

УДК 621.313.84

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И СИЛЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРАТОРА ДЛЯ КРИСТАЛЛИЗАТОРА МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

Т.В.Виштак<sup>1</sup>, И.П.Кондратенко<sup>2</sup>, докт.техн.наук, А.П.Ращепкин<sup>3</sup>, докт.техн.наук  
<sup>1,2,3</sup> – Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

*Разработана математическая модель и проведены численные расчеты распределения магнитных полей в конструктивных элементах электромагнитного вибратора принятого исполнения с использованием постоянных магнитов для системы качания кристаллизатора машины непрерывного литья заготовок. Установлены функциональные зависимости потокосцепления обмотки и электромагнитной силы вибратора в зависимости от положения якоря и тока обмотки. Для принятого конструктивного исполнения определена электромагнитная сила, действующая на подвижную часть вибратора. Проведено сравнение электромагнитной силы и силы гидравлического привода равных конструктивных размеров. Библ. 4, табл. 2, рис. 2.*

**Ключевые слова:** электромагнитный вибратор, постоянные магниты, непрерывное литье, электромагнитная сила, потокосцепление, плотность тока

**Введение.** Принцип работы машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) предусматривает качание кристаллизатора с частотой 3–6 Гц и амплитудой 2–8 мм. Общая тенденция развития техники качания кристаллизатора состоит в использовании упругого подвеса и гидравлического привода. Гидравлический привод для сортовой МНЛЗ включает гидравлическую станцию с насосом, развивающим давление до 20 МПа, трубопроводы повышенного давления с системой управления, клапанами, аккумулирующую емкость примерно на 1 тонну с системой фильтрации и подогрева масла. Дополнительно имеется большое количество контрольно-измерительной аппаратуры, обеспечивающей управляемость и контролируемость процесса качания. Все это имеет повышенный уровень пожароопасности и требует соответствующих эксплуатационных расходов. Увеличение скорости разлива стали сопряжено с увеличением частоты колебаний кристаллизатора и уменьшением амплитуды. Последнее в случае гидропривода становится трудноосуществимым. Поэтому увеличение скорости разлива стали, что равнозначно увеличению производительности установленного оборудования, связывают, помимо других проблем, с созданием управляемого электромеханического привода, обеспечивающего точность установки, исключающего проблемы передачи движения через сопрягающиеся механические узлы и облегчающего эксплуатацию. Однако электромагнитное устройство более громоздко, чем гидравлическое. В связи с тем, что действующие МНЛЗ были спроектированы под установку гидропривода, возникает задача достижения удельных характеристик электромагнитных вибраторов, сравнимых с гидроприводом.

**Модельное представление вибратора.** Согласно разработкам Новокраматорского машиностроительного завода сортовой МНЛЗ высота вибратора не должна превышать 1 м, а наружный диаметр – 0,33 м. При этом максимальная амплитуда колебания штока вибратора не должна превышать 10 мм. Усилие на штоке гидропривода в номинальном режиме должно составлять не менее 14,5 кН. В аварийных режимах (для отрыва приварившейся твердой корочки стального слитка от медной поверхности кристаллизатора) предусмотрена возможность повышения усилия на штоке до 29 кН. Привод должен обеспечивать синусоидальный закон движения.

Очевидно, что электромагнитный привод для качания кристаллизатора должен обладать повышенной надежностью и достаточной перегрузочной способностью. Поэтому в отличие от известных конструкций электромагнитных вибраторов, например, для прокладывания подземных комму-

никаций [1], предложенное исполнение (в связи с малой амплитудой колебаний) предусматривает размещение обмотки и магнитов в пазах статора и межполюсных пазах якоря соответственно.

На рис. 1 показана принципиальная схема предложенного электромагнитного вибратора. Здесь 1 – цилиндрический шток вибратора, выполненный из немагнитной стали; 2 – полюса якоря, выполненные в виде дисков из ферромагнитной стали; 3 – дисковые постоянные магниты с аксиальной намагниченностью и чередующимся направлением вектора намагниченности, указанным на рисунке стрелками; 4, 8 – нижняя и верхняя крышки вибратора из немагнитной стали; 5 – зубцы статора; 6 – дисковые катушки обмотки с чередующимся встречным соединением витков, размещенные в пазах статора; 7 – корпус вибратора, изготовленный из ферромагнитной стали и выполняющий функцию магнитопровода статора.

