

УДК 621.313

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНДУКЦИОННЫХ МЕТАЛЛООТДЕЛИТЕЛЕЙ

Будишевский В.А., канд. тех. наук, проф., Ариненков В.В.
Донецкий национальный технический университет

Рассмотрены вопросы экспериментальных исследований устройств извлечения на основе линейных двигателей, предназначенных для извлечения посторонних металлических включений из транспортных потоков.

Questions of experimental researches of devices of extraction are considered on the basis of the linear engines intended for extraction of extraneous metal inclusions from transport streams.

В последнее время предпринимаются попытки использовать линейные асинхронные двигатели (ЛАД) для извлечения посторонних металлических предметов из транспортных потоков сыпучих материалов. Конструктивно данные устройства представляют собой индукционную машину, у которой бегущее магнитное поле распространяется вдоль поверхности индуктора. Другими словами, это линейный двигатель, у которого вторичным элементом ("ротором") является извлекаемое тело [1,2]. В целом ряде случаев применение индукционного металлоотделителя может оказаться целесообразным [3,4]. Это определяет необходимость изучения и проектирования таких металлоотделителей.

Особенностью работы индукционного металлоотделителя является наличие больших рабочих зазоров и малые размеры извлекаемого тела по отношению к размерам индуктора [1]. Это обуславливает низкие энергетические и тяговые показатели устройства по сравнению с линейными двигателями классической конструкции. В связи с этим, становится актуальной оптимизация параметров устройства.

Анализ теоретических положений взаимодействия тел с бегущим магнитным полем применительно к условиям работы индукционного металлоотделителя позволяет предположить, что одним из определяющих эффективную работу устройства являются соотношения размеров извлекаемого тела, полюсного деления индуктора τ и рабочего зазора δ .

Авторами були проведені експериментальні дослідження параметрів взаємодії індукторів бегущого магнітного поля з металіческими тїлами для в'яснення загальної картини взаємодїї та порівняльного аналізу отриманих результатів з теоретическими дослідженнями.

В якості експериментальних установок з бегущим електромагнітним полем використовувалися три лінійних асинхронних двигателів. Установки відрізняються числом пар полюсів, методом укладки кінцевих елементів обмоток та потужністю. Для компенсації продольного крайового ефекту в установці ЛАД-3 передбачені додаткові обмотки. Вони знаходяться в шести пазах по краях магнітопровода.

Основною задачею, поставленою при вивченні картини полів з бегущим електромагнітним полем, є вимірювання складових магнітної індукції по трьох координатах.

Для вимірювання магнітної індукції магнітопроводи установок були розділені на квадранти розмірами 40×40 мм. Вимірювання проводилися в кожному квадранті усереднювалися відповідно до прийнятих вимог по похибці експерименту.

Вимірювання картини поля проводили вольтметром з допомогою вимірної котушки.

Електромагнітні поля досліджені при лінійних напругах 127 та 220 В на поверхні установок та на відстанях 10, 25, 50, 100, 200, та 350 мм від їх поверхні. Всі дослідження проведені при холостому ході установок. На рисунку.1 наведено картини полів установки ЛАД-2, знятих при лінійній напрузі $U_n=220$ в та фазних токах: $I_A=16$ А, $I_B=16$ А, $I_C=16$ А.

Дослідження показують, що найбільш великі пульсації індукції по довжині установки спостерігаються для ЛАД-3 з числом полюсів $2p=4$, для ЛАД-1 та ЛАД-2 з $2p=6$ індукція спотворена менше, однак бегуще поле на кінцях цих установок ослаблене крайовим ефектом. В той же час за рахунок додаткових обмоток, встановлених на кінцях двигателя ЛАД-3, крайовий ефект помітно ослаблен. Максимальне значення індукції спостерігається в центрі установок. Очевидним є те, що з збільшенням відстані від поверхні індуктора значення магнітної індукції в зазорі різко падає.

На відстані $\delta=50-100$ мм від поверхні установки характер електромагнітних полів декілька змінюється: послаблюється зубцовий характер пульсацій індукції, однак крайовий ефект послабле-

ния поля очевиден. Индукция по ширине индуктора характеризуется значительными пульсациями и поперечным краевым эффектом. Максимальные значения индукции по ширине установки наблюдаются возле продольной оси индуктора.

Исследования выявили неравномерный характер распределения поля по длине индуктора, а также ряд характерных минимумов и максимумов, более выраженных для установки ЛАД-3 и несколько сглаженных для ЛАД-1 и ЛАД-2. Максимальная величина индукции на поверхности индуктора достигает 0,03 Тл. Следует отметить, что благодаря применению двухслойной обмотки и принятому расположению дополнительных обмоток (ЛАД-3) средняя интенсивность магнитного поля сохраняется почти до самых краёв индуктора. Поле у этих краёв нормально бегущее, так как фаза магнитной индукции у краёв изменяется так же, как и в центре индуктора. Отметим общие закономерности, выявленные при изучении картины пространственного распределения поля с бегущим полем.

