

К ВОПРОСУ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ

Введение. Теплоэнергетические процессы котлоагрегатов современных тепловых станций, надежность и экономичность их работы существенно зависят от реализации равномерной подачи угольной пыли к горелкам котла. Как известно, неравномерная подача твердого топлива в топку котла приводит не только к нарушению устойчивости работы топочной камеры, но и служит причиной накопления на поду топки несгоревшей пыли, что, в свою очередь, приводит к снижению экономичности работы котлоагрегата [1].

Постановка задач исследования. Проблема повышения надежности и снижения расхода твердого топлива представляется актуальной задачей, успешное решение которой в значительной степени определяется надежной и экономичной работой системы автоматизированного электропривода системы подачи топлива в топку котла.

Материалы исследования. Значительна сложность и трудоемкость решения задачи повышения экономичности работы энергоблока существенно связана с многочисленностью возмущающих факторов, сила влияния которых на решение задачи неравнозначна. Знание важности влияния того или иного фактора необходимо для определения целесообразности совершенствования соответствующего оборудования. Другими словами, требуется определить степень влияния на функцию цели каждого из факторов, действующих в рассматриваемой системе, и выделить наиболее значимые из них. В условиях неполной информации о влиянии возмущающих воздействий на экономичность функционирования котлоагрегата, которая проявляется в недостаточном знании законов, связывающих входные переменные и функцию отклика, воспользуемся методом ранговой конкордации, являющимся эффективным инструментом количественного упорядочения полуинтуитивной информации.

Для предварительной оценки влияния возмущающих факторов на экономичность работы котлоагрегата была произведена экспериментальная оценка специалистами Криворожской ГРЭС – Э₁, Запорожской ГРЭС – Э₂, Днепропетровской ТЭЦ – Э₃, Приднепровской ГРЭС – Э₄, службой ПЭО «Днепроэнерго» – Э₅. Рассматривалось влияние следующих возмущающих воздействий: температура пылевоздушной смеси – $t_{\text{аэп}}$ (X_1), разрежение перед мельницей – H_m (X_2), давление первичного воздуха – P_1 (X_3), уровень пыли в бункере – Y_T (X_4), разрежение сверху топки – H_1 (X_5), давление воздуха в общем коробе – P_k (X_6), среднее квадратическое отклонение скоростей вращения двигателей пылепитателей – Δn (X_7), скорость вращения по группам пылепитателей – n (X_8), перекоп воздуха по горелкам – L (X_9), тонина помола пыли – R_{30} (X_{10}).

Результат экспертизы можно определить в виде матрицы $m \times n$, где m – число экспертов; n – число возмущающих факторов; α_{ij} – ранг, установленный i -ым экспертом j -тому фактору.

Оценка согласованности мнений специалистов определялась с помощью коэффициента конкордации, который вычисляется по формуле:

$$W = \frac{12 \sum_{j=1}^n d_j^2}{m^2(n^3 - n)} = \frac{S_{\Delta j}}{S_{\max}}. \quad (1)$$

Возмущающие факторы и их влияние на режим работы представим в виде матрицы $N \times L$, клетки матрицы заполняются по правилу: $b_{ij}=1$, если при i -том решении j -тый фактор реализуется, и $b_{ij}=0$ в противном случае. Определяющим фактором является тот, для которого $S_i=S_{i\max}$.

Вычислим линейные комбинации S_i по формуле:

$$S_i = \sum_{j=1}^L K_j b_{ij}. \quad (2)$$

Они оказываются равными:

$$\begin{array}{cccccc} S_1=0,15; & S_2=0,3; & S_3=0,05; & S_4=0,65; & S_5=0,3; \\ S_6=0,45; & S_7=0,95; & S_8=0,45; & S_9=0,2; & S_{10}=0,4. \end{array}$$

Анализ S_i показывает, что наиболее соответственными факторами являются уровень пыли в бункере и среднее квадратическое отклонение скоростей вращения пылепитателей ($S_4=0,65$ и $S_7=0,95$).

Как известно, основой горения пылеугольного топлива в топке котлоагрегата являются химические реакции его горючих элементов с кислородом, при этом необходимо отметить, что эти реакции протекают в потоке и в сложных условиях в сочетании с рядом физических и тепловых процессов, накладывающихся на основной химический процесс. Каждый из этих процессов является достаточно сложным, а их исследование – еще не полностью решенной самостоятельной задачей.

Отношение количества воздуха, действительно поступившего в топку, к теоретически необходимому количеству называют коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha_{\delta} = \frac{V_{\dot{a}}}{V_{\dot{a}}^0}. \quad (3)$$

Величина α_{τ} по выражению (3) для пылеугольных топок по условиям достижения большого значения к.п.д. и интенсификации процесса горения должна быть в пределах 1,2÷1,24. На действующих парогенераторах испытаниями при различных нагрузках определяется оптимальное значение α_{τ} , при котором суммарная величина потеря тепла от механической и химической неполноты сгорания топлива и потеря тепла с уходящими газами оказывается минимальной.