Положим, что в уравновешенном исходном состоянии середина паза статора совпадает с серединой полюса якоря. Тогда, чтобы паз не выходил за пределы полюса при колебаниях якоря с амплитудой  $a=0,01$  м, высота полюса якоря должна быть

$h_{ня} \geq h_n + 2a$ . Принимая ширину паза статора  $h_n = 0,02$  м, длина полюса якоря оказывается равной  $h_{ня} = 0,04$  м. Высоту постоянных магнитов примем  $h_m = 0,01$  м. В результате полюсное деление якоря  $\tau = h_m + h_{ня} = 0,05$  м. Таким же должно быть и полюсное деление статора. Ширину ферромагнитного зубца статора, выполненного из массивного стального диска, принимаем равным  $h_z = \tau - h_n = 0,03$  м.

Для снижения величины пульсирующего магнитного поля в зазоре цилиндрической линейной машины следует выбрать четное число пазов статора. При этом суммарный ток катушек, уложенных в пазах статора, равен нулю и пульсирующая составляющая магнитного поля, пересекающая немагнитный зазор по всей длине машины, не возникает. Иными словами, магнитное поле не выходит за пределы активной длины статора. При этом общая высота статора составит

$$h_c = n\tau + h_z = 18 \cdot 0,05 + 0,03 = 0,93 \text{ м,}$$

где  $n$  – число пазов статора.

Высота якоря при верхнем полюсе половинной высоты составит

$$L_{я} = n\tau + h_{ня}/2 = 18 \cdot 0,05 + 0,04/2 = 0,92 \text{ м.}$$

В исходном уравновешенном состоянии сдвиг якоря относительно статора примем 0,02 м. Тогда при колебаниях якоря с максимальной амплитудой  $a = 0,01$  м минимальное смещение якоря относительно нижнего основания статора будет равно 0,01 м, а максимальное смещение – 0,03 м. Если толщину крышек (4, 8) принять

равными 0,015 м, то запас хода якоря составит 0,02 м, что является достаточным для осуществления сборки и монтажа устройства.

Таким образом, принятое конструктивное исполнение электромагнитного вибратора удовлетворяется исходным требованиям по габаритным размерам и максимальной амплитуде колебания якоря. В предельном случае высота электромагнитного вибратора может быть принята равной 0,98 м, что не превышает конструктивных размеров гидропривода по длине цилиндра.

Требования по установочным размерам электромагнитного вибратора обуславливают также выбор конструктивных размеров по диаметральным характеристикам. Примем толщину корпуса вибратора 7, выполняющего роль магнитопровода статора, равной 0,015 м, а глубину паза – 0,025 м. Величину зазора между якорем и статором примем равной 0,001 м, а радиальный размер полюсов

