

увеличения числа самоходных вагонов, но эти варианты признаны нецелесообразными из-за значительного усложнения организации доставочных работ.

Исходя из полученных результатов, для Рассумчоррского рудника ОАО «АПАТИТ», наиболее целесообразным было признано применение самоходных погрузочно-доставочных машин «TORO», в частности TORO-350, используя на доставке две машины. В этом случае достигается наиболее оптимальные значение производительности блока и затрат на доставку руды.

Удержание плазмы магнитным полем в технических приложениях

Гура П.С., Сысун В.И.

Петрозаводский госуниверситет

Удержание плазмы магнитным полем (МП) является ключевым вопросом проблемы управляемых термоядерных реакций, неистощимого источника энергии. Однако и в других технических приложениях (лазеры, источники света, плазменные источники для покрытия и обработки поверхностей) удержание и отрыв плазмы от стенок позволяет существенно повысить параметры плазмы и технические характеристики устройств. При этом отсутствие необходимости полной изоляции плазмы от стенок в этих приложениях и существенно более низкие параметры плазмы снимают проблему появления большей части плазменных неустойчивостей и снижают требования к параметрам удержания. Часто достаточно лишь достичь значительного уменьшения концентрации вблизи стенки. В настоящей работе рассматривается возможность удержания плазмы модулированным продольным МП при наличии осевого разрядного тока в плазме [1].

Пусть продольное МП модулировано отрезками прямых (рис.1). Разрядный электронный ток направлен вдоль оси Z с электронной скоростью V_z . Рассмотрим равновесие плазмы в поперечном направлении r , считая изменение радиуса плазмы малым на периоде модуляции. Для удержания плазмы в среднем за период модуляции должно выполняться соотношение:

$$eB_z v_j - \frac{m v_j^2}{2} = -\frac{\partial(nkT)}{n \partial r}, \quad (1)$$

где v_ϕ - азимутальная холловская скорость электронов, уравнением для которой будет:

$$v_z \frac{\partial v_j}{\partial z} = -\frac{e}{m} v_z B_r - v_j n_e, \quad (2)$$

где v_e - частота электронных столкновений,

$B_r = -\frac{r}{2} \frac{\partial B_z}{\partial z}$ - радиальная составляющая МП.

При постоянном B_r уравнение (2) есть линейное уравнение для v_ϕ и оно имеет решение:

$$v_j = v_{j_0} \exp\left(-\frac{n_e z}{v_z}\right) - \frac{e v_z}{2 m n_e} B_r \left[1 - \exp\left(-\frac{n_e z}{v_z}\right)\right] \quad (3)$$

Отсюда видно, что v_ϕ пропорционально $\frac{e \Delta B}{m n_e}$, тогда можно положить:

$$-\frac{\partial(nkT)}{n \partial r} = e B_z v_j - \frac{m v_j^2}{2} = A \frac{e^2 r \Delta B^2}{m}, \quad (4)$$

где коэффициент A зависит от отношения $\frac{n_e}{v_z}$

и параметров модуляции МП. Решением уравнения (4), при слабом изменении температуры электронов, будет:

$$\frac{n}{n_0} = \exp\left(-\frac{A e^2 \Delta B^2 r^2}{2 m k T}\right), \quad (5)$$

где n_0 - концентрация на оси.

Формула (5) даёт резкий спад концентрации по радиусу и, предполагая её значение на границе $n_{rp} = n_0 e^{-2} = 0,135 n_0$, можно определить необходимое для удержания значение $A \Delta B^2$:

$$A \Delta B^2 = \frac{4 m k T}{e^2 r_{rp}^2}. \quad (6)$$

Рассмотрим конкретное значение коэффициента A.

При отсутствии столкновений, согласно (2), v_ϕ определяется локальным значением магнитного поля (известная теорема Буша):

$$v_j = \frac{e r}{2 m} \left(B_z - B_0 - \frac{\Delta B}{2} \right).$$

Тогда

$$e B_z v_j - \frac{m v_j^2}{2} = \frac{e^2 r \Delta B^2}{24 m} - \frac{e^2 r \Delta B^2}{48 m} \quad \text{и}$$

$$A = \frac{1}{48}. \quad \text{Согласно (6) будем иметь:}$$

$$\Delta B = \frac{8 \sqrt{3 m k T}}{e r_{rp}}; \quad v_{j \max} = \frac{e r \Delta B}{4 m} = 2 \sqrt{\frac{3 k T}{m}}.$$

Таким образом, необходимая скорость превышает тепловую скорость, что приводит к бунемановской неустойчивости и турбулентности плазмы. При этом скорость v_ϕ ограничивается тепловой и удержание плазмы не достигается. Отметим, что постоянная составляющая магнитного поля B_0 не влияет на эффект удержания.

