

Научная статья

УДК 621.313.17:621.928

## ПРИМЕНЕНИЕ МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ИНДУКТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ СЕПАРАТОРОВ

**Павел Ильич Ефремов<sup>1</sup>, Илья Юрьевич Каменский,  
Иван Александрович Шихов, Андрей Юрьевич Коняев**

Уральский федеральный университет имени первого Президента  
России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> [p.i.efremov@urfu.ru](mailto:p.i.efremov@urfu.ru)

**Аннотация.** Рассматриваются электродинамические сепараторы на основе трехфазных линейных индукторов, применяемые для извлечения включений цветных металлов из твердых отходов. Показана возможность повышения эффективности сепараторов при использовании индукторов модульной конструкции.

**Ключевые слова:** электродинамические сепараторы, индукторы модульного исполнения, эффективность установок

**Для цитирования:** Применение модульной конструкции индукторов для повышения эффективности электродинамических сепараторов / П. И. Ефремов, И. Ю. Каменский, И. А. Шихов, А. Ю. Коняев // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения — 2021 = Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021 : сборник научных трудов. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2023. С. 316–321.

Original article

## APPLICATION OF MODULAR DESIGN OF INDUCTORS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF EDDY-CURRENT SEPARATORS

**Pavel I. Efremov<sup>1</sup>, Ilya Yu. Kamensky, Ivan A. Shikhov, Andrey Yu. Konyaev**

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> [p.i.efremov@urfu.ru](mailto:p.i.efremov@urfu.ru)

**Abstract.** Eddy-current separators based on three-phase linear inductors, used to extract non-ferrous metal inclusions from solid waste, are considered. The possibility of increasing the efficiency of separators using modular inductors is shown.

**Keywords:** eddy-current separators, modular inductors, plant efficiency

**For citation:** Efremov P. I., Kamensky I. Yu., Shikhov I. A., Konyaev A. Yu. (2023). Primeneniye modul'noy konstruksii induktorov dlya povysheniya effektivnosti elektrodinamicheskikh separatorov [Application of Modular Design of Inductors to Improve the Efficiency of Eddy-Current Separators]. *Ehnergo- i resursosberezhenie. Ehnergoobespechenie. Netraditsionnye i vozobnovlyаемые istochniki ehnergii. Atomnaya ehnergetika. Danilovskie chteniya — 2021* [Energy and Resource Saving. Power Supply. Non-traditional and Renewable Energy Sources. Nuclear Energy. Danilov Readings — 2021]. Ekaterinburg : Ural University Publishing House, 2023. P. 316–321. (In Russ).

В технологиях промышленной переработки твердых отходов широкое применение находят электродинамические сепараторы на основе линейных индукционных машин (ЛИМ) [1; 2, с. 8–9]. Такие сепараторы используются для извлечения цветных металлов из твердых бытовых или подобных им смешанных промышленных отходов, для отделения цветных металлов от неметаллов при обработке дробленого автомобильного лома и т. д.

Одним из достоинств сепараторов на основе ЛИМ является возможность встраивания линейных индукторов в готовые технологические линии. При этом индуктор располагается под лентой конвейера, перемещающего отходы (как показано на рис. 1, а). При попадании в активную зону сепаратора металлические частицы под действием электромагнитной силы  $F_{эм}$  перемещаются в поперечном направлении. В худшем случае частица преодолевает в этом направлении рас-

стояние, равное ширине ленты конвейера  $B_K$ . При этом время пребывания частицы в активной зоне зависит от ширины индуктора  $L_{и}$  и скорости конвейера  $V_K$ . При большой производительности технологических линий ширина ленты конвейера достигает  $B_K = 1,0-1,2$  м, а скорость конвейера может превышать  $V_K = 1$  м/с. Как показано в работе «Устройства для электродинамической сепарации лома и отходов цветных металлов» [3], на примере сепаратора КМ-203 М, созданного при участии УрФУ, при таких параметрах конвейера из потока твердых отходов можно извлекать алюминиевые частицы крупностью более 40 мм (частица 1 на рис. 1, а). Алюминиевые частицы меньшей крупности, а также частицы металлов с меньшей электропроводностью или большей плотностью, не успевают переместиться за пределы конвейера и не извлекаются из потока (частицы 2 и 3 на рис. 1, а).

