

ОПЫТ РАБОТЫ МОЩНЫХ ШАХТНО-МЕЛЬНИЧНЫХ ТОПОК НА ПОДМОСКОВНОМ УГЛЕ

Инж. В. Н. БЕРЕЗНЕГОВСКАЯ

На одной из электростанций Мосэнерго в течение ряда лет работают отечественные котлы высокого давления с мощными шахтно-мельничными топками на подмосковном угле.

Шахтно-мельничные топки в СССР, как известно, получили широкое распространение, в особенности для сжигания низкосортных углей. Высокопроизводительные шахтно-мельничные топки отечественного производства введены в эксплуатацию сравнительно недавно, и поэтому освещение опыта их работы представляет известный интерес.

По фронту котла установлены четыре шахтные мельницы ШМА 730 (1660) 2004. Пыль подается в топку через амбразуры в передней стенке топки, вторичный воздух поступает через шлицы выше и ниже амбразур. Объем топочного пространства 1210 м^3 , длина пути факела от центра амбразур до середины фестона составляет $10,5 \text{ м}$. В табл. 1 приведены некоторые расчетные параметры по котлу и шахтно-мельничной топке.

Т а б л и ц а 1

Расчетные параметры котла ТП-230-1 с шахтно-мельничной топкой

№ п/п		
1	Паропроизводительность	230 т/час
2	Давление пара	110 ати
3	Температура пара	510°C
4	Температура питательной воды	215°C
5	Видимое теплонпряжение топочного пространства	128 т. кал/м ³ час
6	Температура газов на выходе из топки	1130°C
7	Температура уходящих газов	179°C
8	горячего воздуха	381°C
9	Коэффициент избытка воздуха в топке	1,25°C
10	Потери тепла в топке ($q_3 + q_4$)	2,0%
11	к.п.д. котла брутто	86,0%

Топливом служит подмосковный уголь несколько ухудшенной характеристики:
 $\dot{W}^P = 32 - 34\%$, $A^P = 25\%$, $Q_p^n = 2400 \text{ ккал/кг}$.

Наладка и испытание первого из введенных в эксплуатацию котлов производились ЦКТИ, ¹⁾ последующих экземпляров — службой наладки и испытания тепломеханического оборудования — Мосэнерго ²⁾.

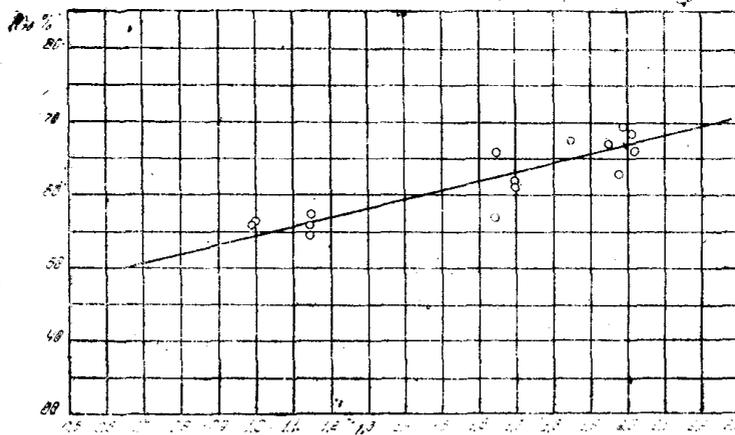
1. Мельницы

Конструктивное оформление топливоподающего узла к мельнице выполнено таким образом, что топливо к шахтным мельницам подается из бункера сырого угля при помощи открытого ленточного питателя. Тем самым не обеспечивается герметичность пылесистемы, и с топливом в шахту поступает холодный воздух.

Этот „организованный“ присос воздуха в шахту составляет до 25% количества горячего воздуха, подающегося в мельницу. Поскольку холодный воздух поступает в шахту выше размольной части мельницы, он не участвует в процессе вентиляции мельницы, а только повышает скорость в шахте, тем самым угрубляя помол пыли, без увеличения производительности мельницы. С другой стороны, присос холодного воздуха ухудшает условия сушки в мельнице и в шахте. Этот дефект в конструктивном выполнении топливоподающего узла явился одной из основных причин ухудшения технико-экономических показателей работы шахтно-мельничных топок. На фиг. 1—5 показаны результаты испытаний мельниц.

Тонкость помола пыли, которая в шахтных мельницах зависит от скорости воздуха в шахте, колеблется в пределах от $R_{70} = 50\%$ до $R_{70} = 70\%$. При этом остаток на сите № 30 составляет от 25 до 35%.

