

тогда

$$q_l^{кб} = \frac{t_m - t_{сп}}{R_\Sigma} = \frac{t_m - t_{сп}}{R_{возд}^{нар} + R_{возд} + R_{возд}^{нутр} + R_k^{кб} + R_{сп}} \approx 30 \frac{Вт}{м}. \quad (4)$$

Сравнив полученное значение для керамзитобетона  $q_l^{кб}=30$  Вт/м с нормативным значением для железобетона  $q_l^{жб}=q_l^{норм}=84$  Вт/м, видим, что потери теплоты от неизолированного трубопровода в керамзитобетонном коробе почти в 3 раза ниже, нежели от изолированного трубопровода в железобетонном коробе.

Средний срок службы теплотрассы с обычными лотками составляет около 5 лет. Теплотрассы с лотками из керамзитобетона без подвесной теплоизоляции трубопроводов служат уже около 30 лет без каких-либо жалоб на их неудовлетворительную работу. И это, прежде всего, дает колоссальный ресурсосберегающий эффект.

Толщина лотка назначалась по данным теплотехнического расчета. Принципиальным отличием предлагаемых лотков от существующих является то обстоятельство, что в них роль эффективной теплоизоляции выполняет воздушная прослойка.

Керамзитобетонные лотки при строительстве теплотрасс были внедрены более чем в 40 экономических районах страны. Было уложено более 400 км теплотрасс. Проведенные неоднократные натурные испытания опытно-промышленных участков теплотрасс подтвердили достаточную теплоизоляцию трубопроводов и хорошие условия их эксплуатации, а также хороший экономический эффект от данной энерго- и ресурсосберегающей операции.

Внедрение керамзитобетонных лотков позволяет снизить трудозатраты на 38 %, стоимость земляных работ – на 10 %, сократить сроки строительства.

#### Список использованных источников

1. Комиссаренко Б. С., Сафронова Г. В. Строительство теплотрасс с лотками из керамзитобетона без теплоизоляции трубопровода // Стройинфо-Самара, 1995. № 2. С. 44-46.
2. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию / И. В. Беляйкина, В. П. Витальев, Н. К. Громов и др.: под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина. М.: Энергоатомиздат, 1988. 376 с.

УДК 621.928: 621.313.17

Багин Д. Н., Обвинцева Е. Ю., Макаров А. В., Коняев А. Ю.  
Уральский федеральный университет  
a.u.konyaev@urfu.ru

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ СОРТИРОВКИ ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ

**Аннотация.** Приведены результаты исследований установки для сепарации электронного лома. Показаны возможности повышения эффективности процессов индукционной сортировки лома цветных металлов.

Одними из актуальных эколого-экономических задач являются извлечение цветных металлов в процессах переработки твердых металлосодержащих отходов и сортировка лома цветных металлов при подготовке его к металлургическому переделу. Как показывает мировой опыт [1, 2], для решения таких задач наиболее целесообразна электродинамическая сепарация - метод разделения немагнитных материалов по электропроводности, использующий силовое взаимодействие магнитного поля индуктора с вихревыми токами, наведенными этим полем в проводящих телах. Задачи, решаемые с помощью электродинамической сепарации можно разбить на два типа: отделение цветных металлов от неметаллов и сортировка цветных металлов по сортам и видам сплавов. Индукционная сортировка лома цветных металлов – более сложная задача, поскольку все разделяемые частицы являются электропроводными и к выбору конструкций и параметров сепаратора предъявляются более высокие требования.

В УрФУ разработана установка электродинамической сепарации на основе двухстороннего линейного индуктора с подачей разделяемого материала по наклонной плоскости [3]. Установка предназначена для выделения алюминиевых сплавов из дробленого электронного лома. При прохождении металлических частиц через активную зону индуктора на них действуют электромагнитные силы, заставляющие частицы отклоняться от линии подачи. При этом конечное отклонение частиц зависит от их физических свойств (в первую очередь, от электропроводности и плотности). Наибольшее ускорение в поле сепаратора приобретают частицы из алюминиевых сплавов, что и позволяет выделять их из смеси материалов. Созданная установка позволяет успешно сортировать крупные фракции дробленого электронного лома с размерами частиц от 10 до 20 мм. В то же время разделения частиц меньшей крупности в данном сепараторе не происходит. Сказанное подтверждается результатами расчетов сепаратора. Например, на рис. 1 приведены характеристики указанной опытно-промышленной установки. Расчеты выполнены для следующих цветных металлов, находящихся в пробах электронного лома, предоставленных предприятием - заказчиком: медные сплавы (1 - Л63 ( $\gamma = 14,5$  МСм/м,  $\rho = 8,47$  кг/дм<sup>3</sup>); 2 - ЛО90-1 ( $\gamma = 18,52$  МСм/м,  $\rho = 8,8$  кг/дм<sup>3</sup>); 3 - Л90 ( $\gamma = 25$  МСм/м,  $\rho = 8,85$  кг/дм<sup>3</sup>); 4 - проводниковая медь ( $\gamma = 56$  МСм/м,  $\rho = 8,9$  кг/дм<sup>3</sup>)); сплавы алюминия (5 – литейные ( $\gamma = 20$  МСм/м,  $\rho = 2,7$  кг/дм<sup>3</sup>) и 6 – деформируемые ( $\gamma = 28$  МСм/м,  $\rho = 2,7$  кг/д м<sup>3</sup>)).

