

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТРОЙСТВА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПУЛЬП, ОСНОВАННОГО НА ДЕЙСТВИИ БЕГУЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

А. В. Угольников, И. Л. Шеклеина, А. Е. Горелова

Economic efficiency of the dehydration device for ferromagnetic pulps based on the action of a traveling magnetic field

A. V. Ugol'nikov, I. L. Shchekleina, A. E. Gorelova

The objective of any enterprise is a reduction of production costs, encouraging investments for implementation of new advanced technologies for extraction, processing and transportation of raw materials, reproduction of an effective mineral and raw materials base. At concentrating plants, the final process of minerals processing is the dehydration of pulps. This process has large economic costs due to the expenses on electricity and filter cloth of vacuum filters. The most promising is the replacement of vacuum filters by such devices that dehydrate the pulp using a running magnetic field effect. Using such a device will significantly improve the quality of iron ore concentrate, reduce the loss of useful component and the cost of electrical energy, exclude the costs of filter cloth and thereby reduce the production cost. The principle of operation of such dehydration devices is that the magnetic particles, getting into the range of running magnetic field, begin to move against the direction of this field. In this paper, the authors propose to replace the vacuum filter with a dehydration device for ferromagnetic pulps based on the action of running magnetic field. This device allows reducing capital costs, repair costs and consumables costs. The calculation shows that the replacement of existing equipment with a new one leads to an annual economic effect in operating costs. Based on purely economic considerations, replacing to the dehydration device is a reliable investment.

Keywords: dehydration; vacuum filter; dehydration device; economic efficiency; capital costs; repair costs; minerals processing.

Задачей любого предприятия является: снижение издержек производства, привлечение инвестиций для внедрения новых прогрессивных технологий по добыче, переработке и транспортировке сырья, воспроизводство эффективной минерально-сырьевой базы. На обогатительных фабриках заключительным процессом обогащения полезных ископаемых является обезвоживание пульп. Данный процесс имеет большие экономические затраты за счет расходов на электроэнергию и фильтроткань вакуум-фильтров. Наиболее перспективным является замена вакуум-фильтров на устройства, в которых пульпа обезвоживается под воздействием на нее бегущего магнитного поля. Использование такого устройства позволит существенно повысить качество железорудного концентрата, снизить потери полезного компонента и расходы на электрическую энергию, исключить затраты на фильтроткань и тем самым снизить себестоимость продукции. Принцип работы подобных устройств обезвоживания заключается в том, что магнитные частицы, попадая в зону действия бегущего магнитного поля, начинают перемещаться против направления этого поля. В данной работе предлагается заменить вакуум-фильтр на установку обезвоживания ферромагнитных пульп на основе действия бегущего магнитного поля. Данная установка позволяет уменьшить капитальные затраты, затраты на ремонт и затраты на расходные материалы. В произведенном расчете видно, что замена имеющегося оборудования на новое приводит к годовому экономическому эффекту в эксплуатационных издержках. Это указывает, что если основываться на соображениях исключительно экономического порядка, то замена на устройство обезвоживания является надежным капиталовложением.

Ключевые слова: обезвоживание; вакуум-фильтр; устройство обезвоживания; экономическая эффективность; капитальные затраты; затраты на ремонт; обогащение полезных ископаемых.

Важнейшими задачами предприятий добывающей отрасли являются: снижение издержек производства, привлечение инвестиций для внедрения новых прогрессивных технологий по добыче, переработке и транспортировке сырья, воспроизводство эффективной минерально-сырьевой базы. Сегодня предприятия добывающей отрасли стремятся достичь максимальной производительности труда и отдачи капиталовложений.

В процессах обогащения полезных ископаемых вода в определенном соотношении к массе твердого материала проходит через весь технологический цикл обогатительной фабрики. Для получения высоких показателей обогащения каждую технологическую операцию проводят при оптимальном соотношении жидкого к твердому (Ж:Т).

Потребление воды при обогащении полезных ископаемых зависит от технологической схемы их переработки, характеристик исходного сырья, конечной крупности перерабатываемых

продуктов. В среднем расход воды только на технологические нужды изменяется в пределах 3–6 м³ на 1 т обогащаемой руды, достигая 15 м³ на 1 т и более на фабриках с развитой гравитационной технологией [1].