Практически мельницы работают с тонкостью помола $R_{70} = 60-65\%$. Следует отметить, что на графике фиг. 1 по оси абсцисс отложена види-



Фиг. 1. Зависимость тонкости помола пыли от скоростей в шахте.

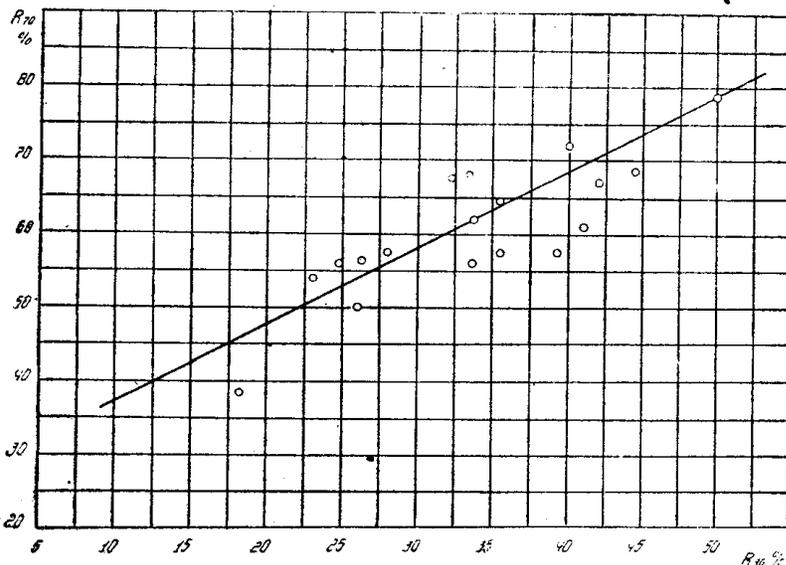
мая скорость воздуха в шахте, подсчитанная по расходу горячего воздуха. С учетом сказанного выше относительно присоса холодного воздуха в шахту, фактическая скорость в шахте примерно на 25% выше, т. е. порядка 2,0—2,3 м/сек.

Зависимость между остатками пыли на ситах № 30 и 70, показанная на фиг. 2, дает константу равномерности гранулометрического состава пыли, равную $n \approx 1,0$. Эта цифра несколько ниже обычной для шахтных мельниц $n = 1,3 - 1,6$ и характеризует несколько ухудшенный гранулометрический состав пыли.

¹⁾ Руководитель бригады инженер Бургвиц Г. А.

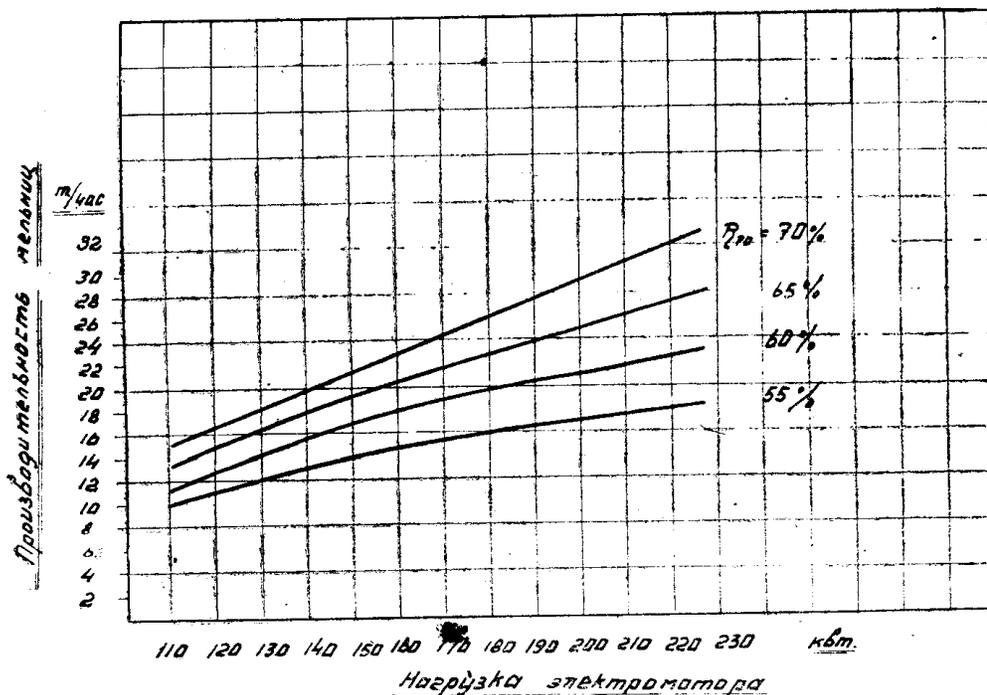
²⁾ Руководители бригад инженеры Гержой И. П. и Довгая М. Ф.

