

АДЕКВАТНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАХ РЕАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ

Учитывая физическое старение золоочистного оборудования ТЭС очистка дымовых газов стала менее эффективной. Определение действительной степени очистки и выбросов золы в атмосферу осложняется технологическими факторами работы оборудования и проведением громоздких натурных замеров запыленности дымовых газов в условиях ТЭС. С целью снижения трудоемкости определения КПД очистки электрофильтров была разработана программа на ЭВМ «ELFILTR». Для проверки адекватности этой программы реальным условиям были проведены натурные испытания электрофильтра ЭГЗ-3-265 блока 200 МВт при различных системах управления питанием. На основании полученных результатов было проведено сравнение КПД золоулавливания электрофильтра при существующей (проектной) ППП и новой (экспериментальной) АРЖ схемах-системах управления питанием с данными, полученными при расчете на ЭВМ.

Новая система импульсного питания АРЖ: в случае возникновения пробоев система производит автоматическое выключение агрегата питания; позволяет регулировать среднее подаваемое напряжение и, как следствие, изменять эффективность пылеулавливания; в зависимости от конкретных меняющихся условий автоматически устанавливает необходимую частоту искрообразования; имеет дополнительный режим работы с ограничениями по току, который позволяет исключить пробои в межэлектродном пространстве и прожоги электродов.

Натурные испытания электрофильтров проводила специализированная лаборатория с лицензией Минэкологии и природных ресурсов Украины. Работы выполнялись в соответствии с аттестованными методиками и действующими нормативными материалами.

В процессе испытаний электрофильтра определялись следующие характеристики пылеулавливающей установки: начальная и конечная запыленность, а также объемный расход дымовых газов; скорости газов в основных элементах установки; температура газов до и после элек-

трофильтров; полные давления газов до и после пылеуловителей; температура и барометрическое давление атмосферного воздуха; вольтамперные характеристики полей.

Испытания электрофильтров проводились при одинаковых условиях работы котла, с установившейся и постоянной нагрузкой [1]. Учитывая это, концентрации пыли на входе в электрофильтр в опытах были также одинаковы, поэтому эффективность очистки оценивалась не только по КПД, но и по мощности выброса.

В ходе испытаний определялись вольтамперные характеристики работы электрофильтра. В табл. 1 приведены значения силы тока и разности потенциалов, подаваемых на коронирующий и осадительный электроды при различных системах управления электропитанием.

Таблица 1

Вольтамперные характеристики полуполей при различных системах управления питанием электрофильтра

Система питания	Номер полуполя	Опыт № 1		Опыт № 2	
		I, мА	U, кВ	I, мА	U, кВ
АРЖ / ПРП	2	310 / 290	22 / 37	240 / 300	25 / 36
	3	100 / 130	25 / 35	310 / 150	28 / 35

Определение запыленности газового потока (концентрации золы) осуществлялось методом внутренней фильтрации. В табл. 2 приведены концентрации золы в дымовых газах за дымососом при работе проектной ПРП и экспериментальной АРЖ схемах управления электропитанием. Концентрация золы до электрофильтров составляла 41,7 г/м³.

Параметры работы электрофильтра с различными системами управления питанием были также обработаны с использованием программы на ЭВМ «ELFILTR» [2], позволяющей определять эффективность электрофильтров в соответствии с математической моделью процесса пылеулавливания, построенной на вероятностном принципе. Согласно этой математической модели [3], весь процесс очистки газов в электрофильтрах разделяется на три последовательные стадии. На входе в электрофильтр частицы пыли попадают в распределительную решетку, где на них действуют силы инерции, на втором этапе пылинки улавливаются под действием сил гравитации, после чего частицы пыли попадают в межэлектродное пространство, где на них одновременно действуют три силы: электростатические, а также силы турбулентной и тепловой диффузии. Математической моделью учитывается максимальная, определяющая из этих трех сил, действующих на пылинки во время их перемещения в межэлектродном пространстве.