Процессы обезвоживания являются заключительными на обогатительных фабриках с мокрым обогащением. Цена продукции зависит от содержания в ней влаги; на себестоимость также влияют потери продукта при обезвоживании, расходы на электроэнергию и фильтроткань вакуум-фильтров (рис. 1).

Технологические требования к работе отделения обезвоживания заключаются в следующем [2, 3]:

- обеспечение требуемого количества выходного продукта;
- снижение потерь полезного компонента (железа) со сливом сгустителя;
- повышение производительности отдельных агрегатов отделения обезвоживания;

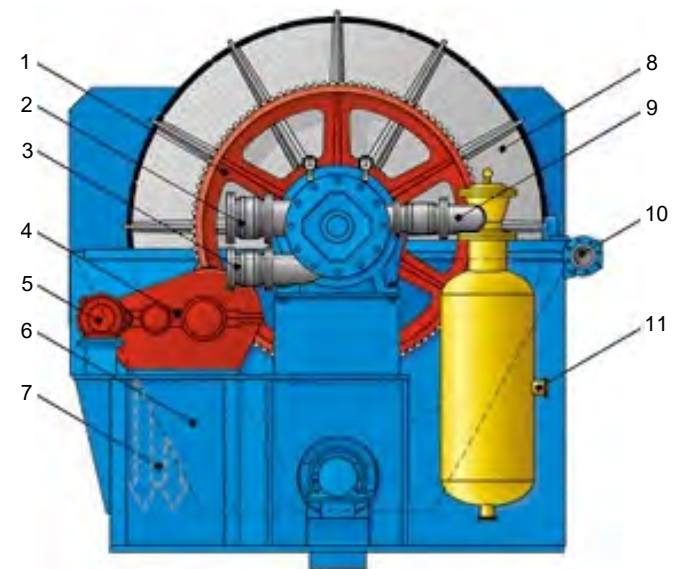


Рисунок 1. Диск вакуум-фильтр ДУ-100. 1 – шестерня привода; 2 – отдувка (съем осадка); 3 – отвод фильтрата; 4 – редуктор привода; 5 – двигатель; 6 – корыто; 7 – выгрузка осадка; 8 – фильтровальные диски; 9 – сушка осадка; 10 – труба подачи суспензии; 11 – к вакуум-насосу.

- снижение затрат электроэнергии и материалов;
- поддержание производительности отделения обезвоживания на уровне не ниже уровня производительности основных пределов обогащения;

- получение концентрата с содержанием влаги, не превышающим норм технологического процесса.

Недостатком данной технологии обезвоживания является влажность кека выше нормы – 9,8 %. Одно из несовершенных устройств в традиционной технологии обезвоживания – вакуум-фильтр, который также имеет недостатки:

- большое количество вспомогательного оборудования на один фильтр (вакуум-насос – 1 шт.; турбовоздуходувка – 1 шт.), что обуславливает большие затраты на электроэнергию;

- в процессе фильтрации происходит повреждение фильтроткани, забивка пор ткани частицами, химическая цементация волокон, что требует периодической замены фильтроткани и дополнительных затрат;

- для нормальной работы вакуум-фильтров необходимо стабилизировать плотность питания на уровне 55–60 %, вакуум – на максимальном уровне.

Все это обуславливает большие эксплуатационные расходы на данный фильтр и сложную систему управления. С учетом всех перечисленных недостатков вакуум-фильтра станвятся актуальными разработка и расчет новых устройств, позволяющих заменить сложные в эксплуатации вакуум-фильтры.

Наиболее перспективным является замена вакуум-фильтров на устройства, в которых пульпа обезвоживается под воздействием на нее бегущего магнитного поля. Использование такого устройства позволит существенно повысить качество железорудного концентрата, снизить потери полезного компонента и расходы на электрическую энергию, исключить затраты на фильтроткань и тем самым снизить себестоимость продукции [4, 5, 6].

