

DOI: 10.12737/article_5c50624e96f4d1.15725697

^{1,*}Лозовая С.Ю., ¹Лозовой Н.М., ¹Землянский М.А.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46

*E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ БАРАБАНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Аннотация. Развитие черной и цветной металлургии требует комплексного совершенствования производственных процессов: добычи, дробления, помола, обогащения руд, их дальнейшего металлургического передела. Важное место в ряду этих процессов занимает обогащение. Именно от качества обогащения зависит дальнейшее использование железорудного сырья. Основной машиной для обогащения является магнитный сепаратор. На обогатительных предприятиях практически отсутствуют магнитные сепараторы с регулируемой системой из постоянных магнитов, поэтому на сегодняшний день остро стоит задача разработки данной системы. Был произведён анализ регулировки магнитных систем барабанных сепараторов для обогащения сильномагнитных руд. В результате была предложена новая конструкция регулируемой системы, которая позволяет обеспечивать необходимые параметры магнитного поля (напряженность и равномерность) в рабочей зоне сепаратора. Что обеспечит намагничивание, удержание и последующего отрыва феррочастиц, это позволит повысить качество концентрата и расширить область применения сепаратора за счет настройки машины на выполнение своих функций в различных стадиях магнитного обогащения (первичной сепарации, перечистки) железорудного сырья. Также в статье было проведено теоретическое моделирование и получены формулы на основании, которых, можно рассчитать индукцию магнитного поля для любой точки или системы точек, принадлежащих концентричной с барабаном машины цилиндрической поверхности.

Ключевые слова: обогащение, регулируемая магнитная система, магнитное поле, напряжённость, железорудное сырьё.

Введение. Развитие черной и цветной металлургии требует комплексного совершенствования производственных процессов: добычи, дробления, помола, обогащения руд, их дальнейшего металлургического передела. Важное место в ряду этих процессов занимает обогащение. Именно от качества обогащения зависит дальнейшее использование железорудного сырья [1, 13, 14, 15].

Здесь нужно отметить, что при получении железистого кварцита, большое количество пустой породы уходит в хвосты, что является/считается техногенным продуктом. В последнее время хвосты используют при строительстве дорог, для этого желательно из них извлечь магнито содержащую часть, поэтому совершенствование магнитной системы сепараторов является актуальной в настоящее время.

Обогатительные процессы значительно повышают возможность использования бедных железных руд, составляющих около 80 % мировых запасов. На процесс магнитного обогащения влияют множество факторов. Для барабанного магнитного сепаратора решающими являются:

- 1) характер движения пульпы;
- 2) параметры, создаваемые машиной в рабочей зоне (напряженность магнитного поля и её равномерность).

Влияние первого фактора достаточно хорошо изучено. На практике прочно закрепились 3 вида ванн барабанного сепаратора: прямоточные, противоточные и противоточные, создающие различные условия для перемещения потоков пульпы с феррочастицами.

Изменение магнитных полей этих машин не очень подробно исследовано, в силу этого на обогатительных предприятиях практически отсутствуют магнитные сепараторы с регулируемыми системами из постоянных магнитов. В большинстве подобных предусмотрено лишь изменение глубины ванны, что позволяет снижать напряженность магнитного поля, опуская её дно, и не влияет на равномерность поля. Слабая управляемость поля барабанных сепараторов с магнитной системой из постоянных магнитов значительно снижает экономический эффект и сужает область применения этих простых, надежных, энергосберегающих, электробезопасных и долговечных машин.

Поэтому на сегодняшний день остро стоит задача разработки магнитной системы, сочетающей в себе возможности регулирования в широких пределах как напряженности магнитного поля в рабочей зоне, так и её равномерности [2]. При этом она должна быть простой и дешевой в изготовлении, удобной в эксплуатации, удовлетворять требованиям безопасности. Конструкция

магнитной системы должна быть универсальной для большинства барабанных сепараторов, а затраты на модернизацию существующих систем для обеспечения их регулируемости – минимальными.

