

Х. Х. АРУКЮЛА, Л. А. САКС

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ЭСТОНСКИХ ГОРЮЧИХ СЛАНЦЕВ

Технико-экономические показатели, характеризующие эффективность эксплуатации тепловых электростанций, зависят и от случайных факторов. К ним относятся непредвиденные отклонения нагрузки от запланированных значений, отклонения работы агрегатов от нормативных параметров, обусловленные, например, колебаниями температуры воздуха и охлаждающей воды, а также качества топлива, поступающего в котлы [1]. Учет таких факторов позволяет уточнять исходную информацию, прогнозировать и планировать технико-экономические показатели электростанций и мероприятия по управлению грузопотоками и качеством топлива.

Системы топливоподачи и топливоприготовления электростанций наряду с заданными объемом и качеством (гранулометрический состав, влажность) готовой топливной пыли должны обеспечивать также равномерное распределение потенциального выделения топливом тепла по горелкам и стабильное, соответствующее нагрузке котла, дозирование топлива во времени [2]. Заметим, что перерасход топлива из-за неоптимальных режимов котлоагрегатов на Прибалтийской и Эстонской ГРЭС составляет от 0,1 до 1,4% [3, 4].

Неравномерность раздачи топлива по горелкам (статическая неравномерность) и колебания ее во времени (динамическая неравномерность) приводят к возникновению восстановительных зон и перекосам температурных полей в топке, что способствует шлакованию экранов и удорожает ремонт котлоагрегатов [5]. На Прибалтийской и Эстонской ГРЭС суммарная неравномерность раздачи потенциального тепловыделения сланца по горелкам котлов складывается из массовых, качественных и селективных (статических и динамических) неравномерностей [2].

— Массовая, или количественная, неравномерность раздачи топлива зависит от работы питателей сланца в пылесистемах и от количественного деления пыли одной мельницы между горелками.

— Качественная неравномерность зависит от таких показателей, как теплота сгорания, влажность, зольность и содержание карбонатной двуокиси углерода, либо характеризующих сланец, одновременно выходящий из бункеров топлива пылесистем одного и того же котла, либо представляющих собой средние значения, определенные для сланца из отдельных котлов, и т. д.

— Селективная неравномерность зависит от расхождения в свойствах частиц сланца и породы (например, по плотности или крепости) и обуславливает неодинаковые значения теплоты сгорания и других показателей пыли при аэрированном делении ее между горелками одной мельницы или между нижней и верхней частями одной щелевой горелки.

В настоящей статье рассматривается качественная неравномерность следующих показателей сланца: высшей теплоты сгорания Q_s^d и низшей теплоты сгорания Q_i^r , зольности A^d , содержания карбонатной двуокиси углерода $(CO_2)_M^d$ и влажности W_i^r , неоднородность которых сильнее всего влияет на работу котлов и электростанций. Поступающее на электростанции топливо неоднородно по качеству из-за сложного строения и изменчивости параметров рабочего пласта горючего сланца Прибалтийского бассейна в зависимости от координат [6]. Качество сланца зависит также от способа и системы разработки и переработки (подземная и открытая разработка, камерная система разработки, комбайновая выемка, селективная и валовая выемка на разрезах, обогащение сланца) и от места добычи — в нашем исследовании это шахты «Эстония», «Виру» и «Таммику» и разрезы «Сиргала», «Нарвский» и «Вийвиконна».

Таблица 1

Характеристика слоев сланца и прослоек известняка шахты «Эстония»

