

Д. т. н. А. И. Афанасьев, к. т. н. А. А. Чиркова, д. т. н. С. Я. Давыдов (✉),
ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»,
г. Екатеринбург, Россия

УДК 621.928.2

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ГРОХОТОВ С ЛИНЕЙНЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Приведены результаты исследований повышения эффективности работы низкочастотных резонансных грохотов с линейными электромагнитными двигателями. Обоснованы показатели оценки эффективности работы и степени совершенства конструкции основного элемента грохота — вибровозбудителя. Определен рациональный рабочий зазор в линейном электромагнитном двигателе.

Ключевые слова: эффективность работы, скорость движения горной массы, тяговое усилие, производительность, затраты энергии на транспортирование.

В трудах И. И. Блехмана, И. Ф. Гончаревича, А. О. Спиваковского и других известных ученых показано, что работа вибротранспортных машин (ВТМ) на относительно низких частотах до 6 Гц и амплитудах до 30 мм более эффективна, чем работа на высоких частотах (25–50 Гц) и амплитудах 1–4 мм. Применяемые в ВТМ вибровозбудители — линейные электромагнитные двигатели работают, как правило, на переменном токе и частотах 25 Гц и более. Установлено, что относительно низкочастотные резонансные механические системы, к которым относятся ВТМ, имеют минимальную энергоемкость.

Для резонансных низкочастотных машин нами было предложено [1] в качестве вибровозбудителей использовать линейные электромагнитные управляемые двигатели постоянного тока. Якорь электромагнитного двигателя выполнен из ферромагнитного материала и при протекании тока в обмотке в любом направлении втягивается в статор, уменьшая рабочий зазор и замыкая магнитную цепь.

Скорость движения горной массы, а следовательно, производительность ВТМ, являясь важнейшим технологическим показателем, нелинейно зависит от частоты колебаний, которая, в свою очередь, определяется конструктивными и режимными параметрами вибровозбудителя. Поэтому адекватно сравнивать однотипные, но разные по частоте вибровозбудители и, соответственно, оценивать их эффективность можно по перемещению груза за один цикл L_0 , см, равному отношению скорости движения груза V , см/с, к частоте колебаний f , Гц,

$$L_0 = V/f. \quad (1)$$

Перемещение груза за один цикл определяет не только производительность ВТМ, но и степень соответствия режимных параметров двигателя рабочему процессу вибротранспортирования. На рис. 1 показана зависимость удельной производительности от перемещения груза за один цикл колебаний для ВТМ с массой рабочего органа, равной 205 кг, и резонансной частотой 3,3 Гц.

Регрессионная зависимость удельной производительности от перемещения груза за один цикл колебаний имеет вид

$$Q_y = 0,5 + 2,14 L_0. \quad (2)$$

Уравнение (2) адекватно описывает связь L_0 и Q_y при изменении перемещения $0,02 < L_0 < 5$ см. Корреляционное отношение зависимости (2) $R^2 = 0,99$, что свидетельствует о ее адекватности. Линейная зависимость Q_y от L_0 хорошо согласуется с физикой процесса движения груза по вибрирующей поверхности.

Таким образом, эти показатели объективно характеризуют эффективность применения вибровозбудителя в конкретной вибротранспортной машине.

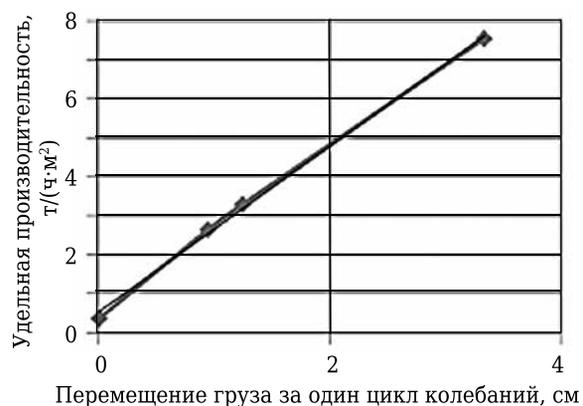


Рис. 1. Зависимость удельной производительности от перемещения груза за один цикл колебаний

✉
С. Я. Давыдов
E-mail: davidovtrans@mail.ru

В работах [2, 3] показано, что, при прочих равных условиях, энергетическую эффективность работы ВТМ, которая является частью общей эффективности горной машины, можно оценить по затратам энергии на производство единицы продукции K_3 , Дж/кг. При заданном ресурсе вторым основным показателем эффективности работы ВТМ является фактическая производительность Q , кг/с, которую при проективном расчете назначают с учетом эффективности грохочения по аналогии с существующими машинами.