При тонкости помола $R_{70} = 60\%$ и нагрузке электромотора 230 квт производительность мельницы составляет 24—28 т/час, или 7,3—8,5 т на 1 м² активного сечения ротора мельницы (см. фиг. 3). При холостом



Фиг. 2. Зависимость между остатками пыли на ситах № 30 и 70.

ходе мельницы, т. е. при нагрузке электромотора 110—115 квт, производительность мельницы составляет около 12 т/ч.

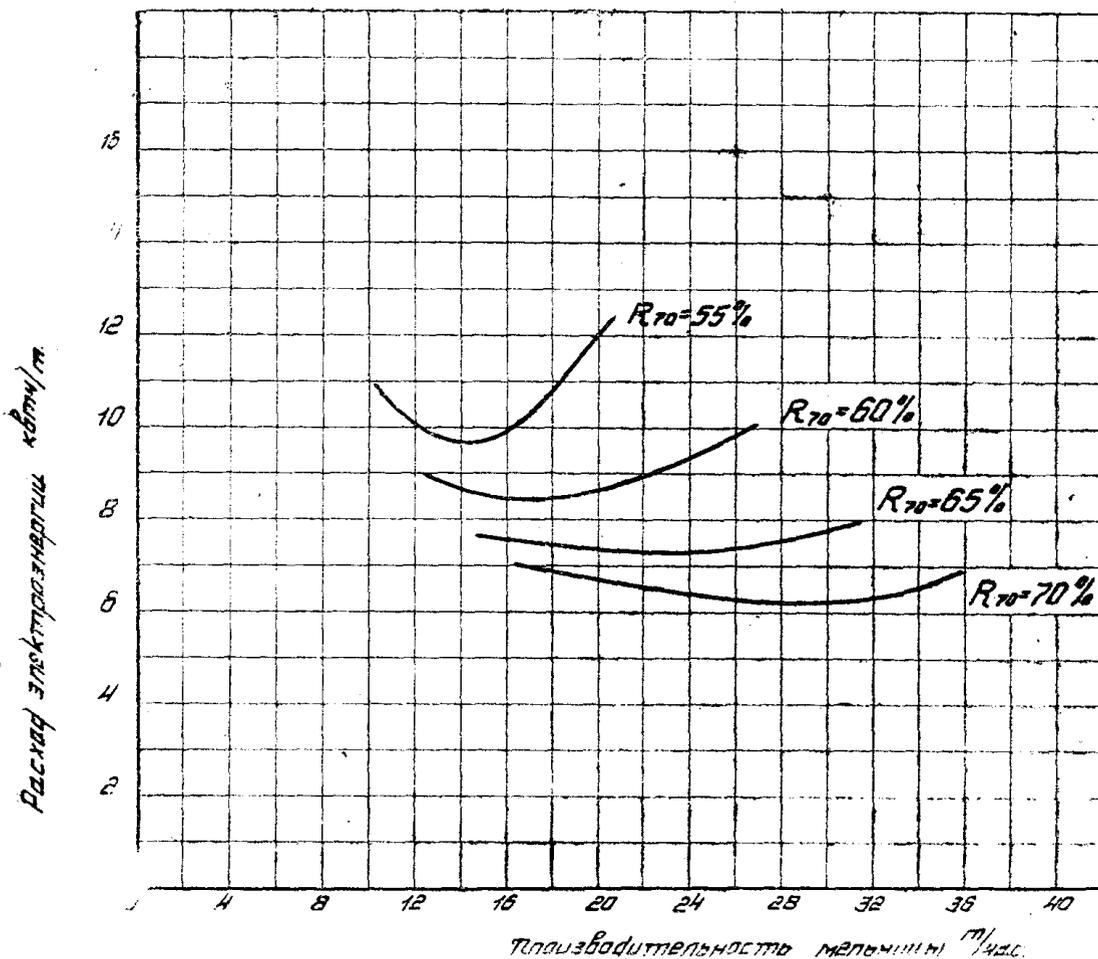


Фиг. 3. Производительность мельницы при различной нагрузке электромотора и различной тонкости помола

Возможность получения некоторой производительности при мощности холостого хода мельницы, т. е. без дополнительной затраты энергии, является особенностью шахтных мельниц. Это следует объяснить тем, что при ра-

боте мельницы без угля к. п. д. мельницы, как вентилятора, очень низок. Подача топлива в мельницу уменьшает паразитные вихри и повышает к. п. д. мельницы, как вентилятора. Это и дает возможность производить полезную работу по размолу некоторого количества топлива без дополнительной затраты энергии.