Коэффициент избытка воздуха можно выразить как отношение процентного содержания кислорода в воздухе, подаваемом для горения, к проценту использованной частоты кислорода [2]:

$$\alpha_{\delta} = \frac{21}{21 - \hat{I}_2}. \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет по содержанию кислорода O_2 в продуктах сгорания оценить избыток воздуха в топке и газоходах парогенератора. Эта величина очень важна для экономичного ведения теплового процесса в парогенераторе. Балансовыми испытаниями для парогенераторов, работающих на определенном виде топлива, по оптимальному значению α_{τ} , которое соответствует наибольшему к.п.д. парогенератора, устанавливается оптимальное значение O_2 при различных нагрузках. Поддержанием этого значения в установленных пределах обеспечивается экономичная работа парогенераторов.

Содержание свободного кислорода в продуктах сгорания, как известно, в основном зависит от избытка воздуха. Поэтому эксплуатационный контроль за поддержанием необходимого избытка воздуха в топке ведется по содержанию кислорода в продуктах сгорания, для чего применяются автоматические кислородомеры.

Учитывая, что содержание кислорода в дымовых газах является одним из важнейших и наиболее точных признаков, характеризующих экономичность работы топочной камеры, в качестве параметра оценки работы котлоагрегата принимаем пульсацию кислорода O_2 в %. Приняв за функцию отклика многофакторной модели котлоагрегата пульсацию кислорода в дымовых газах, целесообразно выполнить исследования нестационарного случайного процесса изменения последней. Основной задачей обработки статической информации являлось изучение характера протекающего случайного процесса, т.е. определение математического ожидания случайной функции, ее дисперсии и корреляционной функции.

До сих пор не существует единой методики, применимой для анализа любых нестационарных процессов. Это объясняется в какой-то мере тем, что вывод о нестационарности процесса является утверждением, которое констатирует отсутствие свойств стационарности, но не определяет характер нестационарности, который устанавливается в результате статистического анализа данного случайного процесса. Одним из возможных способов исследования нестационарного процесса является выделение детерминированной составляющей, зависящей от времени, и случайного стационарного процесса, характеристики которого определяются известными методами математической статистики.

Математическую модель случайного процесса представим в виде:

$$J(t) = m_j(t) + \varepsilon_j(t). \quad (5)$$

Проверка стационарности дисперсии сделана с помощью критерия Кочнера. Проверка нормальности распределения величин $\varepsilon_j(t)$ сделана с помощью критерия Пирсона.

Следующим важным моментом проведения статистического исследования является обоснование продолжительности эксперимента. Анализ показывает, что продолжительность эксперимента зависит от допустимой погрешности тех характеристик случайного процесса, которые мы хотим получить.

Рассмотрим влияние изменения уровня пыли в бункере на изменение пульсаций кислорода. В моделях, рассмотренных ниже, кроме параметра уровня пыли в бункере Y_{τ} , включены среднее квадратическое отклонение скоростей вращения двигателей пылепитателей – Δn , средняя скорость вращения двигателей пылепитателей – n , разрежение вверху топки – H_{τ} , тонина помола угольной пыли – R_{90} , перенос воздуха по горелкам – L .

В табл. 1 приведены основные параметры моделей. Анализ таблицы показывает, что на пульсации кислорода наиболее существенно влияют параметры $Y_{\tau}, L, \Delta n$ (коэффициент корреляции R^2 равен 0,91), значительно слабее оказывают влияние Y_{τ} и n , $R^2 = 0,427$).

На графиках (рис. 1) представлены зависимости пульсации кислорода O_2 в зависимости от указанных выше факторов. Анализ графиков показывает, что повышение уровня пыли в бункере увеличивает пульсации O_2 . оптимальной величиной Y_{τ} является 240т (пульсации O_2 порядка 3%).

Таблица 1. Основные параметры моделей

№№ пп	Независимые переменные	Коэффициенты уравнения регрессии				Коэффициент корреляции, R^2
		b_0	b_1	b_2	b_3	
1.	$Y_{\tau}, \Delta n$	-1,176	0,0197	0,0290	-	0,659
2.	Y_{τ}, n	1,575	0,0095	0,0005	-	0,427
3.	Y_{τ}, H_{τ}	1,829	0,0091	-0,0438	-	0,787
4.	$Y_{\tau}, R_{90}, \Delta n$	-2,103	0,0206	0,0690	0,032	0,655
5.	$Y_{\tau}, L, \Delta n$	-0,490	0,0460	-7,255	0,204	0,910