Слой	Мощность, м	Плотность, т/м ³	Производительность, кг/м ²	W_i^r , %	A^d , %	Q_s^d , МДж/кг	$(CO_2)_M^d$, %	Элементный состав, %			
								C_o^{daf}	H_o^{daf}	N_o^{daf}	S_i^d
Данные [7]											
A	0,12	1,50	180	7,8	46,8	28,43	12,7	82,2	9,0	0,5	1,5
A'+A'/A	0,23	2,02	465	6,2	63,0	14,82	21,4	82,3	8,5	0,5	1,3
B/A	0,19	2,36	448	1,7	63,9	0,57	33,3	—	—	—	0,5
B	0,40	1,43	572	5,5	36,1	32,87	10,2	83,3	9,5	0,33	2,6
C/B	0,09	2,21	199	1,7	56,7	5,32	38,2	—	—	—	0,4
C	0,43	1,67	718	4,7	49,3	18,88	24,5	83,7	9,1	0,32	1,4
D/C	0,28	2,52	706	0,5	61,9	0,30	37,7	—	—	—	0,3
D	0,06	1,73	104	5,3	57,1	17,04	21,3	80,5	9,2	0,10	0,9
E/D	0,07	2,21	155	2,7	57,0	4,65	36,5	—	—	—	0,3
E	0,26	1,60	416	6,8	44,9	24,04	20,2	85,1	8,9	0,9	1,6
E _{ч.к}	0,33	1,60	528	5,4	45,9	19,67	25,6	84,0	9,2	0,6	2,1
F	0,31	1,76	546	4,2	51,5	16,96	25,8	74,6	9,2	0	1,5
Расчетные данные авторов											
\bar{x}	0,23	1,88	420	4,2	52,2	15,49	25,5	82,1	9,1	0,41	1,3
σ	0,13	0,37	214	2,1	8,9	10,49	8,6	3,3	0,3	0,26	0,73

Примечание. \bar{x} — среднее значение параметра, σ — стандартное отклонение, здесь и в таблицах 2, 3, 5.

Образцы сланца и известняка из шахты «Эстония», расположенной в южной части центрального района Эстонского месторождения, были изучены в Институте обогащения твердого топлива [7]. Обработанные нами результаты (см. табл. 1) свидетельствуют о том, что ряд варьируемости показателей качества сланца всех слоев по коэффициенту вариации, %: для теплоты сгорания 67,7, влажности 50,9, содержания карбонатной двуокиси углерода 33,5 и зольности 17,0 — еще раз подтверждает наши выводы [2]. В элементном составе сланцевых слоев наиболее стабильно содержание углерода и водорода с коэффициентами вариации 4,1 и 3,1%.

В Эстонском филиале Института горного дела им. А. А. Скочинского под руководством Э. Я. Рейнсалу [8, 9] и В. А. Каттая [6] выполнен ряд работ, на основе которых составлен банк горно-геологической информации по квадратной сетке с ячейками 4×4 км. По этим элементарным участкам можно с достаточной степенью точности прогнозировать для любого района Прибалтийского бассейна горючих

Статистическая оценка теплоты сгорания сланца по пластовым пробам на предприятиях ПО «Эстонсланец» (1981—II полугодие 1982 г.)

Предприятие	Число камерных блоков (траншей)	Число проб	Q_s^d , МДж/кг				$V, \%$
			x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	σ	
Шахты:							
«Эстония»	25	25	9,17	12,85	11,52	0,82	7,13
«Таммику»	21	21	11,26	14,99	12,17	0,87	7,12
«Виру»	11	11	10,38	12,22	11,29	0,57	5,01
«Ахтме»	11	11	11,91	13,99	12,67	0,60	4,72
Разрез							
«Октябрьский»	3	14	9,71	12,39	11,01	0,63	5,75

Примечание. x_{\min} , x_{\max} — минимальное и максимальные значения параметра, V — коэффициент вариации, здесь и в таблицах 3, 4.

сланцев средние значения и коэффициенты вариации мощности и высшей теплоты сгорания по слоям, вынимаемому пласту, а также в зависимости от способа выемки и расположения шахтного поля. Статистические оценки по пластовым пробам (таблицы 2 и 3) показывают, что природная изменчивость Q_s^d сланца характеризуется сравнительно высокими коэффициентами вариации: по шахтам V_Q составляет 4,7—7,1, по разрезам — 2,8—6,9%. Коэффициент вариации, рассчитанный по данным геологической разведки шахт, в 3—4 раза больше, чем определенный по расчетным партиям [2], и это нужно учитывать при исследовании соответствующих законов распределения и моделирования работы шахт.

