

**Список литературы:** 1. Бохонский А.И. Оптимальное управление переносным движением деформируемых объектов: теория и технические приложения / А.И. Бохонский, Н.И. Варминская, М.И. Мозолевский; под ред. Бохонского А.И. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007. — 296 с. 2. Абдулаев Н.Д. Теория и методы проектирования оптимальных регуляторов / Н.Д. Абдулаев, Ю.П. Петров. — Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. — 240 с. 3. Петров Ю.П. Обеспечение достоверности и надежности компьютерных расчетов/ Ю.П. Петров.- СПб.: БХВ-Петербург, 2008.— 160с.

Сдано в редакцию 19.05.08

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ, ИССЛЕДОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОГО СТОЛА ЭКС-150 ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА**

**Бредихин В. Н. , Козловский К. П. , Пластовец А. В. (ДонНИПИЦМ, г. Донецк)**

*A new design of table concentrator ЭКС-150 has been developed for preparation of crushed radio electronic scrap elements for pyro- and hydrometallurgical operations. The examination of the table concentrator operation has been conducted using glass fabric boards with cut down radio parts and electric conductor scrap. The concentrator table has been applied in industry. The table output is increased 3.8 – 4.0 times more at the first stage of preparation in comparison to the СКО-0.5 Л prototype.*

**Введение.** С 1995 года в лаборатории шихтоподготовки научно-экспериментального комплекса №1 (НЭК-1) эксплуатируется, для подготовки дробленых продуктов элементов лома радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), содержащих драгоценные металлы (ДМ) к пиро- и гидрометаллургическому переделу, концентрационный стол (КС) СКО-0,5Л конструкции Донецкого национального технического университета (ДонНТУ) [1].

Концентрационный стол состоит из рамы, на которой на тросовых подвесках закреплена дека в форме параллелограмма с бигармоническим вибровозбудителем. Острый угол между сторонами дека составляет  $70^\circ$ . Направление возвратно-поступательного движения дека параллельно меньшей диагонали параллелограмма. На деке имеется загрузочная воронка и распределитель потока воды смывающей частицы материала. КС характеризуется следующими параметрами: площадь дека –  $0,52\text{ м}^2$ ; продольный угол наклона дека – не более  $8^\circ$ ; поперечный угол наклона дека – не более  $10^\circ$ ; частота вращения низкоскоростного вала вибровозбудителя –  $5,67 \dots 11,67\text{ с}^{-1}$ ; пропускная способность питания – до  $50\text{ кг/ч}$ ; максимальный расход воды –  $80\text{ дм}^3/\text{мин}$ .

Проведенными исследованиями установлены оптимальные результаты обогащения дробленых электрических соединителей (ЭС) класса -6+0,5 мм при производительности КС  $25\text{--}35\text{ кг/ч}$  и частоте колебаний дека  $7,5 \dots 8,33\text{ с}^{-1}$  без выделения промежуточного продукта.[2, 3].

**Состояние вопроса.** Опыт эксплуатации КС показал, что процесс разделения исходного сырья на металлический концентрат и пластмассовый продукт из-за большой разницы в плотностях материалов (например, латунь –  $8300\text{ кг/м}^3$ , пластмасса –  $1200\text{--}1700\text{ кг/м}^3$ ) происходит на длине дека  $150 \dots 200\text{ мм}$ , после чего металлический продукт можно выводить из процесса. Таким образом, нет необходимости в длинной

деке концентрационного стола. В то же время, производительность стола является недостаточной.

**Постановка задачи.** В соответствии с техническим заданием лаборатории шихтоподготовки на новый концентрационный стол, конструкторским отделом института разработана конструкторская документация и машиностроительной фирмой изготовлен КС, получивший название ЭКС-150.

**Цель работы.** Отработка режимов и параметров концентрации на столе различных видов дробленых элементов лома РЭА, содержащих ДМ, внедрение концентрационного стола.

**Методика исследований и применяемое оборудование.** Разработанный концентрационный стол содержит раму, на которой смонтирован загрузочный бункер с двумя разгрузочными отверстиями и двумя вибропитателями, слегка наклоненную деку в виде параллелограмма с дебалансным приводным механизмом. Дека и приводной механизм (самобалансный вибратор) удерживаются на раме при помощи тросовых регулируемых подвесок. Дека выполнена из двух полудек на общем основании в одной плоскости с разгрузочной щелью между ними (рис.1). Полудеки представляют собой параллелограммы с соотношением загрузочных сторон полудек к сторонам разгрузки концентрата как 1:2. Загрузочные воронки расположены со стороны острых углов полудек у загрузочных сторон. К загрузочной воронке примыкает коробка для подачи смывной воды, под которой находятся резиновые регуляторы – распределители воды.