Основная часть. Магнитные барабанные сепараторы для обогащения сильномагнитных руд путем мокрой магнитной сепарации применяются для обогащения сильномагнитных железных руд в первых приемах обогащения (черновая сепарация с целью получения отвальных хвостов

и промежуточных продуктов) для крупнозернистых, а в последних стадиях – для весьма тонкоизмельченных материалов. Эти сепараторы (рис. 1) состоят из следующих основных узлов: барабана 1 с магнитной системой из постоянных магнитов 2, ванны 3, рамы 4 и приводного устройства 5. Их изготавливают с барабаном диаметром 600 мм, различной длины – 275, 550, 1325, 1750 мм. Конструкция магнитного барабанного сепаратора для обогащения сильномагнитных руд фирмы «Сала» схематично представлена на рис. 1 [2–9].

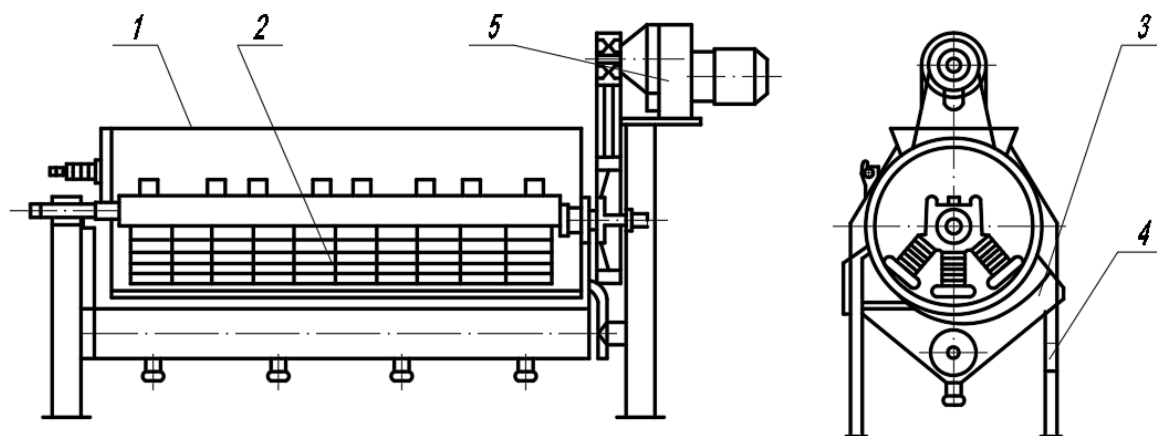


Рис. 1. Схема магнитного сепаратора для обогащения сильномагнитных руд:
1 – барабан; 2 – магнитная система; 3 – ванна; 4 – рама; 5 – приводное устройство

Данный сепаратор низкой чувствительности для сильномагнитных зернистых и тонкозернистых материалов с подъёмом магнитной фракции и вымыванием немагнитной фракции характеризуется:

- несфокусированным полем чередующейся полярности;
- постоянными литыми магнитами с односторонним расположением полюсов;
- поперечным направлением магнитного потока относительно движения материала;
- открытым магнитопроводом;
- опорным гребенчатым или радиальным механизмом магнитной системы;
- криволинейным магнитным перемещением фракции, барабанным механизмом;
- слоевым способом питания;
- прямоточным приёмным устройством без регулирующей перегородки с затопленным рабочим пространством.

На основе анализа существующих конструкций регулируемых систем магнитных барабанных сепараторов, и их недостатков, произведенного в ходе патентного поиска была предложена следующая конструкция, оформленная патентом на полезную модель [2].

Магнитная система (рис. 2) барабанного сепаратора состоит из вала 1, на котором жестко закреплена гребенка 2 и на свободно вращающихся вокруг вала 1 кольцах 3 подвешены магнитные блоки 4. Магнитные блоки 4 жестко закреплены в пазах 5 гребенки 2 специальной шайбой 6 (рис. 2), закрепленной на резьбовом пальце 7, укрепленном в магнитном блоке 4, гайкой 8. На пальце 7 между магнитным блоком 4 и специальной шайбой 6 находится пружина 9. На валу 1 закреплено червячное колесо 10, находящейся в зацеплении с червяком 11, установленным на раме сепаратора.