Продольный краевой эффект несмотря на малую длину установок за счёт применения двухслойной петлевой обмотки и дополнительных обмоток (ЛАД-3) проявляется слабо. Составляющие индукции по всем координатам характеризуются неравномерностью значений. С увеличением расстояния от поверхности индуктора волнистость кривых индукции, обусловленная разомкнутостью магнитопровода, уменьшается. На расстоянии $\delta/\tau \approx 2-3$ она выражена слабо.

Распределение всех трёх составляющих индукции существенно зависит от расстояния до поверхности индуктора. При холостом ходе вблизи поверхности индуктора в пределах ширины его сердечника нормальная составляющая электромагнитной индукции постоянна, а продольная и поперечная составляющие почти по всей длине установок изменяются в малых пределах от своей средней величины.

Картина распределения магнитного поля для установки ЛАД-2 приведена на рисунке 1.

Показателем эффективности установок с бегущим электромагнитным полем могут служить усилия, развиваемые при взаимодействии с проводящими предметами. Эти исследования позволяют получить общую картину распределения усилий, уяснить процесс возникновения электромагнитных усилий в проводящих телах, помещённых в бегущее электромагнитное поле и глубже понять характер воздействия электромагнитного поля на различные проводящие материалы.

Электрические силы измерялись с помощью динамометра. С целью уменьшения погрешностей, исследуемые образцы помещались на измерительную тележку. При исследовании сил сила трения покоя определялась опытным путём. Общая погрешность, вносимая трением в результате измерения, не превышает 5%.

Изучено взаимодействие бегущих полей с 3 группами образцов, которые друг от друга отличаются размерами, проводимостью и магнитной проницаемостью:

1. Стальные образцы цилиндрической формы высотой $h=120$ мм:

сталь 5, $\varnothing 60$ мм;

сталь 5, $\varnothing 80$ мм;

сталь 5, $\varnothing 100$ мм;

сталь 30ХГТ, $\varnothing 60$ мм;

сталь 45, $\varnothing 60$ мм;

сталь У7, $\varnothing 60$ мм.

2. Образцы цилиндрической формы высотой $h=120$ мм:

алюминий, $\varnothing 60$ мм;

3. Образцы цилиндрической формы высотой $h=120$ мм:

медь, $\varnothing 60$ мм.

Для сопоставления картины электромагнитного поля и картины распределения сил вдоль установки силы измерялись в тех же местах, что и индукция поля, и при тех же зазорах.

Установлено, что силы вдоль индуктора имеют неравномерный характер и подвержены значительным пульсациям. В левом конце установок наблюдаются отрицательные силы, а на правом конце силы ослабевают за счёт действия краевого эффекта. С ростом напряжения от 127 до 380 В силы вдоль установки возрастают в 5-8 раз. Максимальное значение силы наблюдается в центре установок.

На рисунке 2 приведены экспериментальные кривые сил взаимодействия с образцами для ЛАД-2. Силы сняты на расстоянии $\delta=50$ мм от поверхности индукторов.

С ростом напряжения от 127 до 380 В силы вдоль установки возрастают в 5-8 раз. Максимальное значение силы наблюдается в центре установок.

Кривые распределения сил вдоль установок показывают, что сила воздействия искажена значительными пульсациями, и на левых концах всех индукторов для образцов 1,2,3,4 наблюдаются отрицательные силы. Сила воздействия зависит от диаметра вносимого образца, его проводимости и магнитной проницаемости.

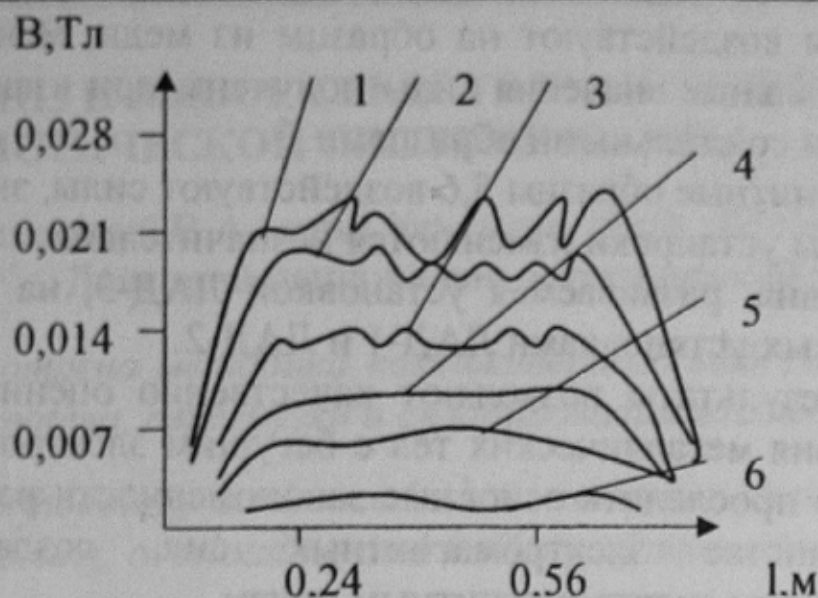


Рис. 1 – Экспериментальные кривые магнитной индукции в зазоре:

1 – 6 = $\delta_l = 10, 25, 50, 100, 200, 350$ мм.