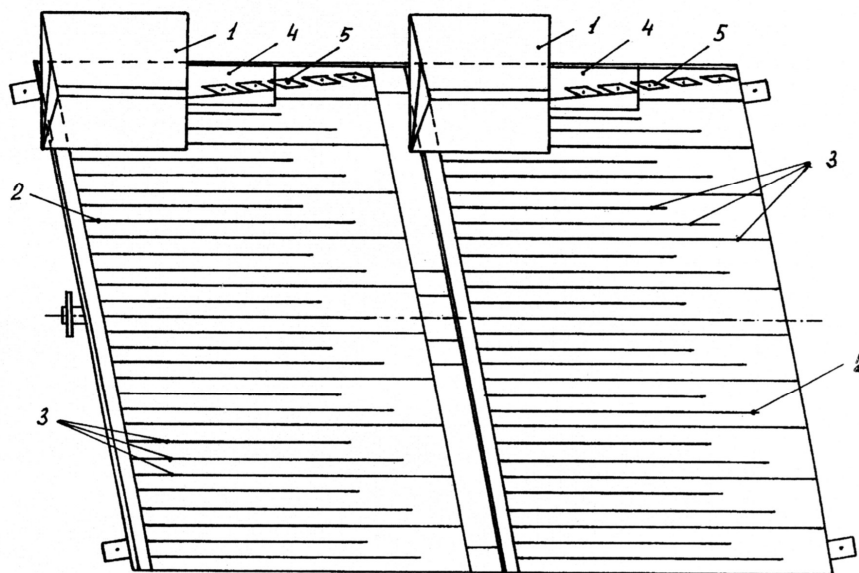


Рис. 1 Вид сверху на деку концентрационного стола ЭКС-150

1 - загрузочная воронка, 2 - рифля, 3 - секция рифлей, 4 - коробка для подачи смывной воды, 5 - резиновые регуляторы - распределители воды.

Загрузочные воронки содержат сопла для подачи воды на смачивание исходного материала. Рифли параллельны верхней загрузочной стороне полудек и имеют прямоугольное сечение, причем площадь сечений постоянна по всей длине рифлей. Рифли по высоте увеличиваются от верхней загрузочной стороны к нижней стороне полудек. Рифли с одинаковой высотой объединены в секции (по три рифли), при этом нижняя рифля в секции перекрывает всю полудеку. В нижней части рамы КС установлено днище со сборником воды, закрытое по всей площади перфорированным

листом, на который устанавливаются коробки с сетчатым дном для продуктов разделения, см. рис.2.

Исследования проводили на стеклотканевых платах с предварительно удаленными радиоэлементами лома РЭА. Платы подвергали дроблению на роторном измельчителе ИПР - 450М с отверстиями решетки 10 мм в две стадии и удалением пыли на каждой стадии дробления. В результате дробления 90% продукта представлено классом -8 мм. Распределение металла по классам следующее, %: кл.-8+5 – 11,5; кл.-5+3 – 11,79; кл.-3+1 – 59,4; кл.-1 – 14,52.

У КС ЭКС-150 при общей площади деки 80 дм<sup>2</sup> рабочая площадь каждой полудеки составляет 36 дм<sup>2</sup>.

Проба дробленых стеклотканевых плат для экспериментов на КС выбрана массой 10 кг из условия, что потери массы материала после концентрации и сушки продуктов не превышали 2%. Разборку продуктов концентрации проводили рассевом отобранных проб массой до 500 г на сите с отверстиями 3мм. Для кл. + 3мм осуществляли визуальную сортировку, а в кл. - 3мм стеклоткань отмывали водой.



Рис. 2 Концентрационный стол типа ЭКС-150

По конструктивным параметрам КС возможно изменение поперечного угла наклона деки от 3 до 12°, частоты колебаний деки от 3,33 до 18,33 сек<sup>-1</sup>, производительности каждого вибропитателя до 175 кг/час, расхода воды на каждую полудеку до 50 дм<sup>3</sup>/мин.

