka dinamicheskoy modeli mnogosvjaznoj ASR pyleugol'nogo bloka s prjamym vduvaniem pyli [Development of a dynamic model of a multiply connected ACS of a pulverized coal block with direct injection of dust] // Teplojenergetika = Heat power engineering. 2009. № 10. Pp. 56–61 (in Russian).
9. Box G.E.P., Jenkins G.M. Time Series Analysis, Forecasting and Control, San Francisco: Holden-Day. 1976.