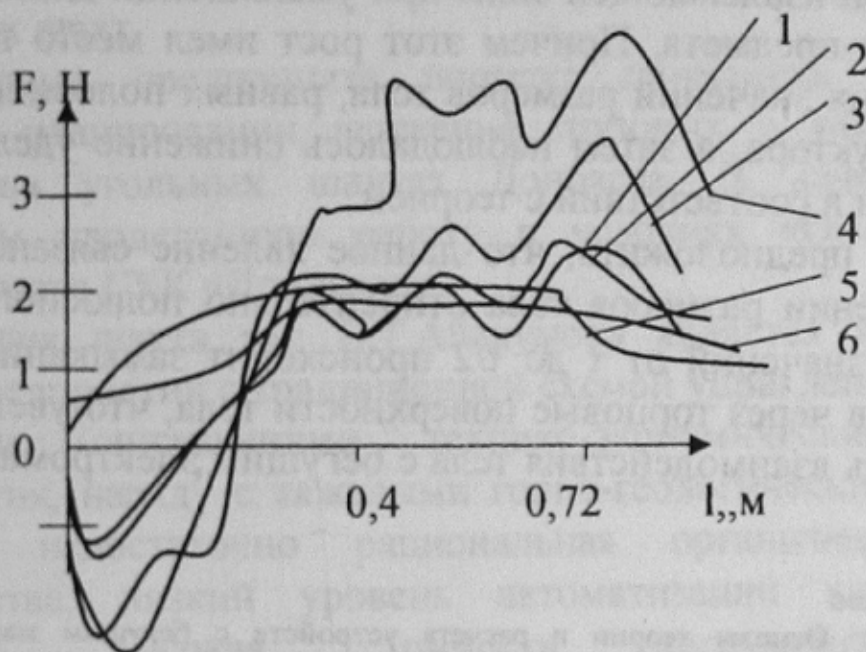


Рис.2 – Экспериментальные исследования сил, воздействующих на металлический предмет:

1 – Ст. 30ХГТ $\varnothing 60$ мм, 2 – Сталь 5 $\varnothing 60$ мм, 3 – Сталь 5 $\varnothing 80$ мм, 4 – Сталь 5 $\varnothing 100$ мм, 5 – алюминий $\varnothing 60$ мм. 6 – медь $\varnothing 60$ мм.

Максимальные силы воздействуют на образцы из меди, меньше из алюминия, и минимальные значения силы получены при взаимодействии бегущих полей со стальными образцами.

На неферромагнитные образцы 5,6 воздействуют силы, значения которых вдоль длины установки изменяются незначительно.

Сила воздействия, развиваемая установкой ЛАД-3, на 40-60% ниже сил, развиваемых установками ЛАД-1 и ЛАД-2.

Полученные результаты позволяют качественно оценить процессы взаимодействия металлических тел с бегущим электромагнитным полем, а также проследить основные закономерности распределения в пространстве электромагнитных сил, создаваемых устройствами с бегущим электромагнитным полем.

Проведенные исследования подтверждают возможность использования линейных двигателей в качестве отделителей посторонних токопроводящих предметов из транспортных потоков.

Проведенные эксперименты выявили не согласующиеся со стандартной теорией взаимодействия металлических тел с бегущим электромагнитным полем факты, относящиеся к взаимодействию ферромагнитных тел с полем индуктора. Так наблюдался некоторый рост удельной извлекающей силы при уменьшении длины и ширины извлекаемого предмета. Причем этот рост имел место примерно до относительных значений размеров тела, равных половине полюсного деления индуктора, а затем наблюдалось снижение удельной извлекающей силы в соответствии с теорией.

Можно предположить, что данное явление связано с тем, что при уменьшении размеров тела относительно полюсного деления в промежутке значений от τ до $\tau/2$ происходит замыкание части вторичных токов через торцовые поверхности тела, что увеличивает общую площадь взаимодействия тела с бегущим электромагнитным полем.

Список источников.

1. Ю.К. Круминь: Основы теории и расчета устройств с бегущим магнитным полем. Зинатне, Рига, 1983., -356с.
2. Т.К. Калнинь: Линейные индукционные машины с поперечным магнитным потоком. Зинатне, Рига, 1980., -389с.
3. Будишевский В.А., Ариненков В.В., Выбор конструкции и главных размеров извлекателя металла из потока горной массы, Известия Донецкого горного института, 1996г., №1(3), с. 69-72
4. Сумцов В. Ф., Электромагнитные железоотделители, М., Машиностроение, 1978, -174с