Принцип работы подобных устройств обезвоживания заключается в том, что магнитные частицы, попадая в зону действия бегущего магнитного поля, начинают перемещаться против направления этого поля. Наиболее распространены два способа получения бегущего магнитного поля: с помощью трехфазных линейных индукторов и с помощью перемещающихся постоянных магнитов. Первый способ получения бегущего магнитного поля отличается высокой конструктивной надежностью, поскольку не содержит подвижных рабочих частей и более приемлем для устройств обезвоживания, основанных на принципе бегущего магнитного поля.

Общий вид устройства изображен на рис. 2.

Устройство включает рабочий орган в виде короба 1 из немагнитного материала, установленный под углом к горизонту

α с образованием зон сгущения 2 и сушки 3 (участок короба в зоне сгущения выполнен с меньшим углом наклона к горизонту, чем угол наклона короба в зоне сушки), магнитную систему 4, сливной порог 5, установленный в торцевой части короба в зоне сгущения, приемник обезвоженного продукта 6 и водосборник 7.

Магнитная система содержит также фильтр верхних частот и фильтр импульсов. Благодаря фильтру верхних частот, не пропускающему переменный ток, включенному в цепь импульсного тока, достигается прохождение трехфазного переменного тока по всем обмоткам и тем самым создание бегущего магнитного поля под всем днищем короба.

При прохождении тока, создаваемого источником импульсного поля, в обмотках магнитной системы, расположенной под зоной сушки, создается магнитное поле импульсного тока большой амплитуды и скважности. По остальным обмоткам импульсный ток не проходит благодаря фильтру импульсов, включенному в цепь трехфазного переменного тока. В качестве фильтра верхних частот возможно использование типовых схем, например, схем типовых RC- и LC-фильтров, активных фильтров, в качестве фильтра импульсов – схем типовых полосовых фильтров. Для формирования импульсного тока большой амплитуды и малой скважности используются типовые схемы генераторов сигналов, например, на базе триггеров Шмидта [7].

Устройство работает следующим образом: тонкоизмельченную ферромагнитную пульпу с содержанием влаги 30–60 % подают в короб 1 на границу раздела зон сгущения 2 и сушки 3. Ввиду того, что угол наклона к горизонтали зоны 3 больше угла наклона зоны 2, пульпа попадает в зону сгущения 2, где происходит осаждение ферромагнитных частиц и перемещение их вверх по днищу короба 1 встречно направлению бегущего поля. Вода удаляется из короба через сливной порог 5. При перемещении ферромагнитных частиц вверх по днищу короба 1 в зоне сушки 3 происходит удаление влаги из осадка под действием собственной силы тяжести вниз по днищу. Для удаления остаточной влаги в обезвоживаемом материале на него в зоне сушки воздействуют дополнительно магнитным полем импульсного тока большой амплитуды и скважности, создаваемого посредством подключения источника и фильтра к обмоткам, размещенным под зоной сушки 3. Обезвоженный продукт поступает в приемник 6 [8].

При замене вакуум-фильтра ДУ-100 на устройство обезвоживания, основанное на принципе бегущего магнитного поля, возможно высвобождение из рабочего цикла вакуум-насоса ВН-120 и турбовоздуходувки ТВ-80.

Рассмотрим вариант замены на установку только вакуум-фильтра ДУ-100. Базовый вариант – вакуум-фильтр ДУ-100, рас-

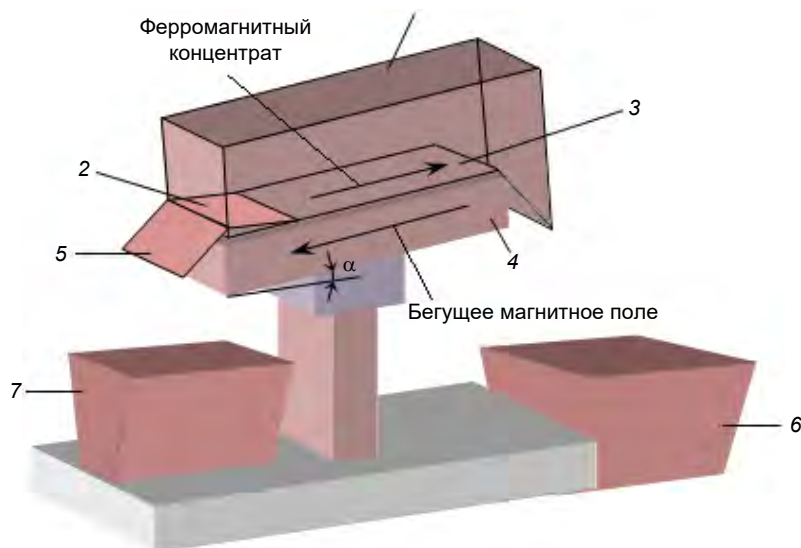


Рисунок 2. Общий вид устройства обезвоживания ферромагнитных пульп.