Таблица 3

Статистическая оценка теплоты сгорания горючего сланца по разрезам ПО «Эстонсланец» (1979—1982 гг.)

Разрез и годы	Число проб	Q_s^d , МДж/кг				$V, \%$
		x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	σ	
«Нарвский»						
1979, 1980	40	9,80	12,31	10,89	0,59	5,4
1981, 1982	32	9,86	12,43	10,86	0,51	4,6
«Сиргала»						
1979, 1980	47	9,63	13,18	11,12	0,77	6,9
1981, 1982	37	9,25	12,24	11,02	0,71	6,4
«Вийвиконна»						
1979, 1980	22	10,37	12,05	11,17	0,42	3,8
1981, 1982	17	10,68	11,92	11,09	0,31	2,8
«Октябрьский»						
1979, 1980	10	8,08	9,55	8,83	0,41	4,6

Опробование топлива на электростанциях в зависимости от цели может быть товарным или эксплуатационным [10]. Для Прибалтийской и Эстонской ГРЭС товарное опробование проводят на горнодобывающих предприятиях производственных объединений «Эстонсланец» и «Ленсланец», где для этого применяются в основном ковшовые пробоотборники. Эксплуатационное опробование топлива проводят непосредственно на электростанциях: пробоотборник с отбирающим элементом и сократителем расположены на топливоподачах в местах пересыпки сланца с наклонных конвейеров на горизонтальные перед

бункерами котлов. Установлено [10], что наиболее изменчивым показателем качества твердого топлива в случае сланца является $(CO_2)_M^d$, поэтому именно по нему, а также по зольности была исследована неоднородность сланца на Прибалтийской и Эстонской ГРЭС во время испытаний пробоотборных установок топливоподачи [2]. Оказалось, что пробы представительны по содержанию карбонатной CO_2 и имеют стандартные отклонения по отдельным порциям σ_{CO_2} не более 2% и коэффициент вариации V_{CO_2} не более 9%. Погрешность определения суточной пробы $\Delta(CO_2)_M^d$ не превышает 0,5% при числе порций 90 и вероятности 0,95 [2]. По Эстонской ГРЭС периодичность срабатывания заводных механизмов пробоотборников составляет 9—11 мин, что примерно соответствует времени разгрузки двух вагонов. Это значительно меньше времени разгрузки одного звена вагонов (11—16 вагонов, обычно с одного разреза), которое характеризуется периодом однозначных колебаний 60—90 мин и меньшим значением стандартного отклонения ($\sigma_{CO_2} \leq 0,6\%$). Диапазон изменчивости качества сланца в пределах одного звена вагонов существенно меньше, чем между звеньями вагонов из разных уступов и разрезов [2].

Таблица 4

Статистическая оценка качественной неоднородности горючего сланца

Показатель		x_{\min}	x_{\max}	A	E	z	ω
W_i^r , %	1	7,1	13,3	0,11	-0,11	3,14	0,32
	2	8,0	11,0	0,64	0,57	1,78	0,39
	3	8,1	11,4	0,36	-0,50	3,72	0,29
$Q_{s,i}^d$, МДж/кг	1	7,62	13,48	-0,04	-0,09	1,75	0,40
	2	7,49	13,82	0,10	-0,12	2,70	0,35
	3	8,92	12,43	-0,11	-0,74	4,43	0,25
$Q_{i,i}^r$, МДж/кг	1	6,31	10,80	0,02	-0,10	0,81	0,45
	2	6,10	11,39	0,14	-0,09	3,15	0,38
	3	7,30	10,11	0,10	-0,77	4,41	0,25
$(CO_2)_M^d$, %	1	17,2	27,1	0,26	0,25	1,28	0,43
	2	17,7	26,3	-0,21	0,10	-1,16	0,51
	3	18,9	25,0	0,10	-0,13	3,98	0,28
A^d , %	1	45,0	51,6	-0,20	-0,51	2,21	0,37
	2	44,2	52,9	0,01	-0,27	2,69	0,35
	3	46,3	50,7	0,03	-0,75	4,85	0,22

Примечание. A, E — асимметрия и эксцесс, z — выборочное значение по критерию знаков, ω — частота колебаний; 1, 2, 3 — промышленные эксперименты по определению качественной неоднородности сланца на Эстонской ГРЭС: 1 — 16.03.1983 (число порций $n=75$), 2 — 11.07.1983 ($n=75$), 3 — 10.07.1983 ($n=80$, сланец со складов разрезов), здесь и в таблицах 5 и 6.