При большой частоте столкновений $\left(\frac{n_e L}{v_z} \gg 1\right)$, $v_j = \pm \frac{e v_z r \Delta B}{2 m n_e L}$.

$\int_0^L e B_z v_j dt$ на участках нарастания и спада магнитного поля равен $\frac{e^2 v_z r}{2 m n_e} \Delta B \left(B_0 + \frac{\Delta B}{2} \right)$ и противоположен по знаку, так что его среднее значение на периоде равно нулю и $A \rightarrow 0$.

Однако, при $L_2 \ll L_1$ возможен вариант, когда ограничение v_ϕ тепловой скоростью будет только на участке расширения L_2 и тогда эффект сжатия на участке L_1 будет превышать эффект расширения на участке L_2 с суммарным сжимающим эффектом. Постоянная составляющая магнитного поля B_0 в этом случае может увеличить этот эффект сжатия. Действительно:

$$\begin{aligned} \overline{e B_z v_j} + \frac{m v_j^2}{2} &= \frac{e^2 v_z r \Delta B}{2 m n_e (L_1 + L_2)} \left(B + \frac{\Delta B}{2} \right); \\ A &= \frac{v_z}{2 n_e (L_1 + L_2)} \left(\frac{B_0}{\Delta B} + \frac{1}{2} \right) \\ B_0 \Delta B + \frac{\Delta B^2}{2} &\approx B_0 \Delta B = \frac{4 m k T}{e^2 r_{rp}^2} \frac{r n_e (L_1 + L_2)}{v_z} \\ v_{j \max} &= \frac{4 k T}{e B_0 r_{rp}}. \end{aligned} \quad (7)$$

И условие $v_{\phi \max} < v_T$ на первом участке равносильно условию:

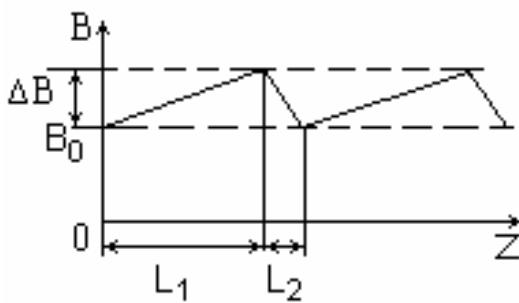


Рисунок 1. Распределение индукции магнитного поля, модулированных отрезками прямых, вдоль оси продольного разряда

Ток разряда имел прямоугольную форму, а магнитное поле практически постоянно во время горения разряда. Величина тока разряда варьировалась от 0,5А до 130А, а длительность импульсов от 0,2мс до 1мс. Максимальное значение индукции магнитного поля составляло 700Гс. Для регистрации эффекта сжатия канала разряда производилось фотографирование свечения канала разряда в промежутках между катушками магнитной системы.

Полученные экспериментальные результаты можно свести к следующему:

- Особенно эффективно сжатие канала разряда в случае знакопеременного магнитного поля.

где v_T тепловая скорость электронов; $r_{el} \approx \sqrt{\frac{kT}{m}} \approx 3,4 \frac{\sqrt{T \cdot \text{эВ}}}{B \Gamma c}$ (см) - ларморовский радиус электрона в постоянной составляющей магнитного поля.

Таким образом, для удержания плазмы необходимо выполнение условий:

$$L_1 \gg L_2; \frac{n_e L_1}{v_z} \gg 1;$$

ловий (7) и (8).

Экспериментальные исследования сжатия канала продольного разряда проводились нами для двух случаев распределения напряженности магнитного поля вдоль оси трубы – модулированного магнитного поля с постоянной составляющей (рис.1) и знакопеременного магнитного поля (рис.2). Требуемая конфигурация и величина магнитного поля достигалась при протекании импульсного тока в плоских электромагнитных катушках, составляющих магнитную систему. Для обеспечения большей протяженности участка нарастания магнитного поля по сравнению с участком уменьшения использовались ферромагнитные диски. Разряд зажигался в стеклянной трубке с внутренним диаметром 12мм в аргоне при давлении 0,05÷0,2 Торр.

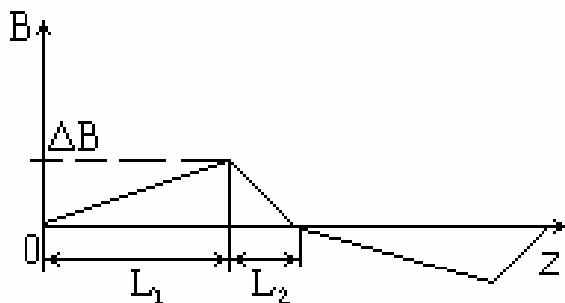


Рисунок 2. Распределение знакопеременного магнитного поля вдоль оси продольного разряда

- Эффективность сжатия повышалась при уменьшении давления газа и с увеличением крутизны нарастания магнитного поля, которая определялась величиной тока в катушках и расстоянием между катушками.