четный вариант – устройство обезвоживания на основе действия бегущего магнитного поля.

Капитальные затраты на вакуум-фильтр ДУ-100.

Наименование затрат	Стоимость, тыс. руб.
Фильтр ДУ-100	1350
Фильтроткань	770
Транспортные расходы	71,58
Стоимость монтажных работ	568,2
<i>Общая сумма капитальных затрат</i>	<i>2759,78</i>

Капитальные затраты на устройство обезвоживания.

Наименование затрат	Стоимость, тыс. руб.
Стоимость установки (металл, обмоточный провод, электротехническая сталь, оргстекло)	355
Стоимость монтажных работ	50
<i>Общая сумма капитальных затрат</i>	<i>405</i>

Расчет расходов на электроэнергию

$$C_3 = PT_{вр} k_m C,$$

где P – мощность объекта; $T_{вр}$ – годовой фонд рабочего времени; k_m – коэффициент использования по мощности; C – стоимость электроэнергии.

Базовый вариант:

$$C_3 = 11 \times 8760 \times 0,8 \times 1,75 = 134\,904 \text{ руб.}$$

Расчетный вариант:

$$C_3 = 34,5 \times 8760 \times 0,8 \times 1,75 = 423\,108 \text{ руб.}$$

Расчет заработной платы

Основная зарплата рабочих:

$$C_{ос} = tT_{тар} \times 1,808,$$

где $T_{тар}$ – тарифная ставка рабочего 1-го разряда – 59 руб.; 1,49 – коэффициент для рабочих 4-го разряда; t – годовой фонд рабочего времени; 1,808 – коэффициент, учитывающий: 40 % – премия; 20 % – уральский коэффициент; 35,8 % – единый социальный налог.

Расчет заработной платы по основному и базовому вариантам:

$$C_{ос} = 8760 \times 87,9 \times 1,808 = 1\,392\,167 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт

$$C_{ос} = t_p n T_{тар} \times 1,808,$$

где t_p – единицы ремонтной сложности; n – коэффициент сложности ремонта.

Ниже представлены затраты на ремонт вакуум-фильтра и устройства обезвоживания.

Затраты на ремонт.

Параметр	ДУ-100	Устройство обезвоживания
t_p , чел/ч	146	55
Капитальный ремонт, руб.	9490	1300
Средний ремонт, руб.	1460	950
Текущий ремонт, руб.	630	250
$t_{общ}$, чел/ч	1304	305
<i>Общие затраты на ремонт, руб.</i>	<i>311\,200</i>	<i>72\,790</i>

В смете годовых эксплуатационных расходов, расходы на вспомогательный материал составляют 2 % от суммы капитальных вложений K_3 .

Базовый вариант:

$$C_{в.м} = 0,02 K_3 = 0,02 \times 2\,758\,200 = 55\,164 \text{ руб.}$$

Расчетный вариант:

$$C_{в.м} = 0,02 K_3 = 0,02 \times 405\,000 = 8100 \text{ руб.}$$

Расчет амортизационных отчислений

По мере износа основные фонды утрачивают не только потребительские свойства, но и стоимость, т. е. воплощенный в них прошлый труд. Однако благодаря производительному использованию основных фондов их первоначальная стоимость не исчезает бесследно, а переносится постепенно трудом рабочих на создаваемую продукцию. Этот процесс называется амортизацией.

Годовые амортизационные отчисления по каждому варианту определяются по формуле:

$$A_o = \frac{H_a K}{100},$$

где H_a – норма амортизационных отчислений; K – стоимость объекта.