Для исследования режимов разделения на КС на одной из полудек установил рифли шириной 6 мм с шагом по осям рифлей 31 мм. По высоте рифли разбили на 8 секций по три рифли в каждой секции. Высота рифлей в секциях (сверху вниз) следующая: 1? 2 мм; 2? 3 мм; 3? 3,5 мм; 4? 4 мм; 5? 4,5 мм; 6? 5 мм; 7? 5,5 мм; 8? 6 мм.

Постановочная серия опытов по разделению дробленых стеклотканевых плат показала, что экспериментирование возможно в следующих интервалах: удельной производительности 0,85?3,5 кг/ч. дм<sup>2</sup>; частоты колебаний деки 9,83?15,83 с<sup>-1</sup>; поперечного угла наклона деки 3?11°, расхода воды на каждую полудеку 25?45 дм<sup>3</sup>/мин.

При этом в концентрат направляли продукты с 1?5 секций рифлей, в промпродукт – с 6 секции рифлей, в отходы I – продукты 7?8 секций, а в отходы II – продукты, уходящие в слив с 8 секции рифлей.

Например, исследование влияния частоты качаний деки КС на результаты разделения выполнено при следующих частотах: 9,83; 11,33; 12,83; 14,33; 15,83 сек<sup>-1</sup>. Постоянными параметрами работы КС являлись: поперечный угол наклона деки 7°, удельная производительность 2,5 кг/ч.дм<sup>2</sup>, расход воды 30 дм<sup>3</sup>/мин на полудеку (15 дм<sup>3</sup>/мин – на смачивание материала и 15 дм<sup>3</sup>/мин на смыв продуктов). Лучшие результаты разделения получены при частоте 12,83с<sup>-1</sup>: концентрат (выход 14,77%, содержание Ме 96,96%, извлечение Ме 66,44%); промпродукт (выход 14%, содержание Ме 33%, извлечение Ме 21,42%).

Наблюдение за работой КС во время опытов показало, что малое количество концентрата выделяется в 1-3 секциях из-за недостаточной высоты рифлей, а основная нагрузка приходится на 4-5 секции рифлей. Таким образом, расстояние между осями рифлей равное 31 мм не обеспечивает полной загрузки межрифельного пространства деки КС при выделении концентрата. Секции рифлей для выделения концентрата 1-5 занимают более половины площади полудеки, а секции 6-8 для выгрузки промпродукта и отходов I перегружены. Поэтому необходимо увеличить высоту рифлей и уменьшить межрифельное пространство.

На второй полудеке КС уменьшили расстояние между осями рифлей до 25 мм. При этом количество рядов секций возросло на полудеке до 10 (по три рифли в секции). Ширину рифли оставили равной 6 мм, а высоту рифлей в секциях изменили сверху вниз: 1? 2,5 мм; 2? 3,0 мм; 3? 3,5 мм; 4? 4 мм; 5? 4,5 мм; 6? 5 мм; 7? 5,5 мм; 8? 6,0 мм; 9? 6,5 мм; 10? 7 мм.

В постановочной серии опытов исследовали распределение продуктов КС по секциям рифлей и в слив последней рифли. Параметры работы КС: удельная производительность - 3,05 кг/час•дм<sup>2</sup>, частота колебаний деки 12,83 сек<sup>-1</sup>, поперечный угол наклона деки – 7°, расход воды на каждую полудеку – 30 дм<sup>3</sup>/мин (15 дм<sup>3</sup>/мин – на смачивание материала и 15 дм<sup>3</sup>/мин на смыв продуктов разделения).

Результаты разделения на КС дробленых стеклотканевых плат приведены на рис. 3.