Хотя при испытаниях пробоотборных установок топливоподачи электростанций определяются такие показатели, как $(CO_2)_M^d$ и A^d [10], ГОСТ 7754-84 лимитирует другие показатели качества горючих сланцев Прибалтийского бассейна, поставляемых для пылевидного сжигания, а именно теплоту сгорания, массовую долю рабочей влаги и размеры кусков. Для сравнения варьирования качества сланца по содержанию карбонатов, зольности, теплоте сгорания и влажности в марте и июле 1983 г. на Эстонской ГРЭС и разрезах были проведены промышленные эксперименты по определению неоднородности сланца и коэффициента усреднения. 16 марта и 11 июля 1983 г. сланец грузили, в основном, из траншей разрезов «Сиргала», «Вийвиконна» и «Нарвский» прямо через бункера в вагоны, а 10 июля 1983 г., при изучении усреднения, — из складов этих разрезов. Всего же в ходе промышленных экспериментов за 3 сут из пробоотборника было

отобрано 230 порций массой от 1490 до 4630 г (в среднем 2440 г) с интервалами от 1 до 65 мин (в среднем 9,2 мин) при количестве сланца на конвейере от 4 до 451 т за интервал (в среднем 168 т).

Таблица 5

Сводная таблица показателей качественной неоднородности горючего сланца

Экспе- римент	Теплота сгорания сланца*						W^r , %			A^d , %			$(CO_2)_M^d$, %		
	Высшая			Низшая			\bar{x}	σ	V	\bar{x}	σ	V	\bar{x}	σ	V
	x	σ	V	x	σ	V									
1	10,68	1,29	12,04	8,69	1,00	11,50	9,9	1,2	12,2	48,6	1,5	3,15	21,8	1,9	8,88
2	10,53	1,34	12,68	8,60	1,12	13,02	9,2	0,6	6,7	48,5	1,9	3,83	22,1	1,7	7,60
3	10,66	0,82	7,71	8,67	0,65	7,45	9,4	0,8	8,4	48,4	1,1	2,19	22,1	1,5	6,67

* x , σ — МДж/кг, V — %.

Качественные показатели определяли, анализируя пробы по порциям, в химических лабораториях производственного объединения «Эстонсланец», Эстонской ГРЭС и Таллинского политехнического института. Математическая обработка результатов показала, что наиболее изменчивым показателем качества сланца (кроме W^r) является теплота сгорания [2] (таблицы 4 и 5), а не содержание карбонатов, как утверждалось авторами [10]. Коэффициент вариации V_Q по порциям составил в рабочие дни 12,0—12,7 и в выходные (со складов) 7,7%. Это соответствует погрешности определения суточных показате-