Техническим результатом полезной модели является обеспечение необходимых параметров магнитного поля (напряженности и ее равномерности) в рабочей зоне сепаратора, облегчение намагничивания, удержания и последующего отрыва феррочастиц, что позволяет повысить качество концентрата и расширить область применения сепаратора за счет настройки машины на выполнение своих функций в различных стадиях магнитного обогащения (первичной сепарации, перечистки) различного железорудного сырья.

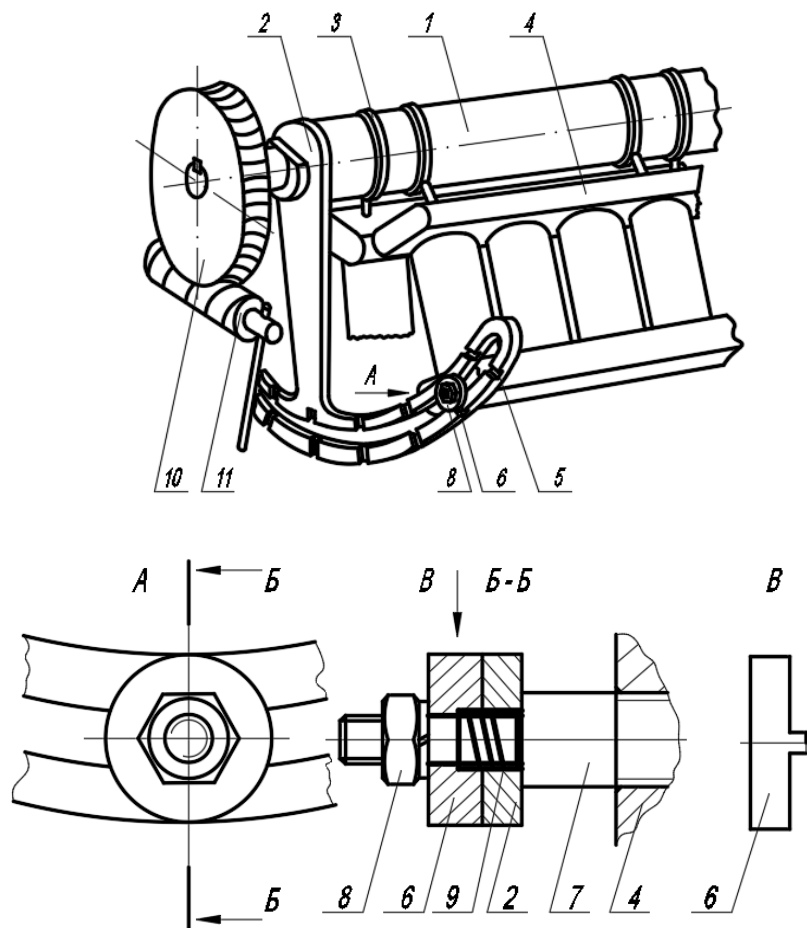


Рис. 2. Магнитная система сепаратора:

1 – вал; 2 – гребенка; 3 – подвесные кольца; 4 – магнитные блоки; 5 – крепежные пазы; 6 – специальная шайба; 7 – палец; 8 – гайка; 9 – пружина; 10 – червячное колесо; 11 – червяк (барабан и рама сепаратора условно не показаны)

Решение по определению изменения параметров магнитного поля задачи только конструкторскими методами не представляется возможным, поскольку заранее невозможно определить параметры поля, которое будет действовать в рабочей зоне машины после регулировки магнитной системы. Решить эту проблему можно, проводя серию экспериментов с конкретной магнитной системой, установленной на конкретном сепараторе, и построив аппроксимационные зависимости параметров поля от конфигурации магнитной системы на основе регрессионного анализа. В результате будет получено уравнение регрессии или графическая интерпретация его решения, но недостатком использования регрессионной зависимости является большое количество конструкций сепараторов, требующих получение индивидуальных математических моделей. Поэтому создание регулируемой системы из постоянных магнитов должно сопровождаться, как

$$\vec{B}_{nij} = \vec{B}_{xij} \cos \varphi_j + \vec{B}_{yij} \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varphi_j \right) = \vec{B}_{xij} \cos \varphi_j - \vec{B}_{yij} \sin \varphi_j \quad (2)$$

где φ_j – угол между прямой, опущенной из точки A_{ij} на ось Oz и осью Ox .