На фиг. 4 показано изменение удельных расходов электроэнергии на размол в зависимости от тонкости помола пыли и производительности мельницы. Эти кривые для шахтных мельниц имеют характерную форму, отличную, например, от барабанно-шаровых мельниц: для каждой тонкости



Фиг. 4. Изменение расхода электроэнергии на помол в зависимости от тонкости помола и производительности мельницы.

помола кривая имеет оптимум при некоторой производительности мельницы. Чем грубее помол, тем более высокой производительности мельницы соответствует этот оптимум.

При снижении производительности мельницы ниже оптимальной (что соответствует левой ветви кривых фиг. 4) расход электроэнергии на тонну помола возрастает, так как при этом возрастает влияние холостого хода мельницы.

При повышении производительности мельницы выше оптимальной (правая ветвь кривых) расход электроэнергии на размол возрастет, так как нагрузка электромотора растет быстрее, чем производительность мельницы.

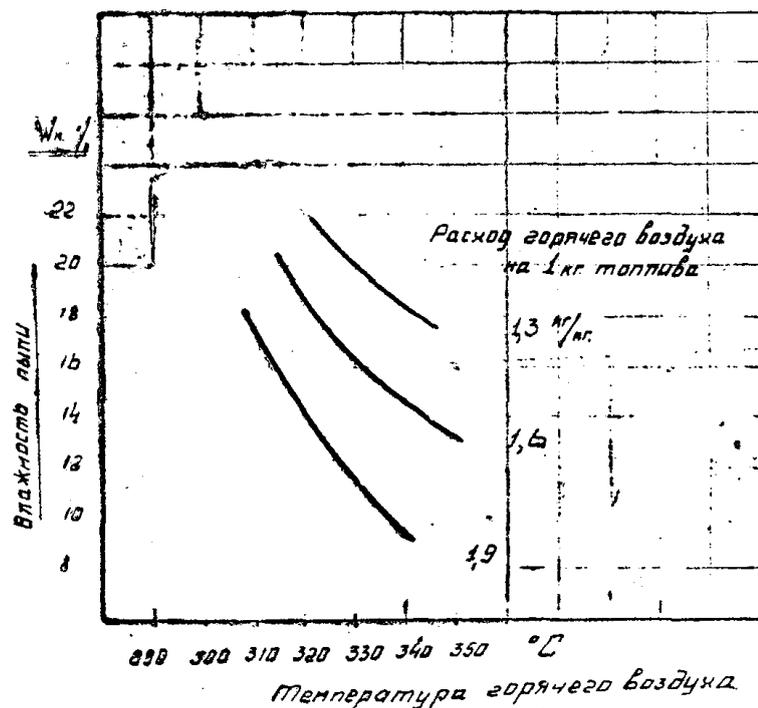
Таким образом, необходимо всегда стремиться работать не с максимальной, а с оптимальной производительностью мельниц, что в данном случае при тонкости помола $R_{70} = 60-65\%$ составляет от 18 до 22 т/час или

6—6,5 *т* на 1 *м*² живого сечения ротора мельницы. В соответствии с этим и в зависимости от нагрузки котла необходимо держать в работе то или иное число мельниц. В эксплуатации это условие не всегда удается соблюдать; кроме того, по мере износа бил показатели работы мельниц также ухудшаются. На фиг. 6 показаны эксплуатационные показатели работы шахтных мельниц за 1950 г. Как видно из графика, среднеэксплуатационная производительность мельниц составляет от 17 до 20 *т/час*, расход электроэнергии—9—10 *квтч/т*. Тонкость помола пыли в эксплуатации не контролируется.

Сушка топлива в мельницах производится горячим воздухом. По расчету, при расходе горячего воздуха в количестве 1,8 *кг* на 1 *кг* топлива и температуре его 381°С, топливо в мельнице должно подсушиваться на величину $W_p - W_n = 19\%$, где W_p — влажность сырого угля, W_n — влажность пыли.