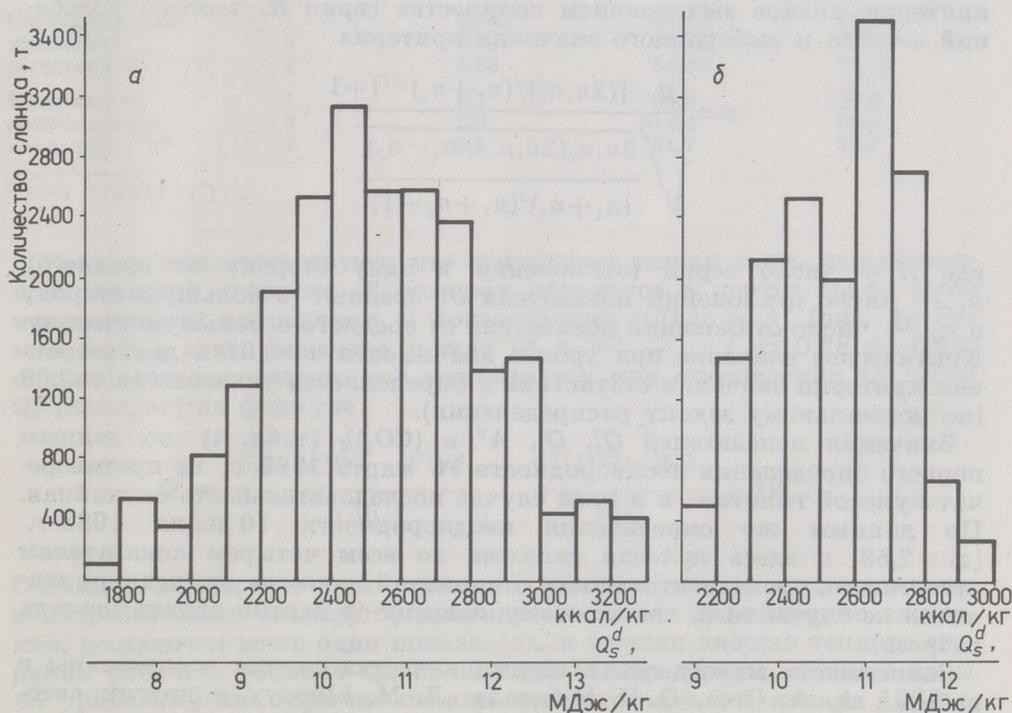


Рис. 1

Гистограммы распределения высшей теплоты сгорания горючего сланца Q_s^d , отгруженного на Эстонскую ГРЭС в будние дни 16 марта и 11 июля 1983 г. непосредственно из разрезов (а) и в воскресенье 10 июля 1983 г. со складов разрезов (б)

лей ΔV_Q , равной 1,6—2,7%, или 0,18—0,30 МДж/кг, т. е. значительно меньше базовой погрешности по ГОСТу 102 742-71 (СТ СЭВ 752—77) — 0,62—0,84 МДж/кг (150—200 ккал/кг).

По данным промышленных экспериментов, стабильность качества сланца, поступающего в бункера Эстонской ГРЭС по выходным, значительно выше (табл. 5), поскольку в такие дни сланец отгружается в основном со складов разрезов, что дает хороший усреднительный эффект (коэффициент усреднения для Q_s^d составляет 1,57—1,73). При движении сланца через склад значительно сокращается и диапазон изменения показателей качества, например для Q_s^d с 7,50—13,82 до 8,92—12,43 МДж/кг (рис. 1).

Одним из авторов настоящей статьи, Л. А. Сакс, составлены программы для статистических оценок, проверки статистических гипотез о нормальном распределении по выборочным значениям асимметрии и эксцесса и о случайности последовательности по критерию знаков и для корреляционного анализа, а также выполнены на ЭВМ ЕС-1022 вычисления и проанализированы полученные результаты. Гипотеза о нормальном распределении генеральной совокупности не отвергается, если выборочные асимметрии и эксцесс по критериям согласия удовлетворяют неравенствам $|A| < 3\sqrt{6/n}$ и $|E| < 3\sqrt{24/n}$, где n — число наблюдений (порций). Для промышленных экспериментов $n=75, 80$, и если $|A| \leq 0,82$ и $|E| \leq 1,64$, то наблюдаемое распределение можно считать нормальным.

По данным промышленных экспериментов, все показатели качества по выборочным значениям асимметрии и эксцесса имели нормальное распределение (табл. 4).

Проверку случайности выборки (последовательности) проводили по критерию знаков вычислением количества серии R , частоты колебаний $\omega=R/n$ и выборочного значения критерия

$$z = \frac{R - [(2n_1 n_2)/(n_1 + n_2)] + 1}{\sqrt{\frac{2n_1 n_2 (2n_1 n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2 (n_1 + n_2 - 1)}}},$$

где R — число серий (отклонений в одну сторону от среднего), n_1 — число отклонений показателя от среднего в большую сторону и n_2 — число отклонений показателя от среднего в меньшую сторону. Критическое значение при уровне значимости $\alpha=0,01$ и двухстороннем критерии значения статистики z определяется условием $|z| = 2,58$ (по нормальному закону распределения).