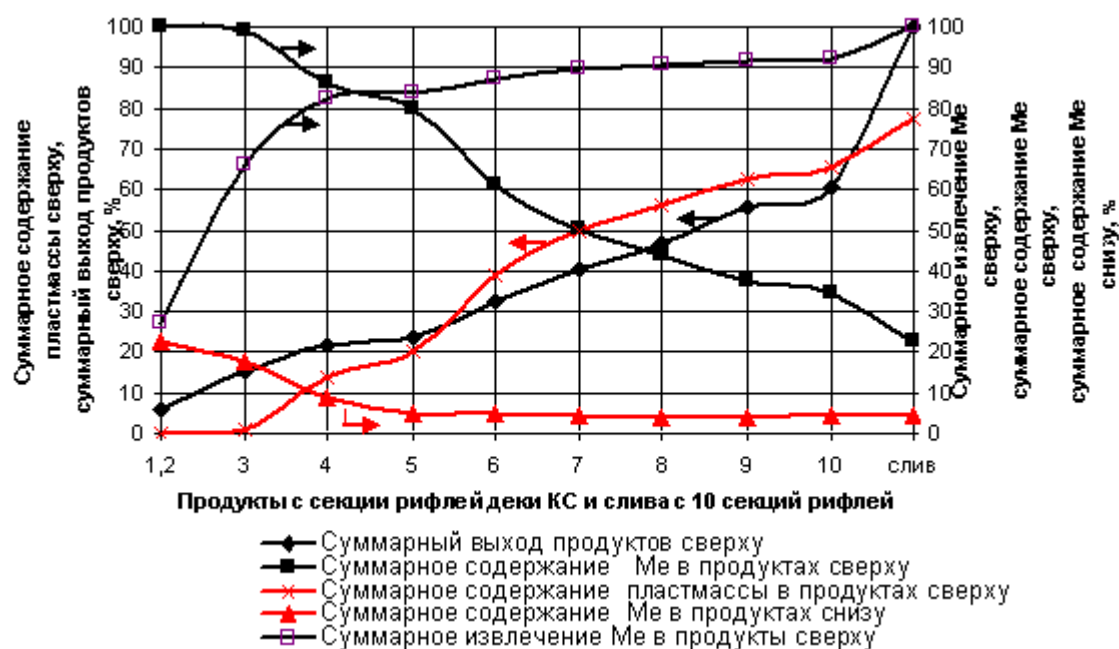


Рис. 3 Зависимости результатов разделения на КС ЭКС-150 при отборе продуктов с секций рифлей полудеки и слива с последней секции рифлей

Как видно из приведенных данных, в концентрат можно направить продукты 1-3 секций рифлей, при этом выход концентрата составляет 15,08%, содержание Ме в концентрате 98,77%, извлечение Ме в концентрат 66%.

Уравнение кривой извлечения Ме ( $\epsilon_{Me}$ ) можно описать полиномом шестой степени.

$$\epsilon_{Me} = 0,0011n^6 - 0,0143n^5 - 0,2058n^4 + 5,0381n^3 - 36,714n^2 + 118,09n - 59,376, \quad (1)$$

где  $n$  - номер секции рифлей.

С учетом ситовых составов продукты 4-7 секций, составляющих 25,24% выхода от всех продуктов, необходимо направить на додробливание. Это позволит после дробления извлечь еще дополнительно металлический концентрат.

Для дробления продуктов КС с 4-7 секций рифлей использовали измельчитель ИПР-150М с отверстиями решетки диаметром 8 мм. После дробления в кл. -8+3 мм содержится 80% продукта.

На повторное разделение на КС направили кл.+1,5мм с содержанием Ме 20,61%. Результаты разделения на КС приведены на рис.4.

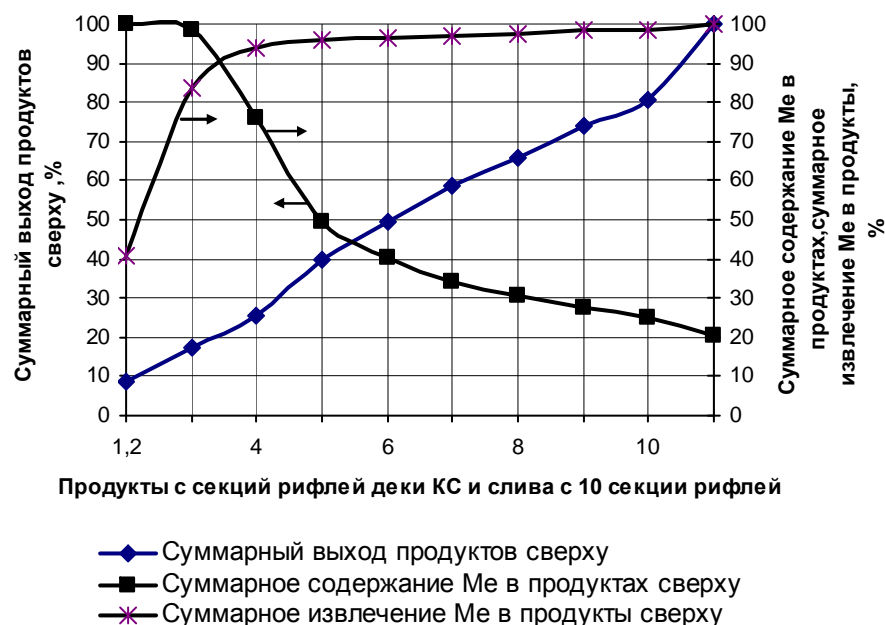


Рис.4 Зависимости результатов повторного разделения на КС ЭКС-150 продуктов 4-7 рифлей предыдущего разделения после их дробления и отсева кл.-1,5мм

Установлено, что с 1-3 секции рифлей можно получить концентрат с выходом 17,5% и содержанием Ме 98,71%, при этом извлечение Ме составит 83,81%. Продукты с 4-5 секций рифлей с выходом 22,39% необходимо направлять снова на КС в качестве циркулирующей нагрузки. Остальные продукты обогащения направляются в отвал.