разработкой физико-математические изменения их магнитного поля [3], так и экспериментальными исследованиями на натурной модели (рис. 3, 4).

При теоретическом моделировании получены формулы (1) и (2) на основании которых, можно рассчитать индукцию магнитного поля для любой точки или системы точек, принадлежащих концентричной с барабаном машины цилиндрической поверхности [10].

$$B_{ij} = \frac{\mu_0 \mu M}{4\pi W} \sum_{k=1}^{k=C} L_k \sum_{t=1}^n \sum_{e=1}^p \frac{d\vec{l}_{be} \times \vec{r}_{be}}{|\vec{r}_{be}|^2} \quad (1)$$

А для определения вектора магнитной индукции целесообразно определить лишь нормальную к поверхности барабана составляющую:

Для физического исследования параметров магнитного поля (магнитной индукции) была создана натурная модель магнитной системы (рис. 3, 4), которая состоит из блока магнитов 1 (6 штук), скрепленные двумя пластинами 2 стянутыми между собой четырьмя болтами 3. К третьей пластине 4 двумя гайками 5 прикреплена шпилька 6 М10 длиной 30 см. В верхней части конструкции к шпильке 6 прикреплён барашек с



Рис. 3. Блок магнитов сепаратора:
1 – блок магнитов; 2 – пластины; 3 – болты;
4 – пластина; 5 – гайки; 6 – шпилька;
7 – барашек с ушком

Выводы. В ходе проведенного исследования было выявлено, что предложенная конструкция регулируемых систем магнитных барабанных сепараторов, позволяет обеспечивать необходимые параметры магнитного поля (напряженность и равномерность) в рабочей зоне сепаратора, а это обеспечивает намагничивание, удержание и последующее отрывание феррочастиц, позволяющее повысить качество концентрата и расширить область применения сепаратора за счет настройки машины на выполнение своих функций в различных стадиях магнитного обогащения (первичной сепарации, перечистки) железорудного сырья.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кармазин В.В., Опалев А.С. Разработка мокрых магнитных сепараторов выделения концентрата на обогатительных фабриках современных обогатительных комбинатов // Горный журнал. 2013. № 6. С. 17–27.

2. Патент на полезную модель. RU № 169082 U1 В03С 1/10. Магнитная система барабанного сепаратора / С.Ю.Лозовая, Н.М. Лозовой, М.А. Кущев, А.Н. Окунев / Заявка: №2016133800, 17.08.2016. Дата начала отсчета срока действия патента: 17.08.2016. Дата подачи заявки:

ушком 7. Вся конструкция легка в сборке и разборке, что позволяет при поломке какого-либо элемента его заменить, не меняя полностью всю сборку.

С помощью тесламетра, будет измеряться, изменение магнитной индукции в зависимости от того под каким углом будут находиться болюки магнитов 1 относительно друг друга [11, 12].



Рис. 4. Блок магнитов сепаратора

17.08.2016. Опубликовано: 02.03.2017 Бюл. № 7.

3. Лозовая С.Ю. Лозовой Н.М., Окунев А.Н. Математическое моделирование магнитных полей систем постоянных магнитов барабанных сепараторов // Austria-science. 2017. №6. С. 37–42.

4. Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M., Okunев A.N. Theoretical validation for changing magnetic fields of systems of permanent magnets of drum separators. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 327-334 (2018) 042065 doi:10.1088/1757-899X/327/4/042065, MEACS 2017.