Значения показателей Q_s^d , Q_i^r , A^d и $(CO_2)_M^d$ (табл. 4) по данным первого определения неоднородности 16 марта 1983 г. не противоречат нулевой гипотезе, и в этом случае последовательность случайная. По данным же определения неоднородности 10 июля 1983 г. $|z| > 2,58$, и здесь нулевая гипотеза по всем четырем показателям отвергается, последовательность отклонений качества от среднего значения не случайна и, по-видимому, зависит от партии сланца (склада разреза).

Зависимости между показателями качества сланца исследованы в работах А. А. Отса, О. Э. Мязюла, Л. М. Ыйспу и других авторов [11—13]. Установлено, что между Q_i^r , $(CO_2)_M^d$ и A^d существуют относительно сильные корреляционные связи, что с достаточной для практики точностью позволяет как определять теплоту сгорания в функции от зольности и содержания карбонатной двуокиси углерода, так и решать обратную задачу. Корреляционный анализ зависимостей

между показателями качества при промышленных экспериментах по определению неоднородности сланца показал, что все коэффициенты корреляции между Q_s^d , Q_i^r , $(CO_2)_M^d$, A^d и W_i^r значимые. Методами парной корреляции установлены линейные зависимости Q_i^r от W_i^r , $(CO_2)_M^d$ и A^d . Определены погрешности коэффициента регрессии, значения T для проверки по t -критерию Стьюдента и надежность коэффициента корреляции (табл. 6).

Таблица 6

Расчет линейной зависимости $y=ax+b$ низшей теплоты сгорания горючего сланца от других качественных характеристик

Показатель	Экспе- римент	Зависимость Q^r от:		
		W_i^r	A^d	$(CO_2)_M^d$
Коэффициент корреляции r	1	0,635	0,937	0,958
	2	0,281	-0,980	-0,947
	3	0,489	-0,869	-0,865
Коэффициент регрессии a	1	0,525	-0,609	-0,492
	2	0,510	-0,592	-0,632
	3	0,410	-0,533	-0,380
Погрешность коэффициента регрессии σ	1	0,075	0,027	0,017
	2	0,204	0,014	0,025
	3	0,081	0,034	0,025
Значение T	1	7,02	-22,87	-28,68
	2	2,50	-41,89	-25,25
	3	4,95	-15,50	-15,20
Свободный член уравнения регрессии b	1	3,44	38,23	19,38
	2	3,94	37,28	22,60
	3	4,88	34,45	17,08
Надежность коэффициента корреляции μ^*	1	9,2	-66,5	-100,9
	2	2,6	214,3	79,5
	3	5,8	31,7	30,7

$$* \mu = (r \sqrt{n}) / (1 - r^2)^{-1}.$$

Расчеты свидетельствуют, что существует тесная связь между низшей теплотой сгорания Q_i^r , которая находится в центре графа пути максимальной корреляции, и показателями $(CO_2)_M^d$ и A^d (рис. 2). Самая слабая связь отмечена между Q_i^r и W_i^r — $|r_{\text{в}}|$ от 0,28 до 0,64, однако этот показатель уже учитывается при определении Q_i^r через Q_s^d (ккал/кг) по формуле

$$Q_i^r = \frac{0,941(100 - W_i^r)Q_i^d}{100} - \frac{45(100 - W_i^r)}{100} - 6W_i^r.$$

Очевиден вывод, что для взаимного расчета между поставщиками и потребителями сланца, предназначенного для пылевидного сжигания, достаточен всего один показатель, а именно низшая теплота сгорания рабочего топлива Q_i^r , по которой и определены оптовые цены на прибалтийские горючие сланцы, действующие с 1 января 1982 г.

Результаты многофакторного корреляционно-регрессионного анализа показывают, что линейные зависимости высшей теплоты сгорания Q_s^d от других показателей качества (A^d , $(CO_2)_M^d$) характеризуются высокими коэффициентами множественной корреляции — R от 0,99 до 1,00, — которые позволяют объяснить почти всю вариацию. Уравне-

ние для определения Q_s^d следующее: $Q_s^d = 37,94 - 0,3935A^d - 0,3736(CO_2)_M^d$; стандартное отклонение 0,12 МДж/кг.