В результате предварительных испытаний было установлено, что для оценки эффективности работы и степени конструктивного совершенства линейных двигателей, устанавливаемых в ВТМ и имеющих различные конструктивные параметры, нецелесообразно использовать абсолютные величины. Известно, что при постоянной плотности тока в проводнике магнитодвижущая сила и, следовательно, тяговое усилие прямо пропорциональны массе обмотки.

Зависимость тягового усилия якоря линейного двигателя постоянного тока от его конструктивных параметров имеется в публикациях [5–11]. В основе уравнений зависимости лежит закон Максвелла, который справедлив для идеальной электромагнитной системы. В реальных конструкциях линейных электромагнитных двигателей идеальное магнитное поле искажено из-за технологических зазоров и нерациональной формы магнитной системы. Поэтому величина тягового усилия якоря линейного двигателя, определенная по формуле Максвелла, может существенно отличаться от реальной.

Тяговое усилие F_T электромагнитного двигателя определяли по известному уравнению

$$F_T = 0,5\mu_0 S(IW)^2\delta^{-2}, \quad (3)$$

где μ_0 — магнитная проницаемость воздуха, Гн/м; S — площадь сечения рабочего магнитного зазора, м²; I — ток в обмотке, А; W — число витков в обмотке; δ — рабочий зазор, м.

Сечение обмоточного провода было равно 4,5 мм², поэтому величина длительно действующего тока для этого двигателя была не более 20 А, что не превышало принятой в практике допустимой плотности тока 5 А/мм². Диаметр якоря равен 100 мм, высота обмотки 60 мм. Результаты эксперимента, представленные на рис. 2, показывают, что при рабочем зазоре 5 мм расчетные значения силы тяги существенно отличаются от экспериментальных. Это объясняется тем, что при малых рабочих зазорах на силу тяги начинают оказывать влияние нерабочие зазоры и потоки рассеивания.

Из рис. 2 видно, что при рабочих зазорах более 15 мм теоретические и экспериментальные значения тягового усилия относительно неболь-

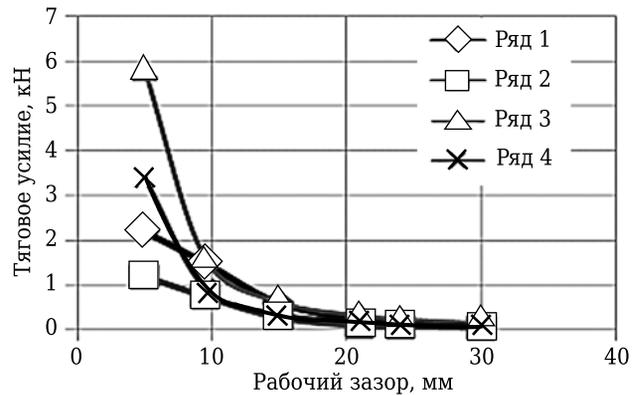


Рис. 2. Зависимость силы тяги линейного электромагнитного двигателя от рабочего зазора: ряд 1 ($I = 20$ А), ряд 2 ($I = 15$ А) — экспериментальные значения; ряд 3 ($I = 20$ А), ряд 4 ($I = 15$ А) — расчетные значения

шие. Это подтверждает неэффективность работы линейных двигателей с рабочими зазорами больше 15 мм.

Опыт эксплуатации линейных электромагнитных двигателей показал, что основным элементом, определяющим их эффективность и ресурс, является обмотка. Ее масса (размеры и форма) зависит от величины намагничивающей силы, тепловой нагрузки и определяет общую массу двигателя. Поэтому эффективность работы двигателя в конкретной ВТМ целесообразно определять по отношению полезной работы за цикл колебаний к массе обмотки E/m_o , Дж/кг. Чем больше это отношение, тем совершеннее конструкция двигателя. Кроме того, эффективность работы линейного двигателя характеризуется тепловыми потерями, т. е. тепловой мощностью P_T , Вт. По сути, эти потери энергии характеризуют КПД двигателя. Тепловые потери, величина которых зависит от температуры корпуса, его размеров и коэффициента теплоотдачи, не должны превышать допустимые. Исходя из вышеизложенного, для обеспечения эффективности работы ВТМ необходимо выполнить условия:

$$Q = Q_p; K_3 \rightarrow \min, \quad (4)$$

где Q_p — расчетная производительность ВТМ.

