

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКТОРОВ

**Багин Дмитрий Николаевич,**

профессор, кандидат технических наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: [bagin19@mail.ru](mailto:bagin19@mail.ru)

**Обвинцева Евгения Юрьевна,**

магистрант, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: [jain\\_o@list.ru](mailto:jain_o@list.ru)

**Коняев Андрей Юрьевич,**

профессор, доктор технических наук, ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург, e-mail: [a.u.konyaev@urfu.ru](mailto:a.u.konyaev@urfu.ru)

## WAYS TO IMPROVEMENT OF THE EFFICIENCY OF ELECTRODYNAMIC SEPARATORS BASED ON LINEAR INDUCTORS

**Bagin Dmitriy Nikolaevich,**

Professor, Ph.D., Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin",

Ekaterinburg, e-mail: [bagin19@mail.ru](mailto:bagin19@mail.ru)

**Obvintseva Evgeniya Yurievna,**

Master Student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin",

Ekaterinburg, e-mail: [jain\\_o@list.ru](mailto:jain_o@list.ru)

**Konyaev Andrey Yurievich,**

Professor, Dr. Sci. (Eng.), Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin", Ekaterinburg, e-mail: [a.u.konyaev@urfu.ru](mailto:a.u.konyaev@urfu.ru)

**Аннотация.** Описаны результаты исследования опытного образца электродинамического сепаратора с двухсторонним линейным индуктором для индукционной сортировки цветных металлов.

**Abstract.** The research results of the pilot sample of electrodynamic separator with the two-sided linear induction machine for non-ferrous metals induction sorting are described.

**Ключевые слова.** Электродинамический сепаратор, результаты исследований.

**Keywords.** Electrodynamic separator, research results.

Промышленная переработка твердых отходов производства и потребления является для нашей страны одной из наиболее актуальных задач, решение которой может дать значительный эколого-экономический эффект [1]. В промышленно развитых странах промышленной переработке подвергается более 60% твердых отходов. При этом применяются различные технологии с получением на выходе полезных продуктов или энергии. В большинстве случаев отходы подвергаются предварительной сортировке с извлечением утилизируемых фракций (металлы, пластмассы, макулатура, стекло). К сожалению, в нашей стране на переработку поступает лишь около 5% твердых отходов, а на имеющихся предприятиях по сортировке отходов преобладает ручной труд. Эти обстоятельства обуславливают актуальность разработки и внедрения технологий и оборудования по механизированной переработке отходов. Отметим, что наиболее ценной фракцией в смешанных твердых отходах является лом черных и цветных металлов. Для извлечения черных металлов могут применяться серийно выпускаемые магнитные сепараторы – железоотделители, для выделения цветных металлов предпочтительны электродинамические сепараторы с

бегущим магнитным полем (по принятой за рубежом терминологии *eddy current separators* – вихретоковые сепараторы) [1-3]. Работы по исследованию и разработке электродинамических сепараторов ведутся на кафедре «Электротехника и электро-технологические системы» Уральского федерального университета.

Наиболее быстро растущей составляющей твердых отходов, содержащих цветные металлы, являются отходы электро- и радиотехники: электронный лом (отслужившие свой срок компьютеры, телефоны, радиотехнические изделия, электронные блоки электротехнических установок), кабельный и проводниковый лом, отходы производства электро- и радиотехнических изделий и т.д. Такие отходы представляют собой многокомпонентные смеси различных металлов (медь, алюминий, железо, золото, серебро и др.) и изоляционных материалов (пластмассы, резина, стекло, керамика) [4-6]. В задачи переработки электронного лома входит не только отделение металлов от изоляции, но и получение селективных концентратов металлов. Одной из задач, которая решается с помощью электродинамической сепарации, является извлечение алюминиевых сплавов из дробленого электронного лома [7-8].

По заказу одного из предприятий, занимающихся переработкой электронного лома, в УрФУ была разработана установка электродинамической сепарации, схематично показанная на рис. 1. Сепаратор характеризуется следующими параметрами: полюсное деление линейного индуктора  $\tau = 66$  мм; рабочий немагнитный зазор  $\delta = 18$  мм; ширина индуктора  $L_{и} = 120$  мм; расстояние от точки подачи материала до индуктора  $L_0 = 130$  мм; расстояние от индуктора до приемников продуктов разделения  $L_{п} = 300$  мм; угол наклона плоскости  $\alpha = 30^\circ$ . При питании обмоток индуктора от промышленной сети (380 В, 50 Гц) получено: средний ток в фазе –  $I_{ф\text{ ср}} = 9,3$  А; потребляемая индуктором активная мощность –  $P = 750$  Вт; амплитуда магнитной индукции –  $B_m = 0,23$  Тл. Испытания установки показали, что при указанных параметрах достигается выделение из потока электронного лома алюминиевых частиц крупностью 10-20 мм, поэтому созданный сепаратор рекомендован для обработки фракций электронного лома указанной крупности.