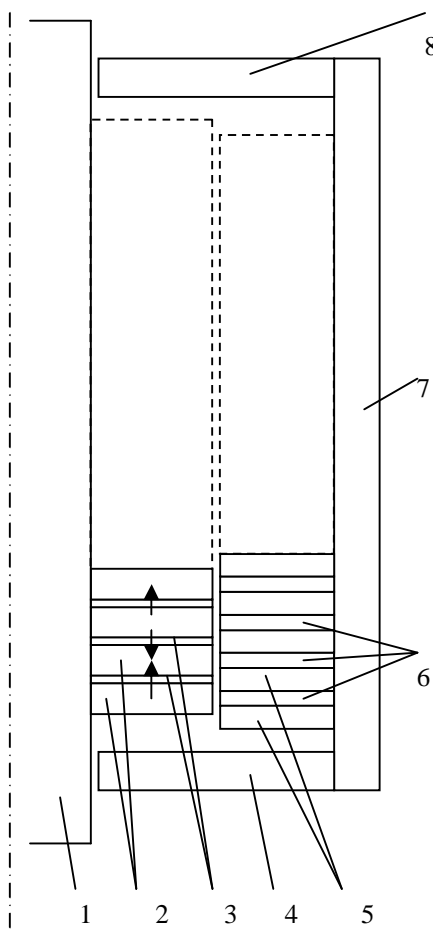


Рис. 1

якоря и соответственно дисков постоянных магнитов равным 0,025 м. Тогда, учитывая, что диаметр корпуса вибратора должен составлять  $d_{\kappa} = 0,33$  м, внутренний диаметр корпуса  $d_{\text{вк}} = 0,3$  м, имеем: диаметр расточки статора –  $d_c = 0,25$  м; диаметр якоря –  $d_{\text{я}} = 0,248$  м; диаметр штока в области размещения полюсов якоря –  $d_{\text{ш}} = 0,198$  м.

Приведенные количественные значения размеров отдельных элементов вибратора необходимы для численного расчета его электромагнитных параметров, используемых в уравнениях движения якоря вибратора.

**Метод анализа.** Запасенная энергия в электромеханической связанной системе является функцией мгновенной конфигурации системы, не зависящей от ее динамического состояния и предыстории. С учетом наложенных на электромеханическую систему ограничений сосредоточенные параметры цепи обмотки статора могут быть получены из решения задачи распределения статического магнитного поля в зависимости от положения якоря относительно статора и величины тока обмотки статора [4].

Для определенности будем полагать, что постоянные магниты выполнены из композита NdFeB марки N38SH с остаточной индукцией  $B_r = 1,26$  Тл и коэрцитивной силой  $H_{cB} = 950$  кА/м. Учитывая, что для этого материала кривая размагничивания близка к прямой

$$\mathbf{B} = \mu_0 \mu_{rm} \mathbf{H} + \mathbf{B}_r, \quad (1)$$

и полагая  $B = 0$  при  $H = H_{cB}$ , находим величину относительной магнитной проницаемости постоянных магнитов

$$\mu_{rm} = 1,05. \quad (2)$$

Пусть полюса якоря, зубцы статора и корпус вибратора выполнены из стали Ст3. Материальное уравнение магнитного поля для указанных областей

$$\mathbf{B} = \mu_r \mu_0 \mathbf{H} \quad (3)$$

содержит нелинейную магнитную проницаемость, которая для стали Ст3 в широком диапазоне изменения индукции от 0 до 2,5 Тл хорошо аппроксимируется такой функцией

$$\mu_r = 830 / \left(1 + 0,025 |B|^9\right). \quad (4)$$

В приведенных выше формулах  $\mu_0$  – магнитная постоянная,  $B$  и  $H$  – индукция и напряженность магнитного поля,  $|B|$  – значение магнитной индукции по модулю.

Для определения потокосцепления обмотки статора расчет магнитного поля вибратора выполняется в магнитостатическом приближении численным методом конечных элементов в цилиндрической системе координат, в плоскости  $\varphi = \text{const}$  для векторного магнитного потенциала

$$\text{rot } \mathbf{A} = \mathbf{B}, \quad (5)$$

имеющего лишь одну  $A_{\varphi}$ -компоненту.

Исходя из дифференциальной системы уравнений Максвелла для стационарного магнитного поля

$$\text{rot } \mathbf{H} = \mathbf{j}, \quad \text{div } \mathbf{B} = 0, \quad (6)$$

с учетом (1) и отсутствия вихревых токов в магнитостатическом приближении, уравнение для векторного магнитного потенциала в области размещения постоянных магнитов имеет вид

$$\text{rot} \left[ \left( \mu_{rm} \mu_0 \right)^{-1} (\text{rot } \mathbf{A} - \mathbf{B}_r) \right] = 0. \quad (7)$$

Векторный магнитный потенциал в области полюсов якоря, зубцов и ярма статора согласно (3) описывается уравнением

$$\text{rot} \left[ \left( \mu_r \mu_0 \right)^{-1} \text{rot } \mathbf{A} \right] = 0, \quad (8)$$

в котором  $\mu_r$  представляется зависимостью (4).