Концентрации золы после электрофильтра при различных системах регулирования питания

Система питания и данные эксперимента	Опыт № 1			Опыт № 2		
	Концентрация золы после аппарата, г/м ³	Средняя концентрация золы после электрофильтра, г/м ³	Эффективность очистки, %	Концентрация золы после аппарата, г/м ³	Средняя концентрация золы после электрофильтра, г/м ³	Эффективность очистки, %
ПРП	1,9	1,8	95,54	1,0	1,1	97,33
	1,4			0,9		
	2,3			0,8		
				2,1		
АРЖ	2,3	2,8	93,39	0,9	1,2	97,02
	3,0			0,7		
	2,7			1,8		
				1,4		
				1,0		
			1,1			

Согласно законам вероятностей составлена общая формула для определения эффективности пылеулавливания в электрофильтрах:

$$\Xi = r_{ин} + (1 - r_{ин}) \cdot (r_{Гр} + (1 - r_{Гр}) \cdot \max(r_{эл}, r_{тепл}, r_{турб})), \quad (1)$$

где $r_{ин}$, $r_{Гр}$, $r_{эл}$, $r_{турб}$ и $r_{тепл}$ — вероятности пылеулавливания частиц пыли в электрофильтре, соответственно, под действием сил инерции, гравитации, электростатических сил, а также сил турбулентной и тепловой диффузии. Каждый вероятностный параметр описывается аналитически с учетом физических и электрических свойств пыли и газового потока, присущих условиям газоочистки Кураховской ТЭС.

Помимо определения эффективности пылеулавливания конкретного электрофильтра, работающего в конкретных условиях, программа «ELFILTR» позволяет оптимизировать технологические параметры работы исследуемых аппаратов. В качестве оптимизируемого параметра принималась разность потенциалов, подаваемых на коронирующий и осадительный электроды. Критерием оптимизации являлось обеспечение требуемой степени очистки при минимальных приведенных затратах.

При работе программы формируется паспорт технологических, конструктивных и экономических показателей для исследуемого аппарата. Результаты расчета на ЭВМ сгруппированы в паспорте по семи разделам: исходные данные, технологические параметры работы электрофильтра, оптимальные параметры эксплуатации аппарата, парамет-

ры пыли и газа в случае, если применяется кондиционирование газового потока, конструктивные параметры выбранного или исследуемого электрофильтра, технико-экономические показатели процесса пылеулавливания, а также вероятностные параметры. Пример такого паспорта, полученный при расчете на ЭВМ показателей работы электрофильтра с использованием новой системы управления питанием АРЖ во втором опыте для Кураховской ТЭС, приведен в табл. 3.

Таблица 3

Паспорт электрофильтра (опыт № 2, система АРЖ)

ПАСПОРТ ВЕНТСИСТЕМЫ				
Электрофильтр типа ЭГЗ-3-265.		Тип пыли — зола		D50=18 мкм
Пределы оптимизации:		по скорости потока	от 1.15 м/с	до 1.15 м/с
		по напряжению	от 27000 В	до 27000 В
Номер варианта 2 из общего числа расчетов 2				
Число фракций k = 30				
№ п/п	Наименование параметра	Индекс	Единица измерения	Значение параметра
1	2	3	4	5
I – ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ				
1	Объем очищаемого газа	QG	м ³ /ч	1096915
2	Начальная запыленность воздуха	ZPN	г/м ³	41,707
3	Температура газа	TI	°С	136
4	Удельный ток короны	Ikor	мА/м	20.0
5	Влажность газа	VLI	доли	0.25
6	Стандартное УЭС пыли	ROOst	Ом*м	1000000
II – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ				
7	Сопrotивление электрофильтра	PAP	Па	364.3
8	Конечная запыленность воздуха	ZPK	мг/м ³	72
9	Расход электроэнергии	ZEE	т.кВт-ч	1166
10	Периодичн. регенер. осад. электр.	TREGm	мин	390.0
III — ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ				
11	Скорость газа в электрофильтре	VDEF	м/с	1.15
12	Напряжение	U	В	27000
IV – ПАРАМЕТРЫ ГАЗА И ПЫЛИ ПОСЛЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ				
13	Температура газа	T	°С	136
14	Влажность газа	FFII	доли	0.25
15	УЭС пыли	ROO	МОм*м	655.665
V – КОНСТРУКТИВНЫЕ РАЗМЕРЫ				
16	Площадь активного сечения	SAKT	м ²	265
17	Количество полей	NP	шт.	3
18	Шаг между одноим. электродами	DTR	мм	275
19	Количество электрофильтров	NEF	шт.	1
20	Активная высота электродов	HP	м	11.9