Таким образом, при влажности сырого угля $W_p = 33 - 35\%$, влажность пыли должна составлять 14—16%.

В действительности условия сушки в мельнице значительно хуже. Температура горячего воздуха, вследствие недостаточной поверхности нагрева воздухоподогревателя, ниже расчетной примерно на 40—50°С и держится

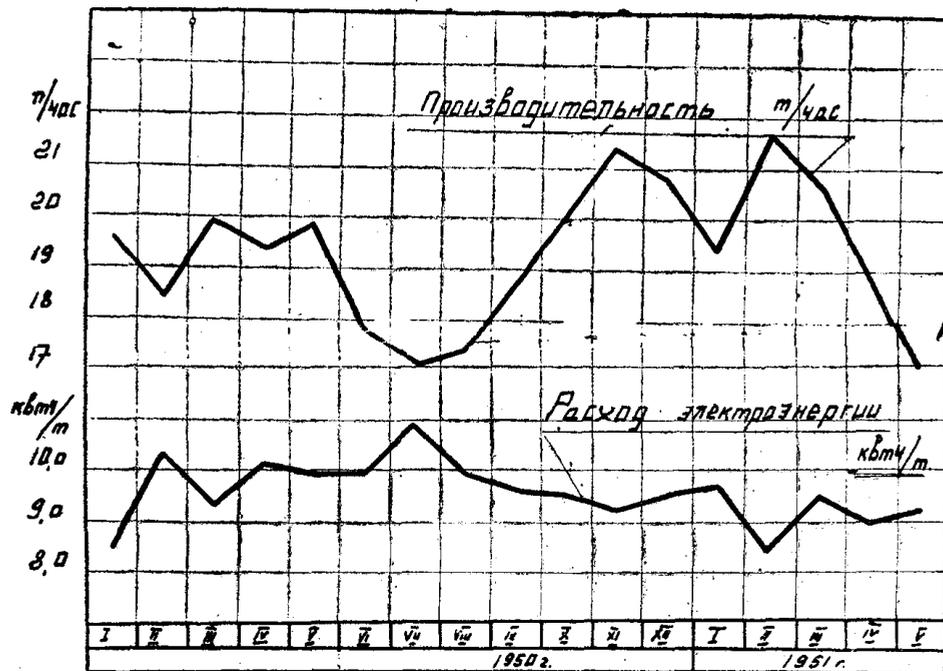


Фиг. 5. Изменение влажности пыли в зависимости от температуры и расхода воздуха.

в пределах 300—335°С, в зависимости от нагрузки котла. Далее, как уже было указано выше, в мельнице имеет место присос холодного воздуха через питатели сырого угля в размере около 25% от количества горячего воздуха, поступающего в мельницу. В результате при той же вентиляции мельницы расход горячего воздуха снижается, примерно, на 25% против расчетного, что приводит к повышению влажности пыли. На фиг. 5 показано изменение влажности пыли, выдаваемой шахтными мельницами, при различной температуре и различном расходе горячего воздуха на 1 *кг* топлива.

При присосе холодного воздуха в мельницу в размере 25% (что соответствует снижению расхода горячего воздуха, подаваемого к мельнице,

от расчетного 1,8 кг/кг до 1,35 кг/кг) и при температуре горячего воздуха 330°C влажность пыли возрастает до 20%. Такая влажность пыли для подмосковного угля является явно завышенной. Обычно пылеугольные топки



Эксплуатационные показатели работы шахтных мельниц

Фиг. 6. Эксплуатационные показатели работы шахтных мельниц.

с барабанно-шаровыми мельницами работают с влажностью пыли не выше 16—17%.

Топка

В результате наладки теплового режима топки котлов в настоящее время работают без химической неполноты горения.

Содержание горючих в уносе составляет в условиях испытаний 1—1,5%; в эксплуатации оно держится на уровне 2—2,5%, что соответствует потере тепла с механической неполнотой горения $q_4 = 1,5—1,75\%$. Эту цифру для подмосковного угля следует считать несколько повышенной; котлы с барабанно-шаровыми мельницами обычно имеют потерю с механическим недожогом менее одного процента. Потеря q_4 в значительной мере зависит от коэффициента избытка воздуха в топке.

Как видно из фиг. 7, q_4 приобретает минимальное значение при α за пароперегревателем 1,36—1,35, т. е. при коэффициенте избытка воздуха в топке $\alpha_m = 1,25—1,30$.