В пазах статора, где размещается обмотка со средней по сечению паза плотностью тока  $j$ , уравнение для векторного магнитного потенциала принимает вид

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A} = \mu_0 \mathbf{j}. \quad (9)$$

В области зазора между якорем и статором и областях вне ферромагнитных материалов магнитная проницаемость равна  $\mu_0$  и токи отсутствуют, так что в этих областях уравнение для векторного магнитного потенциала принимает вид

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \mathbf{A} = 0. \quad (10)$$

Таким образом, для определения распределения магнитного поля вибратора подлежит решению система уравнений (7)–(10) для ряда кусочно-однородных сред, на границе раздела которых удовлетворяются условия сопряжения для магнитного поля – равенство нормальных составляющих индукции и тангенциальных составляющих напряженности магнитного поля. В качестве граничного условия на некотором расстоянии от активной зоны вибратора магнитный потенциал принимается равным нулю.

В связи с нелинейными магнитными свойствами ферромагнитных материалов для учета влияния локального насыщения стали примем в расчетах с некоторым запасом предельную величину амплитуды плотности тока в пазу, равной

$$j = 4 \cdot 10^6 \text{ А/мм}^2, \quad (11)$$

что соответствует действующему значению плотности тока в проводнике  $7 \text{ А/мм}^2$ , превышающему практически в 2 раза максимальное рекомендуемое значение плотности тока для воздушных трансформаторов  $j_{\partial} = 3,5 \text{ А/мм}^2$  [3]. Такое допущение требует проведения оценки теплового состояния электромагнитного вибратора, особенно с учетом того, что допустимая рабочая температура принятого композита составляет лишь  $150^\circ\text{С}$ . Согласно [3] при естественной конвекции с поверхности вибратора в окружающее пространство может быть передана следующая мощность:

$$Q = 5\Delta T^{(5/4)}S \text{ Вт}, \quad (12)$$

где  $S \approx 1 \text{ м}^2$  – площадь поверхности корпуса вибратора,  $\Delta T$  – разность температуры между поверхностью вибратора и окружающей средой.

Далее, полагая, что источником тепла в вибраторе является обмотка статора, выполним оценку мощности тепловыделений в обмотке статора.

Исходя из размеров паза, примем, что обмотка статора выполнена из обмоточного прямоугольного провода  $7,4 \times 2,1$  марки ПСДК. Сечение проводника равно  $15 \text{ мм}^2$ , и таких проводников размещается в пазу статора  $w = 14$ . Тогда активное сопротивление обмотки статора равно

$$R = \frac{nw}{5 \cdot 10^7} \frac{\pi \cdot 0,275}{15 \cdot 10^{-6}} = 0,29 \text{ Ом}. \quad (13)$$

Тепловыделение в обмотке статора

$$Q = (j_{\partial} \cdot 15)^2 \cdot 0,29 \text{ Вт}. \quad (14)$$

Отсюда, приравнивая (12) и (14), определим предельное действующее значение плотности тока в проводниках обмотки. Так, принимая  $\Delta T = 80^\circ\text{С}$ , получим

$$j_{\partial} = 4,3 \text{ А/мм}^2,$$

что соответствует допустимой амплитуде плотности тока в пазу  $j = 2,6 \cdot 10^6 \text{ А/мм}^2$ . Таким образом, при превышении этой плотности тока выделяемое тепло не может быть отведено путем естественной конвекции и, следовательно, необходимо использовать принудительное охлаждение. Например, при помощи обдува коэффициент теплоотдачи можно повысить примерно в два раза, что окажется достаточным для снятия излишнего тепла.

**Результаты расчетов.** Установленные количественные зависимости величин (2), (4) и (11) для уравнений векторного магнитного потенциала (5)–(10) позволяют определить численными методами распределение магнитного поля в составляющих элементах вибратора в зависимости от относительного положения якоря и статора вибратора и величины тока возбуждения обмотки статора. В

результате численного решения уравнений магнитного поля, например, в среде Comsol, определяются значения магнитного векторного потенциала и составляющих индукции магнитного поля во всех точках выделенного пространства.