Нетрудно видеть, что в концентрат могут извлекаться все частицы алюминиевых сплавов крупностью 10-20 мм и большие куски проводниковой меди (их в электронном ломе считанные проценты), на которых развивается удельное электромагнитное усилие (отношение усилия к массе частицы), превышающее требуемое усилие  $F = 10$  Н/кг. На частицы латуни действуют меньшие усилия, поэтому они будут собираться отдельно. По результатам таких исследований была поставлена задача повышения эффективности индукционной сортировки металлов крупностью менее 10 мм.

Следует отметить, что конечный результат сепарации зависит от совместного действия электромагнитных и конкурирующих с ними механических сил (силы трения, гравитации и др.). При этом, очевидно, что влияние механических сил возрастает с уменьшением электромагнитных усилий и, следовательно, с

уменьшением размеров частиц. Поэтому основное внимание при исследованиях уделено оценке влияния на процессы сепарации параметров механической части установки, в частности, размеров плоскости подачи в направлении движения потока (до индуктора  $L_0$  и после него  $L_{II}$ ) и материала, из которого она изготовлена (от него зависит коэффициент трения  $k_{тр}$ ). На рис. 2 приведены характеристики опытно-промышленной установки при изменении указанных параметров: коэффициента трения  $k_{тр}$  и размера плоскости от точки подачи до индуктора ( $L_0 = 5$  см – сплошная линия и  $L_0 = 10$  см – пунктир). Размер плоскости за индуктором  $L_{II} = 40$  см оставался постоянным. Расчеты выполнены для значений удельных электромагнитных усилий, характерных для диапазона размеров частиц сортируемого электронного лома 5-10 мм (см. рис. 1):  $F = 10$  Н/кг (цифры на графиках 1-2); 5 Н/кг (3-4) и 2 Н/кг (5-6).

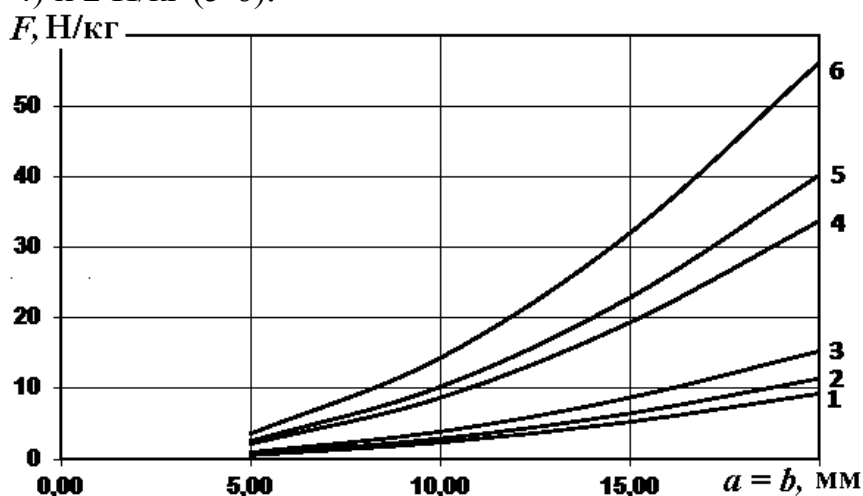


Рис. 1. Зависимость удельных электромагнитных усилий от размеров частиц (цифры на графиках соответствуют номерам металлов в списке)

Основными показателями, характеризующими процесс сортировки металлов являются величина отклонения частиц от линии подачи  $B$  и различие отклонений разных металлов и сплавов  $\Delta B$ . Как видно из графиков на рис. 2, отклонения частиц  $B$  возрастают с уменьшением размера  $L_0$ . А разница отклонений  $\Delta B$  увеличивается как с уменьшением  $L_0$ , так и с ростом коэффициента трения  $k_{тр}$ . Указанные изменения характеристик объясняются уменьшением скорости движения частиц по наклонной плоскости в направлении подачи материала и увеличением времени пребывания их в зоне сепарации.