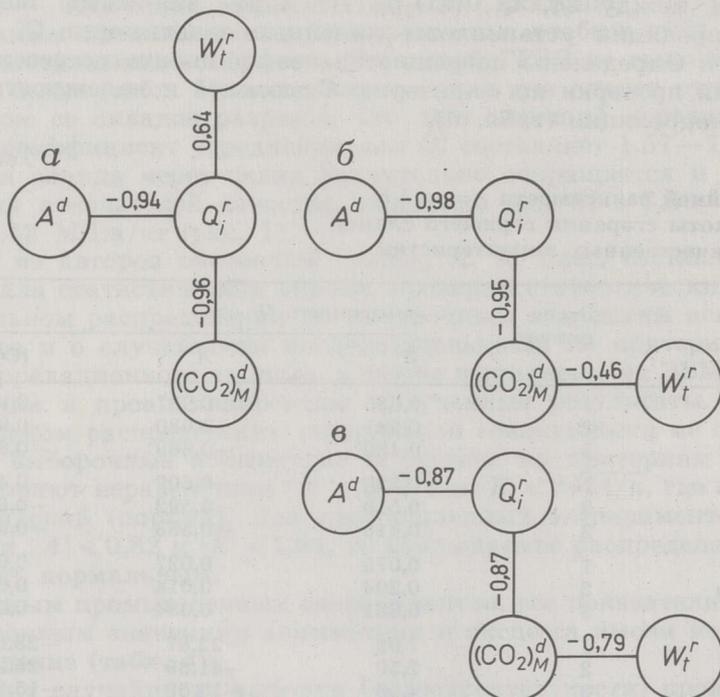


Рис. 2

Графы пути максимальной корреляции распределений показателей качества горючего сланца по порциям во время промышленных экспериментов на Эстонской ГРЭС: 16 марта (а), 11 июля (б) и 10 июля (в) 1983 г.

Основные выводы и рекомендации

1. По коэффициентам вариации и графам пути максимальной корреляции подтвержден установленный ранее ряд существенности показателей качества эстонских сланцев, предназначенных для пылевидного сжигания: теплота сгорания, влажность, содержание карбонатной двуокиси углерода, зольность.

2. Статистические оценки по пластовым, эксплуатационным и слоевым пробам показывают, что природная изменчивость теплоты сгорания характеризуется сравнительно высокими коэффициентами вариации, %: по пласту в целом на шахтах 4,7—7,1, на разрезах 2,8—6,9, по всем слоям рабочего пласта на шахтах до 68. Коэффициенты вариации, рассчитанные по данным геологической разведки шахт, примерно в 3—4 раза больше, чем определенные по расчетным партиям, что нужно учитывать при составлении модели расчета или прогноза качества сланца.

3. При промышленных экспериментах по определению неоднородности выяснилось, что наиболее изменчивым показателем качества является теплота сгорания. Коэффициенту вариации V_Q 7,5—13,0% по партиям в 100—200 т соответствовали относительные и абсолютные погрешности определения суточных показателей по электростанции, которые составили $\pm(1,6-2,7)\%$, или 180—300 КДж/кг, т. е. были значительно меньше базовой погрешности, равной по ГОСТу 102 742-71 $\pm(620-840)$ КДж/кг (150—200 ккал/кг).

4. Все определенные при промышленных экспериментах на электростанциях коэффициенты корреляции между показателями качества Q_i^r , Q_s^d , $(CO_2)_M^d$, A^d и W_t^r значимые, и поэтому для взаимных расчетов между поставщиками и потребителями сланца в преЙскуранте достаточно иметь один показатель качества — низшую теплоту сгорания Q_f^r .