5. Пат. 2528661, Российская Федерация, МПК В03С 1/10. Магнитный сепаратор с изменяемым магнитным полем / С.Е. Размолдин, В.Б. Дёмин; заявитель и патентообладатель С.Е. Размолдин, В.Б. Дёмин. № 2013114644; заявл. 19.03.2013; опубл.20.09.2014, Бюл. № 26. 4 с.

6. АС №2016614807 Российская Федерация. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Моделирование магнитного поля участка рабочей зоны сепаратора с магнитной системой из постоянных магнитов / С.Ю. Лозовая, Н.М. Лозовой, М.А. Кущев, А.Н. Окунев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО БГТУ им. В. Г. Шухова (RU), заявл. 16.03.16; опубл. 05.05.16, Реестр программ для ЭВМ. 1 с.

7. Пат. 2213623, Российская Федерация, МПК В03С 1/10. Магнитная система барабанного сепаратора /А.В. Андреев; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Совместное российско-американское предприятие «Технология XXI века». № 2013130520; заявл. 12.11.2013; опубл.10.10.2014, Бюл. № 28. 4 с.

8. Пат. 2330725, Российская Федерация, МПК В03С 1/00. Магнитная система барабанного сепаратора /А.А. Лозин, В.Н. Гудь, В.М. Арсенюк, В.В. Нитяговский; заявитель и патентообладатель Совместное российско-американское предприятие «Уралтранс». № 2013116691; заявл. 23.06.2013; опубл.20.07.2014, Бюл. № 20. 5 с.

9. Пат. 2332262, Российская Федерация, МПК В03С 1/10. Магнитная система барабанного сепаратора /И.И. Федяшин, Н.Г. Скотаренко; заявитель и патентообладатель ОАО Научно-производственное объединение

«МАГНЕТОН». № 2013128553; заявл. 04.08.2013; опубл.27.08.2014, Бюл. № 24. 5 с.

10. Балдина К.В. Краткий курс по высшей математике. М.: Наука, 2015. 512 с.

11. Афонский А.А., Дьяконов В.П. Измерительные приборы и массовые электронные измерения. М.: Изд-во Солон-пресс, 2015. 541 с.

12. Друзьякин И.Г., Лыков А.Н. Технические измерения и приборы. М.: Изд-во: Пермский Государственный университет, 2013. 412 с.

13. Ломовцев Л.А., Нестерова Н.А. Магнитное обогащение сильномагнитных руд. М.: Недра, 2014. 235 с.

14. Зеленова И.М. Выделение тонкоизмельченных слабомагнитных минералов в магнитном поле низкой напряженности // Горный журнал. 2015. № 2. С. 46–48.

15. Килин В.И. Влияние магнитной обработки на магнитные свойства руд // Обогащение руд. 2014. № 6. С. 23–26.

Информация об авторах

Лозовая Светлана Юрьевна, доктор технических наук, профессор кафедры механического оборудования. E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Лозовой Николай Михайлович, кандидат технических наук, доцент, кафедра городского кадастра и инженерных изысканий. E-mail: lozwa88@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Землянский Максим Александрович, студент кафедры механического оборудования. E-mail: garxtaz@yandex.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила в октябре 2018 г.

© Лозовая С.Ю., Лозовой Н.М., Землянский М.А., 2019

^{1,*}Lozovaya S. Yu., ¹Lozovoy N. M., ¹Zemlyansky M. A.
¹Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.
 Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.
 *E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru

CONSTRUCTION IMPROVEMENT OF PERMANENT MAGNETS SYSTEM OF DRUM SEPARATORS

Abstract. The development of ferrous and non-ferrous metallurgy requires complex improvement of production processes: mining, crushing, grinding, ore dressing, further mineral processing. The enrichment occupies an important place among these processes. The enrichment quality affects the further use of iron ore. The main enrichment machine is a magnetic separator. Enrichment facilities practically do not have magnetic separators with an adjustable system of permanent magnets; therefore, the task to develop such a system is acute. The article discusses magnetic drum separators for the enrichment of highly magnetic ores by wet magnetic separation. In the course of the analysis, a new design of adjustable systems of magnetic drum separators is proposed. It allows to provide the necessary parameters of the magnetic field (tension and uniformity) in the separator's working area. This will ensure the magnetization, retention and subsequent separation of ferroparticles, and consequently improve the quality of concentrate, increase the use of the separator by adjusting the machine to perform its functions in various stages of the magnetic iron ore enrichment. In the article, the

theoretical modeling is performed and formulas are obtained, that make possible to calculate magnetic field induction for any point or system of concentric with the drum machine of cylindrical surface.