Для повышения степени извлечения металлов можно увеличить ширину линейного индуктора  $L_{и}$  (как показано на рис. 1, б). Однако при этом растет потребляемая сепаратором мощность  $S$ . Для увеличения степени извлечения металла без роста энергопотребления предлагается использовать модульную конструкцию линейного индуктора, как показано на рис. 1, в. В этом случае ступенчатое расположение модулей позволяет сформировать траектории движения металлических частиц, обеспечивающие их удаление с ленты конвейера. Для подтверждения указанного технологического эффекта авторами выполнены экспериментальные исследования на опытной установке электродинамической сепарации в лаборатории кафедры электротехники УрФУ.

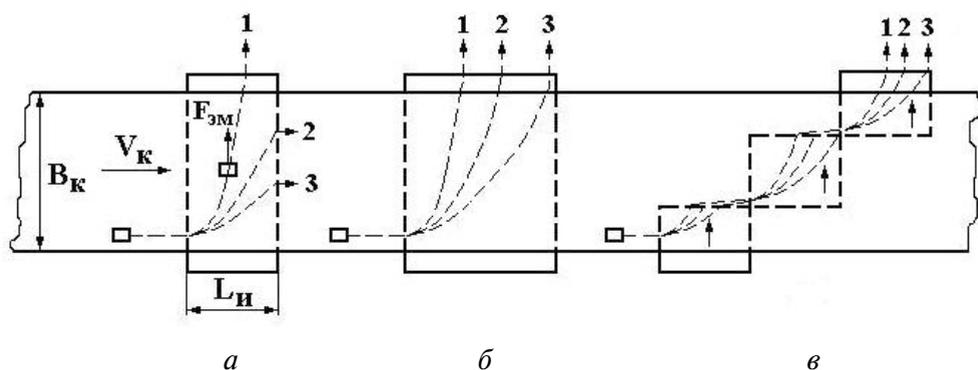


Рис. 1. Схема электродинамического сепаратора с различными вариантами линейных индукторов, располагаемых под лентой конвейера

Для удобства измерений в опытной установке подача материалов по ленте заменена на подачу их по наклонной плоскости. Эксперименты выполнены на квадратных частицах со стороной 20 мм из сплавов, отличающихся физическими свойствами (сплавы алюминия АД31 и АК12, магниевый сплав МЛ5). В ходе опытов частицы металла подавались по линии подачи с верхней части плоскости. Расстояние от точки подачи до края линейного индуктора  $L_0$  изменялось от 0 до 120 мм. В конце наклонной плоскости измерялись отклонения частиц от линии подачи  $B$ , определяемые действием электромагнитных сил. Результаты экспериментов представлены на рис. 2.