При снижении коэффициента избытка воздуха в топке ниже $\alpha_m = 1,20$ появляется химическая неполнота горения. При нормальной нагрузке котла теплонпряжение топочного пространства равно 128 тыс. ккал/м³ час. Топка работает устойчиво на широком диапазоне нагрузок и при любом количестве работающих мельниц от 2 до 4.

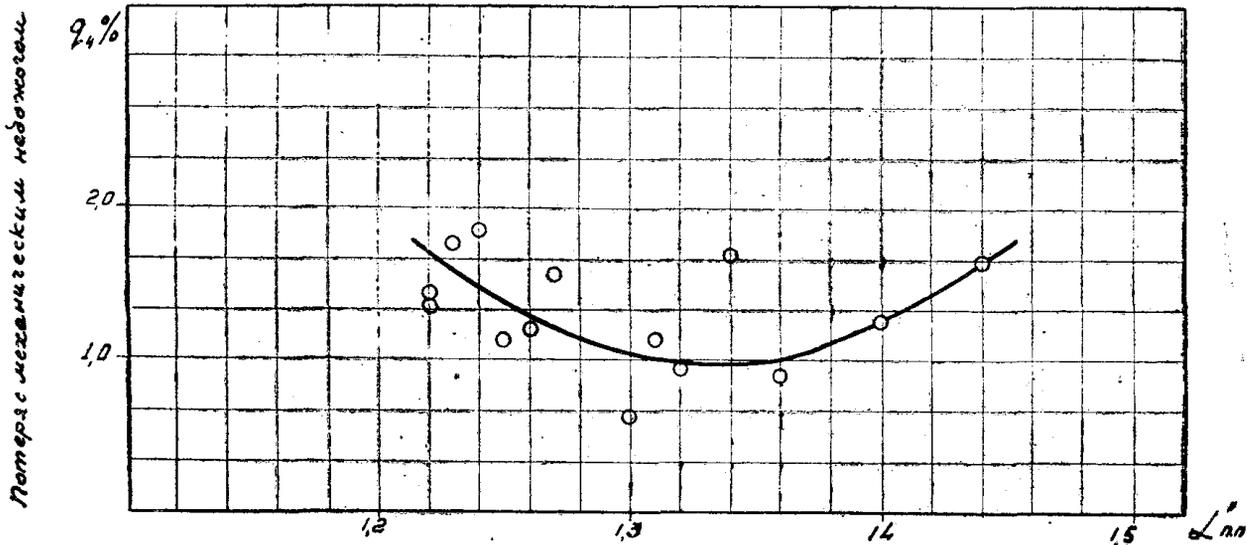
Минимально-устойчивая нагрузка составляет около 50% от номинальной, что соответствует теплонпряжению топочного пространства 65 тыс. ккал/м³ час.

Несмотря на то, что горение протекает устойчиво, наблюдается непрерывная пульсация факела в топке. Причину пульсации не удалось еще детально выяснить, но очевидно, что она может явиться следствием следующих факторов:

1) пульсации аэропотока, выходящего из амбразуры. Эта пульсация ясно видна на модели шахтной мельницы. 1) В гравитационной шахте мельницы при отсутствии сепарационных и других вставок имеет место некоторая циркуляция воздушного потока, способствующая созданию пульсации на выходе из амбразуры;

2) высокой и меняющейся по времени влажности пыли.

Это обстоятельство в совокупности с присосом через шахту довольно значительного количества холодного воздуха создает недостаточно устойчивый баланс воспламенения в корне факела, что и приводит к пульсации.



Фиг. 7. Зависимость потери тепла с механическим недожогом от коэффициента избытка воздуха за пароперегревателем.

Путем более тщательной регулировки топочного режима представляется возможным временами снизить интенсивность пульсации, но полностью ликвидировать ее не удастся.