Потокосцепление обмотки статора определим с учетом того, что катушки обмотки соединены последовательно, но токи в соседних пазах имеют встречное направление

$$\Psi(x, j) = \sum_{i_1} \frac{w}{S_n} \int_{S_n} 2\pi r A_{i_1} dS - \sum_{i_2} \frac{w}{S_n} \int_{S_n} 2\pi r A_{i_2} dS, \quad (15)$$

где  $i_1 = 2k - 1$  – нечетные пазы,  $i_2 = 2k$  – четные пазы,  $k = 1, 2, \dots, n/2$ ,  $A_{i_1}$ ,  $A_{i_2}$  – значения векторного магнитного потенциала в  $i_1$  или  $i_2$  пазу соответственно,  $S_n$  – сечение паза.

В табл. 1 приведены вычисленные по (15) значения потокосцепления обмотки статора для пяти положений якоря относительно равновесного состояния ( $x = \{0,01; 0,005; 0; -0,005; -0,01\}$  м) в диапазоне изменения плотности тока в пазу от  $j = 4 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> до  $j = -4 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup> при возбуждении магнитного поля якоря постоянными магнитами чередующейся полярности, выполненными из композита NdFeB марки N38SH.

**Таблица 1**

Плотность тока в пазу, А/мм <sup>2</sup>	Потокосцепление обмотки, Вб				
	Величина смещения якоря от положения равновесия, м				
	0,01	0,005	0	-0,005	-0,01
- 4	0,705	-1,29	-2,25	-3,333	-3,933
- 2	1,605	0,14	-1,2	-2,346	-3,2
- 1,5	1,837	0,414	-0,9	-2,057	-3,0
- 1	2,069	0,7	-0,58	-1,753	-2,78
- 0,5	2,302	1,01	-0,245	-1,442	-2,561
0	2,534	1,323	0,101	-1,12	-2,334
0,5	2,763	1,64	0,446	-0,812	-2,103
1	2,985	1,95	0,782	-0,504	-1,871
1,5	3,2	2,254	1,1	-0,224	-1,64
2	3,4	2,534	1,4	0,064	-1,411
4	4,114	3,5	2,42	1,025	-0,52

Потокосцепление обмотки, записанное выше в виде таблицы, аппроксимируем полиномом двух переменных ( $x$  и  $j$ )

$$\Psi(x, j) = 0,0983 + 244,44x + 126,4x^2 + 6,2 \cdot 10^{-7} j - 3,66 \cdot 10^{-15} j^2 + 7,3 \cdot 10^{-7} x j - 0,00184 j x^2 - 8,46 \cdot 10^{-13} x j^2. \quad (16)$$

Из найденного распределения магнитного поля в зависимости от смещения якоря  $x$  и величины плотности тока  $j$  в пазу с использованием максвелловского тензора магнитных натяжений [1] определим осевую  $x$ -составляющую электромагнитной силы взаимодействия якоря и статора в виде поверхностного интеграла по любой цилиндрической поверхности  $S$ , расположенной в зазоре между ротором и статором вибратора

$$f_e(x, j) = \mu_0^{-1} \int_S B_x B_r ds, \quad (17)$$

где  $B_x$  – осевая, а  $B_r$  – радиальная составляющие магнитной индукции в зазоре вибратора.