1	2	3	4	5
21	Активная длина поля	LP	м	4.0
22	Общая площадь осаждения	SO	м ²	27354
VI – ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ				
23	Стоимость электрофилтра	SEF	тыс. грн.	1930.6
24	Стоимость зданий и сооружений	SZS	тыс. грн.	439.0
25	Затраты капитальные+здания	ZKZ	тыс. грн.	2371.7
26	Затраты капитальные	ZK	тыс. грн.	1932.7
27	Стоимость обслуживания аппарата	SSOK	тыс. грн.	46.4
28	Затраты на электроэнергию	ZE	тыс. грн.	148.4
29	Общие годовые затраты	OZ	тыс. грн.	426.7
30	Приведенные затраты	PZ	грн./млн м ³	81.04
VII – ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ				
31	Эффективность электрофилтра	EED	доли	0.9587
32	Инерционная составляющая	EDin	доли	0.3703
33	Гравитационная составляющая	EDgr	доли	0.0516
34	Электростатическая составляющ.	ED	доли	0.9372
35	Тепловая диффузия	ETE	доли	0.0161

Результаты теоретического расчета (с использованием программы «ELFILTR») и экспериментального исследования эффективностей пылеулавливания в электрофилтрах для проектной и экспериментальной схем управления приведены в табл. 4. Анализ этих результатов и сравнение их с экспериментальными данными позволяет утверждать об адекватности математической модели, на основе которой составлена программа на ЭВМ реальным условиям эксплуатации электрофилтров.

Таблица 4

Расчетные и экспериментальные эффективности электрофилтра

Схема питания	Опыт № 1			Опыт № 2		
	Эффективность очистки, %		Относительная погрешность, %	Эффективность очистки, %		Относительная погрешность, %
	Теор. ^о	Экспер.		Теор.	Экспер.	
ПРП	97,36	95,54	1,9	97,36	97,33	0
АРЖ	94,33	93,39	1,0	95,87	97,02	1,2

Расхождения между экспериментальными и теоретическими значениями эффективностей пылеулавливания в электрофилтрах объясняется несколькими причинами: во-первых, средний медианный диаметр пыли определялся согласно атласам пыли, а не в результате дисперсного анализа; во-вторых, в математической модели не учитывается

форма коронирующих и осадительных электродов; в-третьих, в исходных данных отсутствовали конкретные значения некоторых параметров, описывающих физические и электрические свойства газа и улавливаемой пыли. Эти параметры принимались из справочной литературы.

Таким образом, получена приемлемая адекватность результатов расчета по математической модели процесса пылеулавливания в электрофильтрах с использованием программы на ЭВМ и экспериментальных данных. Путем расчетов на ЭВМ по программе «ELFILTR» можно прогнозировать ожидаемую эффективность очистки газа без громоздких экспериментов по замерам запыленности в условиях работающего электрофильтра.

Список литературы

1. Заключение по сравнению эффективности золоулавливания при различных системах регулирования питания электрофильтра блока 200 МВт. Ст. №9 Кураховской ТЭС. Горловка: ОАО “Донбассэнерго”, 2001. — 32 с.

2. Качан В. М., Акініна А. Г. Вибір і розрахунок електрофільтрів на ЕОМ. Научн-техн.: Сб. — Вып. 23. Серия: Технические науки. — К.: Техніка, 2000. — С. 120—124.

3. Акініна А. Г., Качан В. М. Математична модель процесу пиловловлювання в електрофільтрах // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: Зб. Доповідей X Всеукраїнської наукової конференції аспірантів і студентів. Т.1. Донецьк: ДонДУ, ДонДАУ, 2000. — С. 20—21.