При этом должно обязательно выполняться условие $\theta_o < [\theta_o]$ (максимальная температура обмотки не должна превышать допустимую).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для обеспечения максимальной эффективности работы виброгрохота с линейным электромагнитным двигателем необходимо, чтобы отношение полезной работы за цикл колебаний к массе обмотки составляло $E/m_o \rightarrow \max$; перемещение груза за один цикл $L_0 \rightarrow \max$; удельное тяговое усилие $F_{T,y} \rightarrow \max$; отношение удельного тягового усилия к массе обмотки $F_{m,y} \rightarrow \max$; отно-

шение максимальной температуры обмотки к ее массе $\varepsilon_r \rightarrow \max$. При этом должны выполняться определенные ограничения: по величине тепловой мощности $P_T \leftarrow [P_T]$, по максимальной температуре $\theta_0 < [\theta_0]$.

Библиографический список

1. **Афанасьев, А. И.** Резонансный грохот с линейным электромагнитным двигателем / *А. И. Афанасьев, Д. Н. Андрюшенков, А. Ю. Закаменных* // Изв. вузов. Горный журнал. — 2010. — № 2. — С. 57–60.
2. **Афанасьев, А. И.** Комплексный критерий эффективности рабочего процесса вибротранспортных машин / *А. И. Афанасьев, Е. В. Братыгин, А. А. Чиркова* // Труды VIII Международной научно-практической конференции «Проблемы карьерного транспорта». Екатеринбург, 20–23 сентября 2005 г. — С. 48–52.
3. **Афанасьев, А. И.** Критерий энергетической эффективности рабочего процесса резонансного вибропитателя-грохота / *А. И. Афанасьев, А. Ю. Закаменных* // Изв. вузов. Горный журнал. — 2009. — № 5. — С. 77–80.
4. **Гордон, А. В.** Электромагниты постоянного тока / *А. В. Гордон, А. Г. Сливинская*. — М. : Госэнергоиздат, 1960. — 446 с.

5. **Гансбург, Л. Б.** Проектирование электромагнитных и магнитных механизмов : справочник / *Л. Б. Гансбург, А. И. Федоров*. — М. : Машиностроение, 1980. — 364 с.
6. **Тер-Акопов, А. К.** Динамика быстродействующих электромагнитов / *А. К. Тер-Акопов*. — М. : Энергия, 1965. — 167 с.
7. **Могилевский, Г. В.** Гибридные электрические аппараты низкого напряжения / *Г. В. Могилевский*. — М. : Энергоатомиздат, 1986. — 232 с.
8. **Любчик, М. А.** Силовые электромагниты аппаратов и устройств автоматики постоянного тока / *М. А. Любчик*. — М. : Энергия, 1968. — 151 с.
9. **Любчик, М. А.** Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов / *М. А. Любчик*. — М. : Энергия, 1974. — 392 с.
10. **Агароняни, Р. А.** Динамика, синтез и расчет электромагнитов / *Р. А. Агароняни*. — М. : Наука, 1967. — 267 с.
11. **Ряшенцев, Н. П.** Теория, расчет и конструирование электромагнитных машин ударного действия / *Н. П. Ряшенцев, Е. М. Тимошенко, А. В. Фролов* ; под ред. Н. П. Ряшенцева. — Новосибирск : Наука, 1970. — 258 с. ■

Получено 15.06.15
© А. И. Афанасьев, А. А. Чиркова,
С. Я. Давыдов, 2015 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ



IREFCON 2016 — 11-я Индийская международная конференция по огнеупорам

20-22 января 2016 г.
г. Хайдарабад, Индия

Тематика

- Оценка качества сырья по термомеханическим показателям
- Производства чугуна и стали в Индии: перспективы для будущих технических кадров
- Торкретирование шахты доменной печи
- Огнеупоры для сталелитейной промышленности
- Новейшие достижения в контроле огнеупоров и оборудовании
- Огнеупоры для цементной промышленности
- Потребление легковесных огнеупоров
- Снижение стоимости огнеупоров путем систематического их совершенствования




www.irefcon.org