Для базового варианта норма отчислений составляет 5,5 %.

Для новой установки норма отчислений составляет 5 %.

Базовый вариант:

$$A_o = \frac{5,5 \cdot 2\,120\,000}{100} = 116\,600 \text{ руб.}$$

Расчетный вариант:

$$A_o = \frac{5 \cdot 355\,000}{100} = 17\,750 \text{ руб.}$$

Результаты расчетов приведены ниже.

Анализ затрат.

Наименование расходов	Базовый вариант $C_{б.в}$	Расчетный вариант $C_{р.в}$
Капитальные затраты, руб.	2 758 200	405 000
Амортизация, руб.	116 600	17 750
Электроэнергия, руб.	134 904	423 108
Основная зарплата, руб.	1 392 167	1 392 167
Затраты на ремонт, руб.	311 200	72 790
Затраты на материалы, руб.	55 164	8100
<i>Общие затраты, руб.</i>	<i>4 768 235</i>	<i>2 318 915</i>

Годовая экономия

$$\Theta_r = C_{б.в} - C_{р.в} = 4\,768\,235 - 2\,318\,915 = 2\,449\,320 \text{ руб.}$$

Выпускать больше продукции и лучшего качества – это цель каждого предприятия. При наличии на рынке современных, модернизирующих производство машин любому предприятию становится все труднее обходиться со старым изношенным оборудованием, особенно в том случае, когда конкуренты фирмы стали на путь модернизации производства. Установка нового оборудования обычно приводит к значительному снижению издержек на труд, на некоторых автоматизированных предприятиях заработная плата производственных рабочих составляет почти ничтожный процент от общих издержек. Даже на предприятиях с

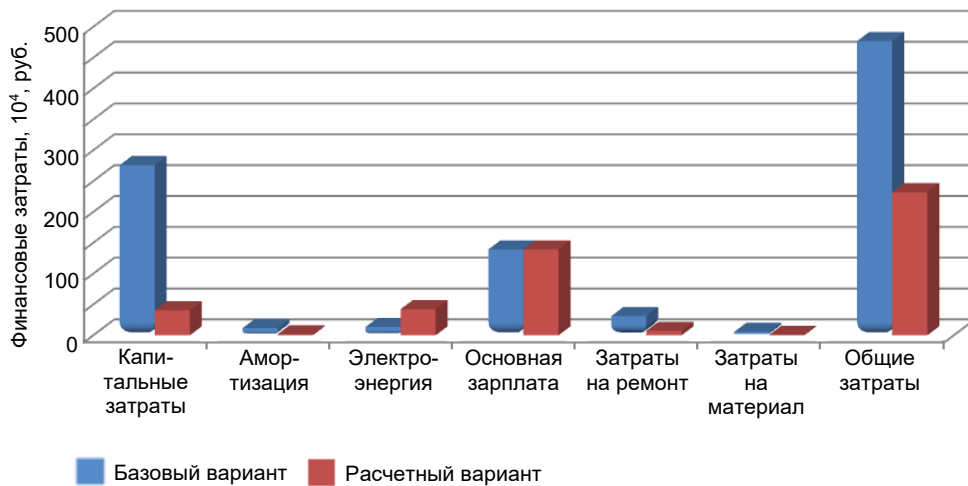


Рисунок 3. Сравнение финансовых затрат базового и расчетного вариантов.

большим количеством ручного труда новое оборудование резко повышает производительность, улучшает моральное состояние рабочих и снижает себестоимость единицы продукции (рис. 3).

Перед руководством предприятия также остро встанут проблемы непрерывного использования основного оборудования в режиме эксплуатации при снижении стоимости технического обслуживания.

В произведенном расчете видно, что при замене имеющегося оборудования на новое получится 2 449 320 руб. годовой экономии в эксплуатационных издержках; это указывает, что если основываться на соображениях исключительно экономического порядка, то замена на устройство обезвоживания явится надежным капиталовложением.