Уравнение кривой извлечения Ме ( $\epsilon_{Me}$ ) при повторном разделении на КС можно описать в виде полинома шестой степени.

$$\epsilon_{Me} = -0,0035n^6 + 0,1388n^5 - 2,2079n^4 + 18,138n^3 - 81,104n^2 + 187,94n - 81,857, \quad (2)$$

где  $n$  - номер секции рифлей.

Повышения извлечения Ме можно достигнуть при определении оптимальных режимов работы КС.

Для поиска оптимальных режимов концентрации провели планирование опытов с применением метода крутого восхождения [4]. Объектом является концентрационный

стол. Оптимизируемая функция – извлечение Ме в концентрат. Ограничиваемый выходной показатель – содержание стеклоткани в концентрате. Оптимизируем дробный факторный эксперимент (ДФЭ) для четырех переменных. В качестве фактора принят  $x_1$  – удельная производительность;  $x_2$  – расход воды на полудеку;  $x_3$  – частота колебаний деки;  $x_4$  – поперечный угол наклона деки. За наилучшие значения факторов (базовый уровень) примем  $x_1 = 3,05 \text{ кг/час} \cdot \text{дм}^2$ ;  $x_2 = 30 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ;  $x_3 = 12,83 \text{ сек}^{-1}$ ;  $x_4 = 7^\circ$ . Выбираем интервал варьирования  $\Delta x_1 = 0,55 \text{ кг/ч} \cdot \text{дм}^2$ ;  $\Delta x_2 = 5 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ,  $\Delta x_3 = 1,5 \text{ сек}^{-1}$ ;  $\Delta x_4 = 2^\circ$ . Номинальные выходные показатели  $\epsilon_{\text{Ме к-т}} = 66\%$ ,  $\beta_{\text{Ме к-те}} = 98,77\%$ , где  $\epsilon$ ,  $\beta$  – извлечение Ме в концентрат и содержание Ме в концентрате.

Составили план ДФЭ  $2^{4-1}$  [5].

Разработанная модель процесса выражается уравнением

$$\epsilon_{\text{Ме}} = 44,81 + 5,98x_1 + 6,32x_2 + 2,74x_3 - 10,77x_4 \quad (3)$$

Интерпретация модели. Судя по знакам при коэффициентах модели эффективность разделения увеличивается с увеличением удельной производительности, расхода воды на полудеку, частоты колебаний и снижается с увеличением поперечного угла наклона деки в принятых диапазонах изменения рассматриваемых факторов. Затем выбрали лучший режим по методу крутого восхождения.

Решением задачи планирования экспериментов явился опыт, при котором достигается извлечение Ме в концентрат 75,2% при засоренности концентрата стеклотканью равной 10,08%. Режим работы КС:  $x_1 = 3,2 \text{ кг/час} \cdot \text{дм}^2$ ;  $x_2 = 31,45 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ;  $x_3 = 13,019 \text{ сек}^{-1}$ ;  $x_4 = 6^\circ$ .

Установленный оптимальный режим для стеклотканевых плат использовали для разделения на КС ЭКС -150 смеси дробленых ЭС кл.-10+0,5 мм. При этом возросла удельная производительность КС до  $3,5 \text{ кг/час} \cdot \text{дм}^2$ , извлечение металла в концентрат составило 85,5%, выход промежуточного продукта для повторного дробления на ИПР-150М с отверстиями решетки диаметром 8 мм уменьшился до 12%.

**Результаты исследований.** Для стеклотканевых плат со срубленными радиоэлементами и ЭС в пластмассовых корпусах наиболее эффективным по извлечению металла в концентрат и производительности можно считать КС типа ЭКС-150, по сравнению с КС СКО-0,5Л.