- В плоскости прохождения B_z через нуль (реверс магнитного поля) наблюдалась яркая область свечения плазмы, достигающая стенок трубы. Воздействие плазмы в местах реверса магнитного поля на стенки усиливалось по направлению от катода к аноду.

- В режимах с эффективным сжатием в знакопеременном поле наблюдался существенный рост

падения напряжения на разрядном канале, находящемся в магнитном поле.

- Сжатие канала разряда при тех же значениях тока в магнитных катушках проявлялось намного слабее в случае модулированного магнитного поля по сравнению с знакопеременным полем, однако, из-за локального выброса плазмы на стенку и наличия постоянной составляющей B_z , именно случай модулированного магнитного поля с постоянной составляющей представляется более перспективным.

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках проекта РЗ-013-02, поддерживаемого совместно Американским фондом гражданских исследований и развития (АФГИР), Министерством образования РФ и правительством Республики Карелия.

Литература:

- Сысун В.И., Хромой Ю.Д., Яковлев Д.В. и др. Авторское свидетельство СССР, №280772, 01.03.88. Дополнительное авторское свидетельство №324404, 10.03.91.

Создание системы признаков дефектов по параметрам вибрации.

Дрыгин С.Ю.

Кузбасский государственный технический университет

Целью создания системы признаков дефектов динамического оборудования одноковшовых карьерных экскаваторов по параметрам вибрации является оптимизация процесса диагностики и прогнозирования состояния конкретных механизмов. Для достижения положительных результатов необхо-

димо, во-первых, выделить те группы дефектов, по причине которых происходит выход механизмов из строя. Во-вторых, следует из этих групп дефектов выявить те, что являются первопричиной, а не следствием какого-либо другого дефекта. Третьей задачей является выбор рациональных методов выявления данных дефектов. И последним этапом является необходимость определения граничного состояния агрегата, достижение которого грозит аварийным выходом агрегата из стоя.

Основой для проведения работ по созданию системы признаков дефектов одноковшовых экскаваторов являются данные службы диагностики динамического оборудования ЗАО «Черниговец» г.Березовский Кемеровской обл.. Проведен анализ аварийных простоев экскаваторного парка ЗАО «Черниговец» за период с 2001 по 2003 год. Результаты проведенного анализа представлены в табл.1.

Как видно из таблицы основными группами отказов экскаваторного парка ЗАО «Черниговец» являются группы отказов связанные с механической частью и генераторами и двигателями. При проведении анализа отказов оборудования в этих группах выявлен ряд дефектов, причиной появления и развитие которых является неуравновешенность (дисбаланс).

Практически каждый третий подвергшийся обследованию вал нуждается в проведении работ по его балансировке, а неуравновешенность каждого шестого ротора переводит механизм в недопустимое техническое состояние. Неуравновешенностью ротора называют состояние ротора, которое во время вращения приводит к появлению центробежных сил и моментов, вызывающих переменные нагрузки на опоры ротора и его изгиб. Данное состояние ротора возникает при условии несовпадения оси вращения и главной центральной оси инерции.

Таблица 1. Соотношение причин простоев экскаваторного парка ЗАО «Черниговец» за 2001 – 2003год.

Год	Мех. часть	Генераторы, двигатели	В/в кабели и ЛЭП	Наладка	Вентиляция	Прочее
2001 г.	54%	25%	11%	6%	4%	
	4017 ч.	1850 ч.	822 ч.	467 ч.	303 ч.	
2002 г.	47%	21%	15%	10%	3%	3%
	3158 ч.	1333 ч.	966 ч.	678 ч.	219 ч.	226 ч.
2003 г.	51%	23%	11%	9%	3%	3%
	3499 ч.	1578 ч.	783 ч.	593 ч.	175 ч.	183 ч.

Для эффективной оценки уровня дисбаланса были проведены экспериментальные исследования, состоящие из пробных пусков агрегатов с заведомо идеально отбалансированными роторами и пусков этих же агрегатов с внесенным допустимым дисбалансом, определенным по номограмме (ГОСТ 22061-76 «Машины и технологическое оборудование» Система классов точности балансировки.), с одновременной регистрацией параметров механических колебаний на частоте вращения ротора. Принято, что все испытуемые машины относятся к группе G 6.3. За частоту вращения роторов электрических машин принята максимальная рабочая частота вращения.

Полученные результаты принимаем за границу оценки «хорошо», согласно рекомендациям ISO 2372 подняв уровень на 8 дБ (в 2,5 раза) получаем верхнюю границу «удовлетворительно», затем на 4 дБ (в 1,6 раза) - «допустимо». Сводные результаты представлены в табл. 2.

Полученные в результате проведенных исследований нормы оценки дисбаланса валов опровергнуты реально действующих агрегатах. Демонтаж и дефектовка агрегатов, с выявленными дефектами дали подтверждение экспериментально полученных данных.