

УДК 674.05

Г.А. ШЕПЕЛЬ, И.Л. ФЛЕЙШМАН, А.А. ШУМИЛОВ

Архангельский государственный технический университет

Шепель Георгий Александрович родился в 1935 г., окончил в 1958 г. Ленинградское высшее инженерное морское училище, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники Архангельского государственного технического университета, член-корреспондент Академии электротехнических наук Российской Федерации. Имеет более 100 печатных трудов в области электротехнологии и электрификации.



Шумилов Александр Анатольевич родился в 1956 г., окончил в 1979 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники Архангельского государственного технического университета. Имеет около 20 печатных работ в области теоретической электротехники и электроснабжения промышленных предприятий.



ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СМЕРЗАНИЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Рассмотрены вопросы конструирования, расчета и исследования рабочих параметров индукционной установки для предотвращения смерзания каменного угля в бункере системы топливоподдачи электростанций.

The questions of designing, calculating and investigating the working conditions of the induction plant have been analysed with the aim of preventing coal freezing in the fuel supply system of power stations.

Одной из серьезных проблем, возникающих в зимнее время при работе систем топливоподдачи угольных электростанций, является смерзание каменного угля в бункерах и при его транспортировке.

На ТЭЦ-1 Архангельского целлюлозно-бумажного комбината (АЦБК) такое узкое место – бункера лотковых питателей, выполняющие функцию подпитки топливного тракта.

Обзор существующих способов борьбы со смерзанием сыпучих материалов в бункерах показал целесообразность их низкотемпературного ин-

дукционного нагрева. Детальный анализ физико-технических основ этого процесса выявил возможность создания установки электрофизического действия, в которой сочетается индукционный нагрев ферромагнитной стали и электродинамическое воздействие. Основным элементом такой установки служит плоский индуктор, конструирование, расчет и исследование параметров которого рассмотрено в настоящей работе.

Мощность индуктора, необходимая для оттаивания угля, включает следующее:

1) мощность, расходуемая на нагрев и плавление льда, который покрывает стенки бункера:

$$P_{\text{л}} = \frac{C_{\text{л}} (t_2 - t_1) + A m_{\text{л}}}{\tau},$$

где $C_{\text{л}}$ – удельная теплоемкость льда;

A – удельная теплота плавления льда;

$m_{\text{л}}$ – масса намерзшего льда;

t_1 – начальная температура окружающей среды (принята -45 °С);

t_2 – конечная температура нагрева (0 °С);

τ – время нагрева, $\tau = 300$ с;

2) мощность, расходуемая на нагрев от t_1 до t_2 стального листа массой $m_{\text{ст}}$,

$$P_{\text{ст}} = \frac{C_{\text{ст}} (t_2 - t_1) m_{\text{ст}}}{\tau},$$

где $C_{\text{ст}}$ – удельная теплоемкость стали;

3) конвективные потери с поверхности листа

$$P_{\text{конв}} = \alpha_{\text{конв}} (t_2 - t_1),$$

где α – коэффициент теплопередачи конвекцией, для рассматриваемого случая

$$\alpha_{\text{конв}} = 0,328 (t_2 - t_1);$$

4) потери излучением

$$P_{\text{изл}} = C_1 \left[\left(\frac{t_2}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_1}{100} \right)^4 \right],$$

где C_1 – коэффициент лучеиспускания стали;

5) тепловые потери за счет теплопроводности воздуха, смерзшегося угля и металлоконструкции учитывает коэффициент неучтенных потерь $K_{\text{н.п.}} = 2,0$ [1].

Таким образом, общие тепловые потери составят

$$P_{\text{т.п}} = K_{\text{н.п.}} (P_{\text{конв}} + P_{\text{изл}});$$

Мощность индуктора, необходимая для оттаивания угля,

$$P_{02} = P_{\text{ст}} + P_{\text{л}} + P_{\text{т.п.}}$$

Для принятых условий получим $P_{02} = 7,1868$ кВт.

Тепловой КПД

$$\eta_T = \frac{P_{ст} + P_{л}}{P_{02}},$$

что составит 90,5 %.

Размеры индуктора, расположенного в межреберном окне бункера ((0,65 × 0,65)м²), определены по методикам работ [1, 2]. Из конструктивных соображений его наружный диаметр $d_{ин}$ принят равным 0,6 м, внутренний $d_{ив}$ – 0,1 м.