Отдельные составляющие воздушного баланса топки представляют собой следующие величины: 1) первичный воздух, поступающий с пылью через амбразуры—45%,

в том числе а) горячий воздух—35%,

б) присос через питатель угля—8%,

2) вторичный воздух через верхние и нижние шлицы—50%;

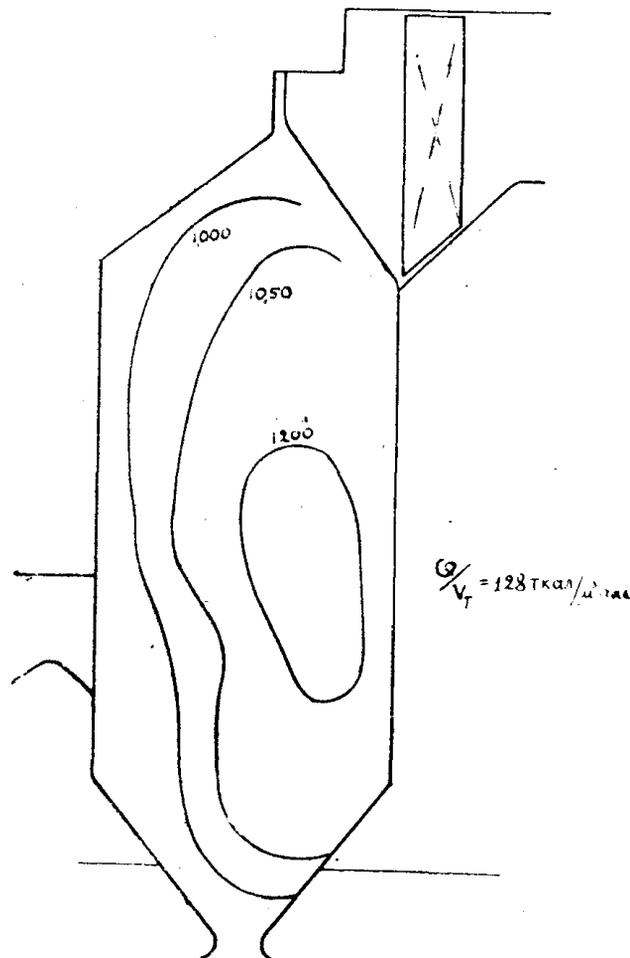
3) присос через неплотности топки—7%.

На фиг. 8 показаны изотермы топочного пространства при теплонапряжении, близком к расчетному, и работе трех мельниц. Как видно из этого графика, даже при расчетной нагрузке котла уровень температур в топке остается низким. Факел растянут, ядро горения выражено слабо. Зона максимальных температур расположена у задней стенки, несколько выше мельничных амбразур. Низ топки слабо заполнен факелом, загорание пыли происходит не непосредственно по выходе из амбразуры, а на некотором расстоянии.

1) М. А. Наджаров. Изучение размола и сепарации на модели шахтной мельницы. Отчет МОЦКТИ, 1949 г.

Распределение температур по ширине топки неравномерно и зависит от количества и сочетания работающих мельниц. При значительной ширине топки—10 м подача аэропыли через амбразуры сечением $1,56 \times 1,56$ м, т. е. несколькими мощными потоками, естественно, не может способствовать созданию равномерного температурного поля. Это особенно становится заметным у котлов ТП-230-1, где у пароперегревателей отсутствуют смешивающие коллекторы и температуры пара по отдельным выходным змеевикам отражают характер распределения температур по ширине газового потока.

Замечено, что при остановке одной из мельниц против неработающей амбразуры образуется зона пониженного давления, куда устремляется факел от соседних работающих мельниц. В результате против неработающей мельницы создается известный пик температур, который вызывает местное



Фиг. 8. Изотермы топочного пространства при $Q/V T = 128$ т ккал/м² час.

повышение температур пара в отдельных змеевиках перегревателя. Поэтому при работе с неполным числом мельниц для отжата факела приходится открывать воздух на шлицы неработающей амбразуры.

В целях улучшения аэродинамики топки угол наклона шлиц, первоначально составлявший 15° к горизонту, был увеличен до 52° .

Верхнему своду амбразуры был также придан некоторый наклон. Это несколько улучшило заполнение факелом низа топки и уменьшило пуль-

сацию, но полностью не разрешило вопроса организации аэродинамики топки. (Изотермы фиг. 8 сняты после осуществления этих переделок).

Была также сделана попытка отжатия факела от задней стенки при помощи дополнительной подачи воздуха через заднюю стенку, но это мероприятие себя мало оправдало.

Температура газов на выходе из топки невысока: 1000—1050°C. Она несколько ниже температуры начала деформации золы подмосковного угля, которая обычно равна 1100°C, тем не менее наблюдается шлакование фестона и первых рядов пароперегревателя.