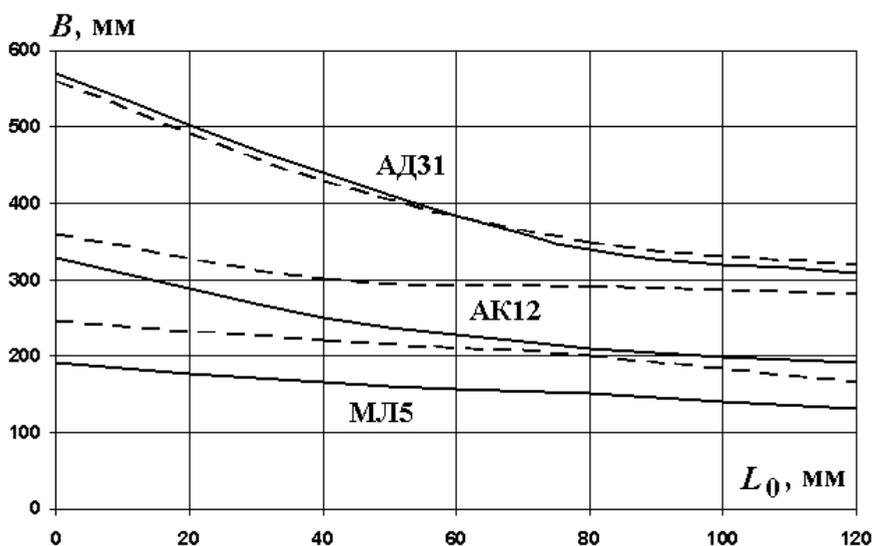


Рис. 2. Зависимости отклонений сепарируемых частиц от линии подачи при разном исполнении линейного индуктора

Сплошными линиями показаны зависимости  $B = f(L_0)$  для варианта индуктора по рис. 1, а, пунктиром — для варианта с модульной конструкцией по рис. 1, в. Эксперименты выполнялись при одинаковой токовой нагрузке индукторов. На рисунке 2 нетрудно увидеть, что в случае модульной конструкции индуктора удается существенно повысить дальность отклонений частиц от линии подачи по сравнению со случаем сплошного индуктора по варианту рис. 1, а, что вполне соответствует высказанным ранее предположениям.

Помимо улучшения технологических показателей при использовании индуктора из трех модулей, выполнив транспозицию фаз их обмоток, можно обеспечить симметрию фазных токов. Это устраняет проблемы компенсации реактивной энергии ЛИМ и снижает потери в системе электроснабжения.

### Список источников

1. Wilson R. J., Veasey T. J., Squires D. M. The application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes // Minerals Engineering. 1994. Vol. 7, Iss. 8. P. 975–984.
2. Электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем: основы теории и расчета / А. Ю. Коняев, И. А. Коняев, Н. Е. Маркин, С. Л. Назаров. Екатеринбург : УрФУ, 2012. 104 с.
3. Устройства для электродинамической сепарации лома и отходов цветных металлов / А. А. Патрик, Н. Н. Мурахин, Т. Н. Дерендяева [и др.] // Промышленная энергетика. 2001. № 6. С. 16–19.

### References

1. Wilson R. J., Veasey T. J., Squires D. M. The application of mineral processing techniques for the recovery of metal from post-consumer wastes // Minerals Engineering. 1994. Vol. 7, Iss. 8. P. 975–984.
2. Electrodynamic separators with a traveling magnetic field: fundamentals of theory and calculation / A. Yu. Konyaev, I. A. Konyaev, N. E. Markin, S. L. Nazarov. Ekaterinburg : UrFU, 2012. 104 p.
3. Device for electrodynamic separation of scrap and waste of non-ferrous metals / A. A. Patrick, N. N. Murakhin, T. N. Derendyaeva [et al.] // Industrial power engineering. 2001. No. 6. P. 16–19.

### Информация об авторах

**Павел Ильич Ефремов** — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [p.i.efremov@urfu.ru](mailto:p.i.efremov@urfu.ru)

**Илья Юрьевич Каменский** — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия)

**Иван Александрович Шихов** — студент Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [shikhov.ivan@gmail.com](mailto:shikhov.ivan@gmail.com)

**Андрей Юрьевич Коняев** — доктор технических наук, профессор кафедры электротехники Уральского энергетического института Уральского федерального университета (Екатеринбург, Россия), [a.u.konyaev@urfu.ru](mailto:a.u.konyaev@urfu.ru)

### **Information about the authors**

**Pavel I. Efremov** — Student of the Ural Power Engineering Institute, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [p.i.efremov@urfu.ru](mailto:p.i.efremov@urfu.ru)

**Ilya Yu. Kamensky** — Student of the Ural Power Engineering Institute, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia)

**Ivan A. Shikhov** — Student of the Ural Power Engineering Institute, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [shikhov.ivan@gmail.com](mailto:shikhov.ivan@gmail.com)

**Andrey Yu. Konyaev** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering, Ural Power Engineering Institute, Ural Federal University (Ekaterinburg, Russia), [a.u.konyaev@urfu.ru](mailto:a.u.konyaev@urfu.ru)