Найденные значения  $f_e(x, j)$  по (17) для ряда положений якоря  $x$  относительно положения равновесия и амплитудной величины плотности тока в пазу  $j$  приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

Плотность тока в пазу, А/мм <sup>2</sup>	Электромагнитная сила, Н				
	Величина смещения якоря от положения равновесия, м				
	0,01	0,005	0	-0,005	-0,01
- 4	-36941	-39578	-34958	-28153	-18566
- 2	-16550	-18709	-16976	-14832	-11604
- 1,5	-11752	-13701	-12563	-11163	-8355
- 1	-7155	-8860	-8191	-7331	-6130
- 0,5	-2807	-4214	-3853	-3315	-2811
0	1243	217	464	908	982
0,5	4948	4431	4781	5351	4942
1	8279	8442	9120	10009	9291
1,5	11227	12275	13493	12377	13886
2	13807	15950	17907	19876	18679
4	21086	29327	35945	40910	39033

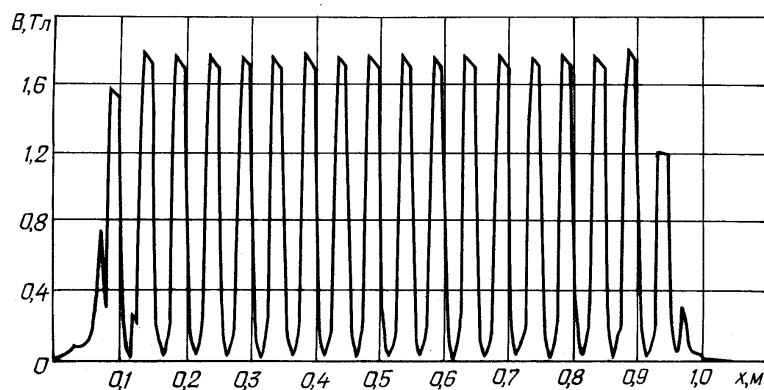
Функциональная зависимость электромагнитной силы взаимодействия якоря и статора вибратора в соответствии с данными табл. 2 также может быть приближенно представлена полиномом двух переменных:

$$\begin{aligned}
 f_e(x, j) = & 322 - 85100x + 7,66 \cdot 10^6 x^2 + 8,356 \cdot 10^8 x^3 + \\
 & + 0,009j + 6,48 \cdot 10^{-12} j^2 + 0,0071xj - 7,175 \cdot 10^{-8} x j^2 - \\
 & - 15,51x^2 j - 2,27 \cdot 10^{-8} x^2 j^2 - 39,29x^3 j + 0,00015x^3 j^2.
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Как видно из табл. 2, максимальные силы достигаются при смещениях  $x = \pm 0,005$  м в зависимости от направления тока в обмотке. Эта тенденция сохраняется для всех величин плотности тока в пазу. Неравенство нулю  $f_e(x, j)$  при  $x=0$  и  $j=0$  обусловлено влиянием продольного краевого эффекта, вызванного различием магнитных проводимостей зазора в области крайних магнитных полюсов якоря и зубцов статора вибратора.

Полученные функциональные зависимости потокосцепления обмотки (16) и электромагнитных сил (18) от смещения якоря ( $x$ ) и плотности тока в пазу ( $j$ ) имеют существенно нелинейный характер. Обусловлено это неоднородностью воздушного зазора, вызванной явнополюсным исполнением якоря и зубцов статора, а также нелинейными свойствами ферромагнитных материалов.

Выполненные расчеты магнитного поля позволили определить распределение магнитной индукции в отдельных элементах вибратора с учетом нелинейной зависимости магнитной проницаемости стали от магнитной индукции (4). На рис. 2 показано распределение магнитного поля в зазоре вибратора при совместном действии постоянных магнитов и токов обмотки статора при плотности



**Рис. 2**

тока в пазу  $j = 4$  А/мм<sup>2</sup> и сдвиге якоря относительно положения равновесия  $x = -0,01$  м, при которых достигаются максимальные значения магнитной индукции в зазоре.

Аналогичное распределение индукции характерно для зубцов и полюсов вибратора, и лишь в угловых точках зубцов имеет место локальное увеличение индукции до 2,5 Тл. Абсолютное значение магнитной индукции в корпусе кристаллизатора поддерживается на

уровне 1,2 Тл, что соответствует обычно принимаемым значениям индукции в ярме статора.

#### **Выводы.**

Усилия, развиваемые электромагнитным вибратором на постоянных магнитах, соизмеримы по величине с усилиями, развиваемыми гидроприводом. Электромагнитный вибратор предложенного исполнения способен заменить гидропривод механизма качания вибратора МНЛЗ.