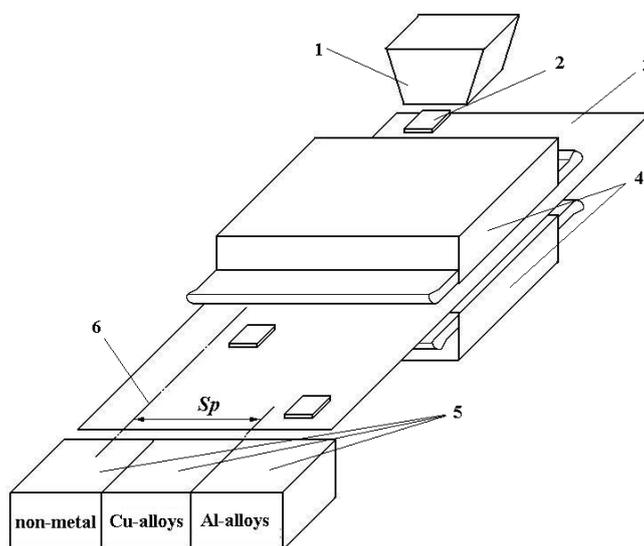


Рис. 1. Электромагнитный сепаратор с двухсторонним линейным индуктором:  
 1 – загрузочная воронка; 2 – частица; 3 – плоскость подачи; 4 – индукторы;  
 5 – бункеры сбора; 6 – линия подачи; Sp – положение разделителя

Полученные при испытаниях данные подтверждены результатами расчетов сепаратора, некоторые из которых приведены на рис. 2. Свойства разделяемых сплавов меди и алюминия приведены в таблице.

Металлы	Электропроводность $\gamma$ , МСм/м	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>
Медные сплавы	20,0-35,0	8800-8900
Алюминиевые сплавы	15,0-30,0	2700-2800

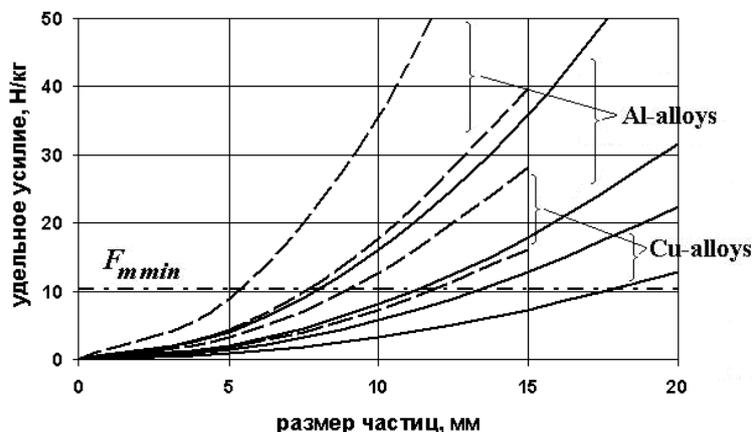


Рис. 2. Удельные электромагнитные усилия, действующие на частицы алюминиевых и медных сплавов, в зависимости от их размеров

Работоспособность электродинамического сепаратора целесообразно характеризовать величиной удельного электромагнитного усилия, равного отношению электромагнитной силы, действующей на частицы, к их массе ( $F_m = F_{эм}/m$ , Н/кг или м/с<sup>2</sup>). На рис. 2 видно, что при зазоре 18 мм (сплошные линии) для частиц алюминиевых сплавов размером 10-20 мм удельные электромагнитные силы превышают минимальное усилие  $F_{m\ min} \approx 10$  Н/кг, требуемое для отклонения частиц за разделитель (на расстояние, превышающее  $S_p$ ). Большая часть частиц из медных сплавов не выделяется из потока, поскольку развиваемые удельные электромагнитные усилия не превышают 10 Н/кг.

Следует отметить, что со сменой поколений электронных и электротехнических изделий происходит уменьшение размеров электронных компонентов, поэтому доля частиц крупностью более 10 мм в электронном ломе с каждым годом снижается. Этим обусловлена необходимость создания электродинамических сепараторов для обработки фракций крупностью менее 10 мм. Для решения поставленной задачи рассматривается два пути: 1) повышение электромагнитных усилий, действующих на частицы малых размеров; 2) уменьшение требуемых для сепарации усилий  $F_{m\ min}$ .

Наиболее эффективным способом увеличения усилий извлечения является повышение индукции магнитного поля, например, за счет уменьшения зазора между индукторами (для частиц крупностью менее 10 мм зазор может быть уменьшен с 18 до 12 мм). Кривые удельного электромагнитного усилия, соответствующие зазору 12 мм показаны на рис. 2 прерывистыми линиями. Для увеличения электромагнитных усилий можно использовать повышение частоты токов и магнитного поля (в данном диапазоне размеров усилия растут практически пропорционально частоте). Однако такой подход ведет к соответствующему росту потребляемой индуктором мощности и требует применения преобразователя частоты.