Keywords: *enrichment, adjustable magnetic system, magnetic field, intensity, iron ore raw materials.*

REFERENCES

1. Karmazin V.V., Opalev A.S. Development of wet magnetic separators for concentrate extraction at concentrating factories of modern concentrating plants. *Horn. Journals*, 2013, no. 6, pp. 17–27.
2. Lozovaya S.Yu., Lozovoi N.M., Kushev M.A., Okunev A.N. Magnetic system of a drum separator. Patent for utility model RF, no. 169082 U1 B03C 1/10, 2017.
3. Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Okunev A.N. Mathematical modeling of magnetic fields of permanent magnet systems of drum separators. *Austria-science*, 2017, no. 6, pp. 37–42.
4. Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M., Okunev A.N. Theoretical validation of the field of magnetic separators. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 327-334 (2018) 042065 doi: 10.1088 / 1757-899X / 327/4/042065, MEACS 2017.
5. Razmoldin S.E., Demin V.B. Magnetic separator with variable magnetic field. Pat. Russian Federation, № 2528661, 2014.
6. AS №2016614807 Russian Federation. Certificate of official registration of the computer program. Modeling of the magnetic field of a section of the working zone of a separator with a magnetic system of permanent magnets / S. Yu. Lozovaya, N. M. Lozovoy, M. A. Kushchev, A. N. Okunev; applicant and copyright holder FSBEI of HE BSTU. V.G. Shukhov (RU), claimed 03/16/16; publ. 05.05.16, Registry of computer programs, 1 p.
7. Andreev A. Magnetic system drum separator Pat. Russian Federation, №2213623, 2014.
8. Lozin A.A., Good V.N., Arsenyuk V.M., Nit-yagovsky V.V. Magnetic system drum separator. Pat. Russian Federation, no. 2330725, 2014.
9. Fedyashin I., Skotarenko N.G. Pat. Russian Federation, № 2332262, 2014.
10. Baldina K.V. Short course in higher mathematics. M.: Nauka, 2015, 512 p.
11. Athos A.A., Dyakonov V.P. Measuring instruments and mass electronic measurements. M.: Publishing house Solon-press, 2015, 541 p.
12. Friendsy I.G., Lykov A.N. Technical measurements and devices. M.: Publishing house: Perm State University. 2013, 412 p.
13. Lomovtsev L.A., Nesterova N.A. Magnetic enrichment of highly magnetic ores. M.: Nedra. 2014, 235 p.
14. Zelenova I.M. Isolation of Finely Grinded Low-Magnetic Minerals in a Low-Tension Magnetic Field. *Horn. Journals*, 2015, no. 2, pp. 46–48.
15. Kilin V.I. The Effect of Magnetic Processing on the Magnetic Properties of Ores, Enrichment of Ores, 2014, no. 6, pp. 23–26.

Information about the authors

Lozovaya, Svetlana Yu. DSc, Professor. E-mail: lozovaa.sy@bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Lozovoy, Nikolai M. PhD, Associate professor. E-mail: lozwa88@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Zemlyansky, Maksim A. Bachelor student. E-mail: rapxtaz@yandex.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received in October 2018

Для цитирования:

Лозовая С.Ю., Лозовой Н.М., Землянский М.А. Совершенствование конструкции системы постоянных магнитов барабанных сепараторов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. №1. С. 124–129. DOI: 10.12737/article_5c50624e96f4d1.15725697

For citation:

Lozovaya S.Yu., Lozovoy N.M., Zemlyansky M.A. Construction improvement of permanent magnets system of drum separators. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*, 2019, no. 1, pp. 124–129. DOI: 10.12737/article_5c50624e96f4d1.15725697