Для принятого исполнения вибратора найдена функциональная зависимость потокозцепления обмотки статора и электродинамической силы взаимодействия между якорем и статором от координаты смещения якоря относительно положения равновесия и величины тока в обмотке статора, необходимые для анализа динамического состояния системы качания кристаллизатора сортовых МНЛЗ.

1. *Голенков Г.М., Бондар Р.П., Макогон С.А., Богаєнко М.В., Попков В.С.* Моделирование работы электрического вибратора с коаксиально-линейным индукционным двигателем при разных законах регулирования // Техн. електродинаміка. – 2007. – №2. – С. 54–59.

*Golenkov G.M., Bondar R.P., Makogon S.A., Bogaienko M.V., Popkov V.S.* Modelling of work of the electric vibrator with the koaksialno-linear induction engine at various laws of regulation // *Tekhnichna elektrodynamika.* – 2007. – №2. – С. 54–59. (Ukr.)

2. *Тамм И.Е.* Основы теории электричества. – М: Наука, 1989 – 504 с.

*Tamm I.E.* Bases of the theory of an electricity. – Moskva: Nauka, 1989. – 504 p. (Rus.)

3. *Тихомиров П.М.* Расчет трансформаторов. – М.-Л: Госэнергоиздат, 1953. – 255 с.

*Tikhomirov P.M.* Calculation of transformers. – Moskva-Leningrad: Gosenergoizdat, 1953. – 255 p. (Rus)

4. *Уайт Д, Вудсон Г.* Электромеханическое преобразование энергии. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 528 с.

*Dadid C. White, Herbert H. Woodson.* Electromechanical Energy Conversion. – Moskva-Leningrad: Energiia. – 1964. – 528 p. (Rus.)

УДК 621.313

**Т.В.Виштак<sup>1</sup>, І.П.Кондратенко<sup>2</sup>, докт.техн.наук, А.П.Ращепкін<sup>3</sup>, докт.техн.наук**

<sup>1,2,3</sup> – **Інститут електродинаміки НАН України,**

**пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна**

**Електричні параметри і сили електромагнітного вібратора для кристалізатора машин безперервного лиття заготовок**

*Розроблено математичну модель і проведено чисельні розрахунки розподілу магнітних полів в конструктивних елементах електромагнітного вібратора прийнятого виконання з використанням постійних магнітів для системи качання кристалізатора машин безперервного лиття заготовок. Встановлено функціональні залежності потокозчеплення обмотки і електромагнітної сили вібратора в залежності від положення якоря і струму обмотки. Для прийнятого конструктивного виконання визначено електромагнітну силу, яка діє на рухому частину вібратора. Проведено порівняння електромагнітної сили і сили гідравлічного приводу рівних конструктивних розмірів. Бібл. 4, табл. 2, рис. 2.*

**Ключові слова:** електромагнітний вібратор, постійні магніти, безперервне лиття, електромагнітні сили, потокозчеплення, щільність струму

**Vyshtak T.V.<sup>1</sup>, Kondratenko I.P.<sup>2</sup>, Rashchepkin A.P.<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> – **Institute of Electrodynamics of National Academy of Sciences of Ukraine,**

**Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine**

**Electrical Parameters And Forces Of The Electromagnetic Oscillator For Continuous Casting Machines Of Billets**

*Mathematical model is developed and numerical calculations of magnetic fields distribution in constructive elements of the accepted execution electromagnetic oscillator with permanent magnets use for system of rocking of continuous-casting machine crystallizer are carried out. Functional relationships of winding interlinkage and oscillator electromagnetic force depending on position of an anchor and a winding current are established. For the accepted design there is defined the electromagnetic force operating on a mobile part of the oscillator. Comparison of electromagnetic force and hydraulic drive force of the equal constructive sizes is carried out. References 4, tables 2, figures 2.*

**Key words:** the electromagnetic oscillator, permanent magnets, continuous casting, electromagnetic force, interlinkage, current density

Надійшла 07.05.2010

Received 07.05.2010