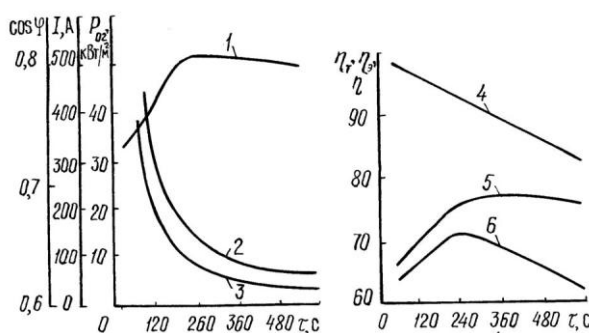
Скорректированная удельная поверхностная мощность с учетом того, что индуктор не полностью перекрывает межреберное окно, $P_{02}^1 = 11,05$ кВт/м².

Далее были определены активная мощность в загрузке, глубина проникновения электромагнитной волны в стенку бункера, напряженность магнитного поля на поверхности и в индукторе, реактивная мощность в индукторе, загрузке и зазоре, активная и реактивная мощность системы индуктор – заготовка. Электрический КПД равен 76,9 %, коэффициент мощности – 0,805, ток в индукторе – 67,1 А, число витков индуктора – 73. При проходящем по магнитопроводу магнитном потоке $\Phi = 2,702 \cdot 10^3$ Вб и магнитной индукции $B = 0,8$ Тл сечение магнитопровода составило $3,377 \cdot 10^{-3}$ м². При 2-х пакетах магнитопровода сечение пакета имеет прямоугольную форму со сторонами $d_{п} = 2$ см, $b_{п} = 10$ см, длина пакета принята равной ширине кольца индуктора.

Автоматизированный расчет основных параметров индукционной катушки был проведен по разработанной программе на ПЭВМ. С учетом параметров работы бункера, его загрузки и климатических условий за исходные данные для решения задачи были приняты напряжение на индукционной катушке и время, необходимое для оттаивания угля. Напряжение на катушке принимали 73, 110 и 220 В, что соответствует трем, двум и одной катушке, включенным в фазу. Продолжительность нагрева задавали $\tau = 60 \dots 510$ с при шаге 30 с.

В соответствии с этими данными было проведено 48 расчетов. Изменение основных характеристик индуктора во времени отражено на рисунке.

Анализ приведенных графиков и результатов расчета показывает, что $\cos \varphi$ вначале быстро возрастает от 0,72 до 0,80 при $\tau = 240$ с и затем практиче-



Изменение коэффициента мощности $\cos \varphi$ (1), удельной поверхностной мощности P_{02} (2), тока индуктора I (3), теплового η_T (4), электрического η_e (5) и полного η (6) КПД в зависимости от времени τ (напряжение на индукторе 73 В)

ски не изменяется. Мощность P_{02}^1 и ток I к концу временного интервала снижаются соответственно примерно до 10 кВт/м² и 50 А. Тепловой КПД монотонно уменьшается с увеличением τ , электрический КПД возрастает до 77 % за 300 с, далее остается практически неизменным. Общий КПД установки имеет максимум (70 %) при $\tau \approx 180$ с. Для напряжения на индукторе 110 и 220 В зависимости аналогичны.

Полученные результаты позволили выбрать такую силу тока, которая обеспечит таяние льда в конкретных условиях. С помощью найденных данных определены основные параметры индукторов для режима, соответствующего максимальному КПД установки ($\tau = 200$ с):

Напряжение, В	73	110	220
Ток, А	100	65	33
Число витков	62	93	187

Индукционная нагревательная установка это комплект из 9 индукторов. Каждый индуктор представляет собой две параллельно соединенные плоские катушки общим сечением 2×24 мм². Катушки изготовлены из провода марки ПБД сечением 2×12 мм². Индукторы снабжены двумя пакетами магнитопроводов, собранных из листов электротехнической стали Э330.

Электроснабжение установки осуществляли от цеховой электрической сети 3×380 В. Максимальная токовая нагрузка была принята 150 А. При включении в фазу трех индукторов и соединении фаз по схеме «звезда» напряжение на одном индукторе составляло 75 В. Полная расчетная максимальная мощность установки – 150 кВА, активная мощность – 36 кВт. Для компенсации реактивной мощности выбрана комплектная конденсаторная батарея КБН-0,38-100-5043.

Установка смонтирована на бункере 1-Б лотковых питателей топливно-транспортного цеха ТЭЦ-1 АЦБК. Она прошла натурные и эксплуатационные испытания и показала себя надежно работающей в различных технологических режимах и климатических условиях.

В тяжелых режимах эксплуатации (10 мин в течение каждого часа при температуре окружающего воздуха -37 °С) потребляемая за сутки электроэнергия составила около 200 кВт·ч. В результате замены тяжелого ручного труда достигается существенная экономия по фонду заработной платы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали.- М.: Энергоатомиздат, 1988. - 198 с. [2]. Шепель Г.А. Определение параметров процесса индукционного нагрева ферромагнитных сталей // Лесн. журн. - 1993. -№ 4. - С.112 - 119. - (Изв. высш. учеб. заведений).