В рассмотренном варианте посчитана экономия только при замене вакуум-фильтра. При замене вакуум-насоса и турбовоздуходувки экономия будет значительно больше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслина Л. А. Обогащение полезных ископаемых. КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева, Кемерово, 2012 г. 193 с.
2. Кармазин В. В. Некоторые закономерности магнитной флокуляции тонкодисперсных сильномагнитных материалов // Электрические и магнитные методы сепарации. М.: Наука, 1965. С. 79–93.
3. Кармазин В. В. Зависимость эффективности процессов сухой центробежной магнитной сепарации от частоты магнитного поля // Электрические и магнитные методы сепарации. М.: Наука, 1965. С. 68–79.
4. Ломовцев Л. А., Нестеров Н. А. Магнитное обогащение сильномагнитных руд. М.: Недра, 1979. 235 с.
5. Щеклеина И. Л., Леонов Р. Е. Перемещение железорудной пульпы линейным индуктором // Электрические машины и машиновентильные системы: сб. науч. тр. Свердловск: Свердлов. инж.-пед. ин-т, 1989. С. 114–121.
6. Стрелкин Н. А. Взаимодействие магнетитовых частиц и сростков с бе-

гущим магнитным полем // Обогащение руд черных металлов. М.: Недра, 1975. С. 168–174.

7. Веселовский О. Н., Коняев А. Ю., Сарапулов Ф. Н. Линейные асинхронные двигатели. М.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.

8. Черных И. В., Сарапулов Ф. Н. Основы теории и моделирование линейного асинхронного двигателя как объекта управления. Екатеринбург: УГТУ, 1999. 229 с.

REFERENCES

1. Suslina L. A. 2012, *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh* [Enrichment of natural resources]. Kemerovo, 193 p.
2. Karmazin V. V. 1965, *Nekotorye zakonomernosti magnitnoj flokuljatsii tonkodispersnykh sil'nomagnitnykh materialov* [Some regularities of magnetic flocculation of finely dispersed highly magnetic materials]. *Elektricheskie i magnitnye metody separacii* [Electrical and magnetic separation methods], Moscow, pp. 79–93.
3. Karmazin V. V. 1965, *Zavisimost' effektivnosti processov suhoj centrobezhnnoj magnitnoj separacii ot chastoty magnitnogo polya* [Dependence of the efficiency of processes of dry centrifugal magnetic separation on the frequency of the magnetic field]. *Elektricheskie i magnitnye metody separacii* [Electrical and magnetic separation methods], Moscow, pp. 68–79.
4. Lomovtcev L. A., Nesterov N. A. 1979, *Magnitnoe obogashchenie sil'nomagnitnykh rud* [Magnetic enrichment of strongly magnetic ores], Moscow, 235 p.
5. Shhekleina I. L., Leonov R. E. 1989, *Peremeshhenie zhelezorudnoj pul'py lineynym induktorom* [The transfer of iron ore pulp by a linear inductor]. *Elektricheskie mashiny i mashinovenil'nye sistemy: sb. nauch. tr.* [Electric machines and machine-centric systems: a collection of scientific papers], Sverdlovsk, pp. 114–121.
6. Strelkin N. A. 1975, *Vzaimodeystvie magnetitovykh chastits i srostkov s begushchim magnitnym polem* [Interaction of magnetite particles and intergrowths with a traveling magnetic field]. *Obogashchenie rud chernykh metallov* [Enrichment of ores of ferrous metals], Moscow, pp. 168–174.
7. Veselovskiy O. N., Konyaev A. Yu., Sarapulov F. N. 1991, *Lineynye asinkhronnye dvigateli* [Linear induction motors], Moscow, 256 p.
8. Chernykh I. V., Sarapulov F. N. 1999, *Osnovy teorii i modelirovanie lineynogo asinkhronnogo dvigatelya kak ob'ekta upravleniya* [Fundamentals of the theory and modeling of a linear induction motor as a control object]. Ekaterinburg, 229 p.

Александр Владимирович Угольников,
ugolnikov@yandex.ru

Ирина Леонтьевна Щеклеина,
Анастасия Евгеньевна Горелова

Уральский государственный горный университет
Россия, Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30

Aleksandr Vladimirovich Ugo'lnikov,
ugolnikov@yandex.ru

Irina Leont'evna Shhekleina,
Anastasiya Evgen'evna Gorelova

Ural State Mining University
Ekaterinburg, Russia