**Выводы.** Исследована работа КС ЭКС-150 на дробленных элементах лома РЭА – платах со срубленными радиодетальями и электрических соединителях. Установлено, что при разделении на указанных видах элементов лома удельная производительность КС ЭКС-150 в 3,8 – 4,0 раза выше на первой стадии обогащения, чем на столе СКО-0,5Л. КС внедрен в опытно-промышленное производство НЭК-1 ДонНИПИЦМ. При внедрении КС в его конструкцию внесен ряд изменений улучшающих эксплуатационные показатели.

**Список литературы:** 1. Букин С. Л. , Бредихин В. Н. , Корчевский А. Н. Разделение лома цветных и драгоценных металлов на концентрационном столе с бигармоническим вибровозбудителем // Совершенствование технологии и оборудования по переработке лома и отходов, содержащих драгоценные металлы (Доклады IV НТ конференции 16-18 апреля 1996г.). – Донецк.: ДонИЦМ, 1996. – С.17-20. 2. Козловский К. П. , Шуляк Т. И. , Пластовец А. В. Исследование обогащения лома электрических соединителей с покрытиями из драгоценных металлов - Днепропетровск, Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - №3. – С. 70-73. 3. Самсонов А. И., Бредихин В. Н., Козловский К. П., Пластовец А. В., Шуляк Т. И. Исследование работы концентрационного стола СКО-0,5Л для обогащения

продуктов дроблення лома РЭА. – Запоріжжє, ЗГИА, Металлургия, №13, 2005, с41-48. 4. Козин В.З. Экспериментальное моделирование и оптимизация процессов обогащения полезных ископаемых / М.:Недра,1984.-117с. 5. Разработка и внедрение опытно-экспериментальных участков по переработке сложных отходов, содержащих драгоценные металлы. Отчет о НИР (Т.1 - Разработать и внедрить технологию переработки плат РЭА, в т.ч. деталей на керамической основе) / Донецкий гос. науч.-исслед. и проект. ин-т цв. металлов. Рук. Козловский К.П. - Донецк., 2006. - Отв. исполн. Пластовец А.В., Шуляк Т.И. - № ГР0105у007235.

Сдано в редакцию 20.05.08

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАКЛЕПУ ПРИ МАГНІТО-АБРАЗИВНІЙ ОБРОБЦІ ВИСОКОЛЕГОВАНИХ НІКЕЛЕВИХ СПЛАВІВ

Гавриш А.П., Мельник О.О., Гавриш О.А. (НТУУ «КПІ», Київ, Україна)

*In this article are presented the results of research parameters of peening at magnetic abrasive finishing of the high-alloyed nickel-based alloys. A research method, principle of work of the research setting, is presented and there were the analysed influences of the modes of cutting on quality of superficial layer of detail. A job result it is been recommendation on the choice of the cutting settings.*

**Вступ** В теперішній час сучасні методи формоутворення дозволяють отримати заготовки по формі і розмірам близьким до готових деталей. Багато в чому остається невирішене питання подальшого формування заданих фізико-механічних і експлуатаційних властивостей поверхневого шару, остаточної доводки поверхні деталі.

Однак, особливі якості важкооброблюваних магнітомяких сплавів потребують вдосконалення існуючих і розробку нових методів оброблення поверхонь.

Одним із перспективних методів оброблення являється метод магніто-абразивного оброблення.

**Мета** даної роботи є дослідження параметрів наклепу при магніто-абразивній обробці високолегованих нікелевих сплавів.

На жаль, у науково-технічній літературі, незважаючи на велику кількість публікацій по дослідженню параметру наклепу при алмазно – абразивного шліфування і доводці [1], практично немає відомостей про вивчення параметрів наклепу при магніто-абразивному обробленні (МАО).

Відомо, що наклеп суттєво впливає на кінцеві параметри якості поверхні.

Тому, дослідження параметру наклепу при магніто-абразивному обробленні безумовно є актуальним питанням, що спонукало до відповідного вивчення і підготовки даної статті.

Дослідження цього питання виконується в рамках науково-дослідної роботи «Розробка технології отримання і обробка композиційних підшипникових матеріалів для важких умов експлуатації» (Державна науково-технічна програма МОН України № 2140-п).

**Методика** Магнітно-абразивна обробка є процесом обробки деталей в середовищі композиційного феромагнітного абразивного порошку, утримуваного силами магнітного поля в робочій зоні. Магнітно-абразивний матеріал розташовується між полюсами електромагнітів, створюючи ріжучий інструмент («щітки»), щільністю якого можна варіювати в широких межах, змінюючи напруженість магнітного поля в