Шлак рыхлый и при остановке котла легко удаляется, но в эксплуатации при отсутствии стационарной обдувки и при большой ширине топки вызывает ряд трудностей. Необходимо отметить, что в практике сжигания подмосковного угля, имеющего сравнительно тугоплавкую золу, нередко наблюдаются случаи шлакования фестона и пароперегревателя, т. е. рядов труб, находящихся на пути газового потока, при температуре газов на выходе из топки ниже температуры начала деформации золы.

Во всех случаях это бывает связано с неудовлетворительной аэродинамикой, когда факел, не делая разворота по глубине топки, устремляется от устья горелок вверх непосредственно к фестону. При этом частички золы не успевают охладиться на пути и уносятся потоком газов к фестону и пароперегревателю, где и налипают на поверхности труб.

Таким образом, напрашивается вывод о том, что шахтно-мельничная топка с упрощенными амбразами и фронтальным расположением мельниц, хорошо зарекомендовавшая себя у малых котлов, с переходом к крупным котельным агрегатам становится недостаточно совершенной. С увеличением ширины топки увеличиваются перекосы по топке вследствие подачи аэропыли отдельными мощными потоками через малое число амбразур.

Мощный и значительный по своим размерам поток аэропыли, выходящий из амбразуры, при отсутствии организации эффективного перемешивания его со вторичным воздухом, образует в топке растянутый факел без резко выраженного ядра горения, и для обеспечения полного выжигания углерода приходится работать с повышенными избытками воздуха в топке.

Таким образом, подкупающая простота конструктивного оформления шахтно-мельничных топок при переходе к мощным топкам не вполне себя оправдывает. Вопрос об этом ставился некоторыми исследователями еще несколько лет тому назад¹⁾, но в настоящее время это положение становится совершенно ясным.

В целях улучшения аэродинамики крупных шахтно-мельничных топок, проектными и наладочными организациями в настоящее время разрабатывается и апробируется ряд мероприятий: устройство клиновидных и других вставок в амбразах для рассеяния потока аэропыли и облегчения подсоса газов к корню факела, повышение выходных скоростей аэропыли до уровня, соответствующего нормальным горелкам, тангенциальный подвод вторичного воздуха выше амбразур для завихривания газового потока в верхней части топки и т. д. Все эти мероприятия находятся в стадии исследования и окончательных выводов по ним еще сделать нельзя.

Точно так же, по видимому, следует признать, что фронтальное расположение амбразур при широких топках нецелесообразно. Угловое расположение амбразур должно дать лучшее заполнение топочного объема факелом, подобно тому, как угловые горелки в этом отношении имеют ряд преимуществ перед фронтальными. Предварительный опыт одной из электростанций Мосэнерго, где котлы с угловым расположением шахтных мель-

¹⁾ Наджаров М. А. Опыт пуска и наладки мощного котельного агрегата с шахтными мельницами. Электрические станции, 1947 г., № 12.

ниц год тому назад введены в эксплуатацию и находятся в настоящее время в стадии наладки, подтверждает это положение.

Выводы

Опыт наладки и эксплуатации крупных шахтно-мельничных топок отечественного производства при сжигании подмосковного угля показал, что топочное устройство в целом работает достаточно экономично: химическая неполнота горения отсутствует, потеря с механическим недожогом составляет в условиях испытаний 1,0% и в эксплуатации 1,5—1,75% при тонкости помола пыли $R_{70} = 60—65\%$. Тем самым обеспечивается коэффициент полезного действия топки около 98%.

Расход электроэнергии на пылеприготовление составляет 8—9 *квтч/т*, что значительно ниже, чем у барабанно-шаровых мельниц—16 *квтч/т*. В дальнейшем в процессе окончательной наладки и проведения ряда мероприятий эти показатели, несомненно, должны еще улучшиться. Все это открывает широкие перспективы для дальнейшего развития и внедрения крупных шахтно-мельничных топок.

Вместе с тем, первый опыт эксплуатации таких топок дает основание сделать вывод о том, что упрощенное конструктивное решение ввода аэропыли в виде простых амбразур в этих условиях не может обеспечить хорошей аэродинамики топки, и необходимо работать над созданием более совершенного устройства, по типу приближающегося к нормальной горелке, с более высокими входными скоростями. Угловое расположение амбразур должно дать лучшее заполнение топочного объема, чем фронтальное.

Необходимо также улучшить условия сушки в мельницах и работать над совершенствованием гравитационного шахтного сепаратора для дальнейшего улучшения гранулометрического состава пыли и уменьшения количества крупных частиц в пыли, определяющих в основном величину механического недожога.