5. Стабильность качества сланца, поступающего в бункера Эстонской ГРЭС по выходным дням, т. е. со складов разрезов, значительно выше, а диапазон изменения показателей качества соответственно меньше. Сокращение степени неоднородности и стабилизация качества сланца могут быть достигнуты за счет его систематического направления через склады разрезов и электростанции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Меллер К. Ю., Меллер Л. В. О влиянии случайных факторов на технико-экономические показатели работы тепловых электростанций. — Тр. / Таллин. политех. ин-т, 1980, № 490, с. 51—56.
2. Арукюла Х. Х., Бйспуу Л. М. Нестабильность и повышение однородности качества сланца, поступающего на электростанции. — Тр. / Таллин. политех. ин-т, 1984, № 567, с. 39—53.
3. Таммоя Х. Э.-И. Об экономии топлива из-за случайных факторов при оптимизации распределения нагрузок между агрегатами тепловых электростанций. — Тр. / Таллин. политех. ин-т, 1980, № 490, с. 43—50.
4. Таммоя Х. Э.-И. Некоторые результаты статистического анализа параметров режима тепловых электростанций. — Тр. / Таллин. политех. ин-т, 1976, № 403, с. 49—56.
5. Лузин П. М., Добряков Т. С., Гусев Л. Н. и др. Пылеприготовительные системы буроугольных котлов в СССР и за рубежом. — Обзор. информ. / НИИЭИформэнергомаш, 1978, № 14.
6. Каттай В. А. Общие закономерности изменения основных параметров промышленного пласта Эстонского месторождения. — В кн.: Вопросы геолого-маркшейдерской службы на сланцевых шахтах. Таллин, 1981, с. 3—13.
7. Богомолова М. Т., Иващенко Е. А., Шарикова Е. Е. Методика исследования вещественно-петрографического состава прибалтийских сланцев-кукерситов для целей обогащения — В кн.: Совершенствование методов обогащения твердого топлива. М., 1985, с. 55—60.
8. Рейнсалу Э. Я. Метод обработки горно-геологической информации на ЭВМ для прогноза техники и технологии сланцедобычи в Прибалтийском бассейне. — Горючие сланцы / ЭстНИИТИ, 1977, № 10, с. 1—5.
9. Рейнсалу Э. Я. Некоторые результаты оценки математическими методами горно-геологических условий на намечаемых к строительству сланцевых шахтах. — Горючие сланцы / ЭстНИИТИ, 1977, № 12, с. 9—14.
10. Авдеева А. А., Белосельский В. С., Краснов М. Н. Контроль топлива на электростанциях. — М., 1973.
11. Отс А. А., Саар Г. К., Махлануу А. Я. Исследование теплоты сгорания сланца. — Теплоэнергетика, 1967, № 6, с. 31—35.
12. Мяэкюла О. Э., Отс А. А. Определение состава сланцев по теплоте сгорания. — Тр. / Таллин. политех. ин-т, 1977, № 416, с. 19—24.
13. Бйспуу Л. М., Раюр К. Э. Статистический анализ работы молотковых мельниц на Прибалтийской ГРЭС. — Тр. / Таллин. политех. ин-т, 1978, № 450, с. 3—12.

Таллинский политехнический институт

Представил А. А. Отс
Поступила в редакцию
25. 04. 1985

STATISTICAL ANALYSIS OF QUALITATIVE HETEROGENEITY
IN ESTONIAN OIL SHALE

This paper reports the results of statistical analysis of the samples collected from different oil shale beds, the whole layer and marketable output of the mining enterprises of the Estonian Oil-Shale Production Association. Samples were also collected at power plants. Experiments were carried out at the Estonian Electric Power Plant.

The aim of this work was to determine the degree of heterogeneity in oil shale and to calculate the following qualitative indices: low and high calorific value Q_s^d and Q_r^i , moisture content W_t^r , carbonic acid content $(CO_2)_M^d$ and ash content A^d , elucidating also their interdependence. Analysis indicated that the low calorific value Q_r^i as the main qualitative index possesses the highest coefficient of variation as well as of correlation with other qualitative indices.

Experiments showed that the stability of qualitative indices can be considerably increased by storing oil shale in the depots of mining enterprises instead of dispatching it directly to power plants.

Tallinn Polytechnical Institute