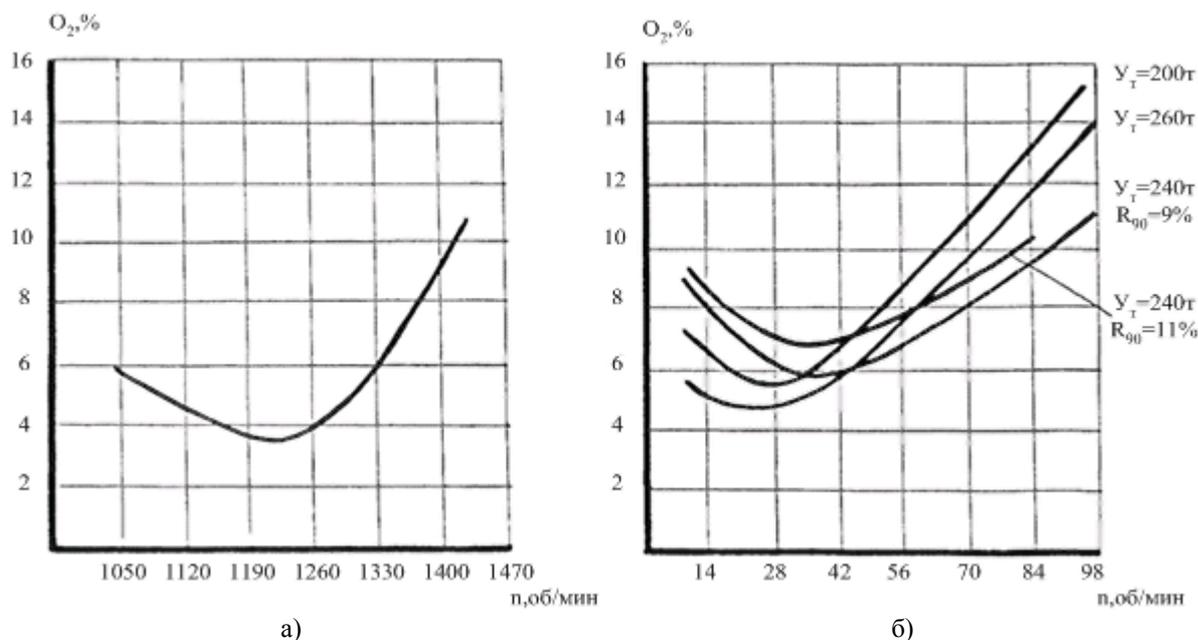


Рис.1. Графики зависимости пульсаций кислорода : а) от скорости вращения пылепитателей; б) от уровня пыли и отклонений скорости электроприводов пылепитателей

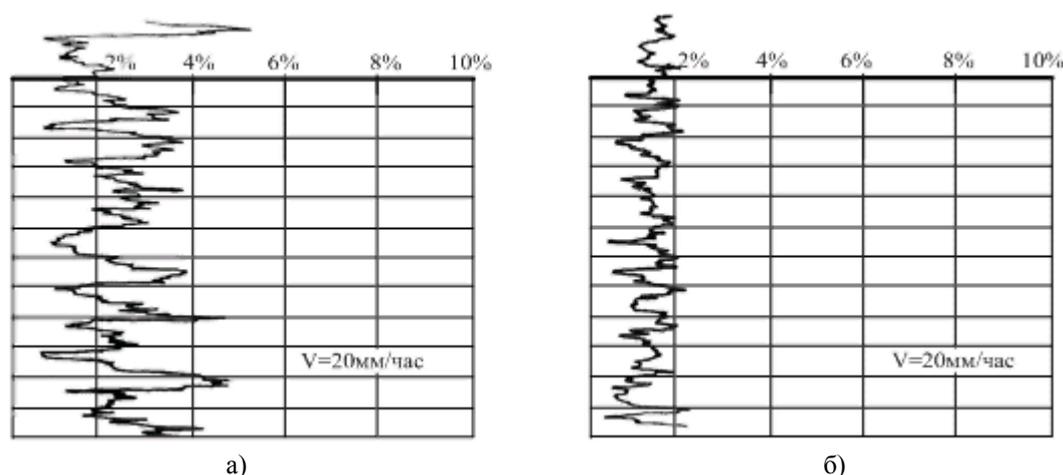


Рис.2. Пульсации кислорода: а) до внедрения рациональных схем электроприводов; б) после внедрения рациональных схем электроприводов

Выводы. На основании статистического анализа пульсаций кислорода и математического моделирования возмущающих воздействий тракта топливоприготовления и топливоподачи, влияющих на экономичность работы котлоагрегата, сделаны следующие выводы: процесс пульсаций кислорода в дымовых газах является объективной характеристикой экономичности работы энергоблока и может быть принят в качестве функции отклика математической модели котлоагрегата; практическое использование результатов математического моделирования позволяет проводить аргументированный, целенаправленный поиск по совершенствованию систем автоматизированного электропривода пылепитателей и шаровых мельниц для обеспечения повышения экономичности работы котлоагрегата.

Литература.

1. Гусев Л.Н. Влияние переменного расхода топлива на работу пылеугольных камерных топок. Дис.канд.техн.наук. - Л., 1974. - 146с.
2. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок.-М.: Энергия, 1978.- 415с.