Возможности снижения усилия, требуемого для сепарации мелких фракций электронного лома, связаны с увеличением ширины линейного индуктора ( $L_{и}$  - размер в направлении движения потока) и выбором рациональных параметров плоскости подачи: размер плоскости до индуктора ( $L_0$ ) и после него ( $L_n$ ), угол ее наклона

( $\alpha$ ), коэффициент трения ( $k_{тр}$ ). Влияние некоторых из указанных параметров на величину требуемого для сепарации усилия показано на рис. 3 и 4.

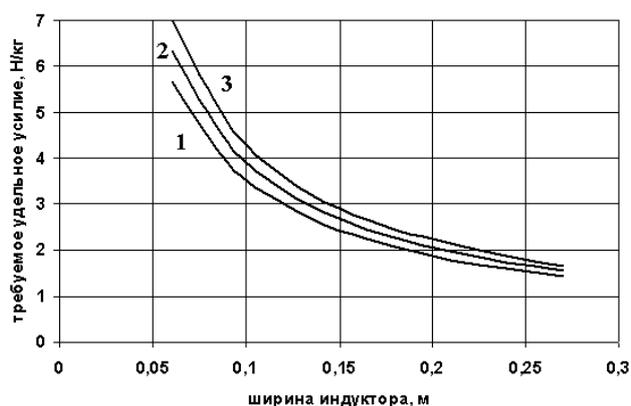


Рис. 3. Зависимости требуемого удельного усилия от ширины индуктора при  $L_p = 300$  мм. Цифры на графиках:  $L_0 = 100$ , 130, 160 мм (1-3 соответственно)

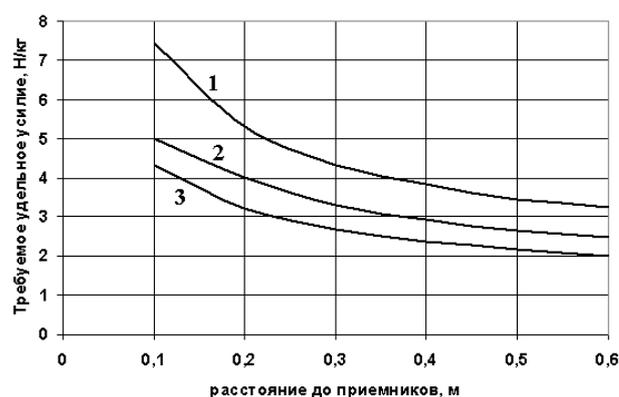


Рис. 4. Зависимости требуемого удельного усилия от размера  $L_p$  для  $L_0 = 130$  мм. Цифры на графиках: ширина индуктора  $L_{и} = 90$ , 120 и 150 мм (1-3 соответственно)

Как видно из рис. 3 и 4, рациональный выбор размеров сепаратора позволяет снизить требуемое для сепарации усилие до уровня 2,5-3,5 Н/кг (например, при  $L_{и} = 150$  мм и  $L_p = 300$  мм). При этом появляется возможность эффективной обработки фракций электронного лома крупностью менее 10 мм без повышения частоты бегущего магнитного поля.

Таким образом, результаты исследований рассматриваемой конструкции электродинамического сепаратора на основе линейного индуктора позволили выявить дополнительные возможности повышения эффективности сепарации при обработке мелких фракций дробленого электронного лома.

#### Список использованных источников

1. Технология отходов / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник – М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. 352 с.
2. Wilson R.J., Veasey T.J., Squires D.M. Application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes / Minerals Engineering, 1994, № 7, pp. 975-984.
3. Design and development of a low cost technique for sorting household wastes using eddy current separation process / Merahi A., Medles K., Bardadi B., Tilmatine A. // International Journal of Environmental Studies, 2016, No. 2, pp. 2-11.
4. Медведев А.М., Арсентьев С.А. Утилизация продуктов производства электроники // Компоненты и технологии, 2008, № 10, с. 153-159.
5. Дистанов А.А., Воскобойников В.В. Комплекс для переработки радиоэлектронного лома // Твердые бытовые отходы, 2012, №5, с. 24-26.
6. Zhang S., Forssberg E., Arvidson B., Moss W. Aluminium recovery from electronic scrap by High-Force eddy-current separators / Resources, Conservation and Recycling, 1998, No 23, pp. 225-241.
7. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов / А.Ю. Коняев, С.Л. Назаров, Р.О. Казанцев, В.В. Воскобойников, А.А. Дистанов // Твердые бытовые отходы, 2014, № 2, с. 26-30.

8. Исследование процессов электродинамической сепарации электронного лота / А.Ю. Коняев, Д.Н. Багин, Н.С. Якушев // Экология и промышленность России, 2015, т. 19, № 4, с. 15-19.