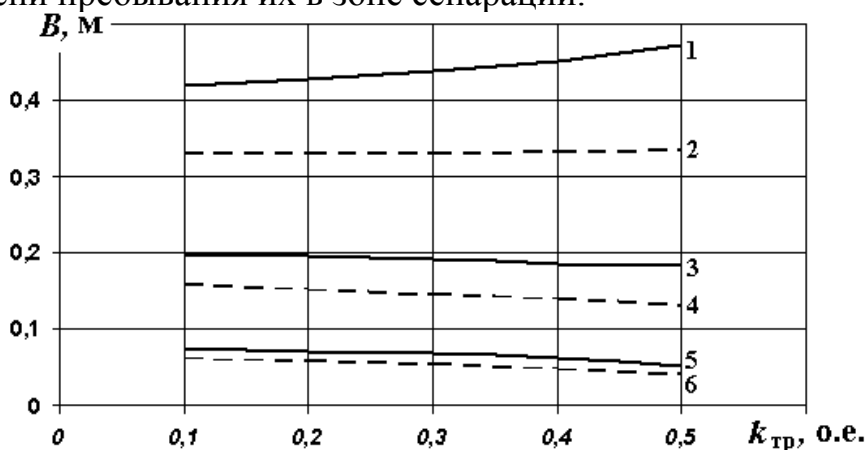


Рис. 2. Оценка влияния коэффициента трения на отклонение металлических частиц при разных значениях размера  $L_0$

Результаты расчетов нашли подтверждение при экспериментальных исследованиях (рис. 3).

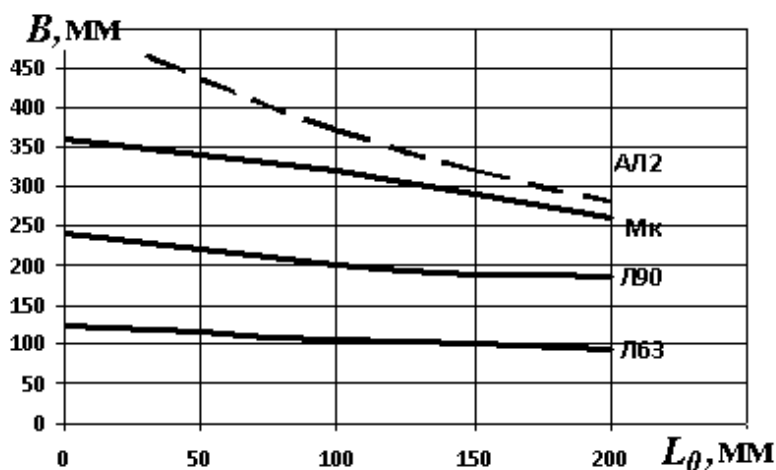


Рис. 3. Зависимость отклонений частиц разных сплавов от размера  $L_0$

#### Список использованных источников

1. Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов / Г. А. Колобов, В. Н. Бредихин, В. М. Чернобаев. М. : Metallurgia. 1993. 288 с.
2. Устройства для электродинамической сепарации лома и отходов цветных металлов / А. А. Патрик, Н. Н. Мурахин, Т. Н. Дерендяева, А. Ю. Коняев, С. Л. Назаров // Промышленная энергетика. 2001. № 6. С. 16-19.
3. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов / В. В. Воскобойников, А. А. Дистанов, А. Ю. Коняев, С. Л. Назаров, Н. С. Якушев // Твердые бытовые отходы. 2014. № 2. С. 26-30.

УДК 656.214

Баева И. А., Ковалев А. А.  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Irina.baeva.01@mail.ru, kovalev@k66.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА РИСКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

**Аннотация.** В работе проанализированы основные методы анализа риска. Представлен пример анализа дерева событий.

Безопасность железнодорожного транспорта в большой степени определяется безопасным функционированием систем и устройств электрификации и электроснабжения. В случае отказа устройств возможны случаи перерыва в электропитании, вследствие чего возникают риски, связанные с жизнью и здоровьем людей, а также экологической безопасностью. Поэтому анализ надежность устройств электроснабжения, с целью сокращения затрат на внеплановые ремонты является приоритетным.