

РЕИНЖИНИРИНГ ПРИВОДА ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ НОВОТРОИЦКОГО ЗАВОДА ХРОМОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Андрей Викторович Нефедов¹, канд. пед. наук, *cosnovotr@rambler.ru*; **Роман Эдуардович Ишмухаметов**¹, *peretz_97@mail.ru*; **Николай Алексеевич Чиченев**², д-р техн. наук, проф., *chich38@mail.ru*; **Ильнур Ильшатovich Басыров**², *basirovlnur@mail.ru*; **Юлия Олеговна Любченко**², *gorbatyuk54@bk.ru*; **Евгения Евгеньевна Балахнина**², канд. техн. наук, *autobusred@yandex.ru*

¹ Новотроицкий филиал НИТУ МИСИС, г. Новотроицк, Россия

² Университет науки и технологий МИСИС, Москва, Россия

Аннотация. Новотроицкий завод хромовых соединений специализируется на переработке хромитовых и доломитовых руд, которые поступают в первый цех размольного отделения, где подвергаются дроблению и измельчению в шаровой мельнице. Опыт эксплуатации показал, что потеря работоспособности шаровой мельницы, установленной в этом цехе, приводит к незапланированным простоям из-за отказа элементов привода, которые составляют 11,3% от номинального времени работы цеха. Для повышения надежности технологического оборудования предложена замена действующего электропривода, включающего электродвигатель устаревшей серии 4А и специальный редуктор, современным мотор-редуктором типа R167DV280V4/BVG122, передающим вращение барабану мельницы через зубчатую муфту. В результате разработки нового привода удалось упростить его конструкцию и уменьшить трудоёмкость технического обслуживания и ремонта. Данное техническое решение позволяет увеличить межремонтный период эксплуатации и тем самым снизить эксплуатационные расходы. Расчеты показывают, что реализация проектных решений приводит к снижению себестоимости 1 т переработанной руды на 0,02%, повысить рентабельность производства на 1,37% и прибыль от реализации на 1,29%. Дополнительные капитальные затраты не превышают 3,4 млн руб. и окупаются менее чем за 3 мес.

Ключевые слова: обогащательное производство, процессы дробления и измельчения, трубчатая шаровая мельница, электромеханический привод, мотор-редуктор

REENGINEERING OF THE BALL MILL DRIVE OF THE NOVOTROITSK CHROMIUM COMPOUNDS PLANT

Andrey V. Nefedov¹, **Roman E. Ishmukhametov**¹, **Nikolay A. Chichenev**², **Ilnur I. Basyrov**², **Yulia O. Lyubchenko**², **Evgenia E. Balakhnina**²

¹Novotroitsk branch of NUST MISIS, Novotroitsk, Russia

²NUST MISIS, Moscow, Russia

Abstract. Novotroitsk Chromium Compounds Plant specializes in the processing of chromite and dolomite ores, which are delivered to the first workshop of the grinding department, where they are crushed and crushed. Operating experience has shown that the loss of operability of the ball mill installed in this workshop leads to unplanned downtime due to the failure of drive elements, which account for 11.3% of the rated operating time of the workshop. To improve the reliability of technological equipment, it was proposed to replace the existing electric drive, including an electric motor of the outdated 4A series and a special gearbox, with a modern geared motor of the R167DV280V4/BVG122 type, which transmits rotation to the mill drum through a gear coupling. As a result of the development of the new drive, it was possible to simplify its design and reduce the labor intensity of maintenance and repair. This technical solution allows you to increase the overhaul period of operation and thereby reduce operating costs. Calculations show that the implementation of design solutions leads to a reduction in the cost of one ton of processed ore by 0.02%, an increase in the profitability of production by 1.37% and a profit from sales by 1.29%. Additional capital expenditures do not exceed RUB 3.4 million and pay off in less than 3 months.

Keywords: foundry, beneficiation production, crushing and grinding processes, tube ball mill, electromechanical drive, geared motor

Введение. В настоящее время на металлургических предприятиях большое внимание уделяется реинжинирингу существующего оборудования, внедрению новых передовых технологий, полной автоматизации управления металлургическими процессами с использованием высокопроизводительных компьютерных систем, совершенствованию организации труда и повышению квалификации работающего персонала [1–6]. При этом значительное внимание уделяется выявлению узких мест в работе основного

технологического оборудования и накоплению данных для разработки организационных и технических мероприятий по снижению внеплановых простоев оборудования [7–11]. Одной из важных проблем металлургической промышленности является повышение надежности оборудования, которая решается путем модернизации или замены устаревших технологических машин и агрегатов [12–16].

Проведенные исследования. В статье рассматриваются вопросы реинжиниринга шаровой мельницы Новотро-

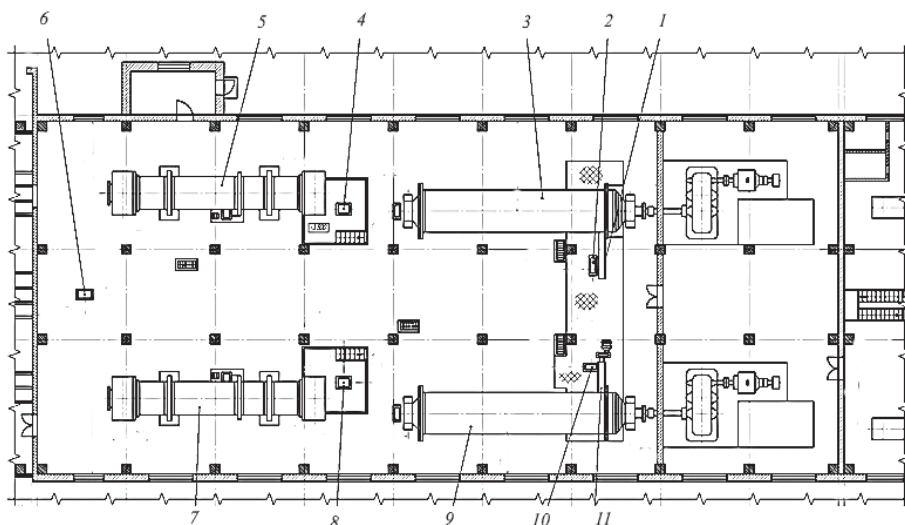


Рис. 1. Схема расположения оборудования: 1, 11 – шнеки; 2, 4, 6, 8, 10 – элеваторы; 3 – трубная шаровая мельница для помола хромита; 5, 7 – сушильные барабаны; 9 – трубная шаровая мельница для помола доломита

ицкого завода хромовых соединений с целью увеличения производительности действующего оборудования.

Новотроицкий завод хромовых соединений (НЗХС) – предприятие, специализирующееся на переработке хромовой руды [17]. Хромитовая и доломитовые руды поступают в первый цех размольного отделения НЗХС в открытых вагонах, которые разгружают грейфером на склад сырья, и затем сырье транспортируют в приемный бункер, который через лотковый питатель подает его в щековую дробилку. После дробления крупных кусков по конвейеру руда поступает в сушильный барабан и затем с помощью элеватора попадает в промежуточный бункер, из которого она подается лотковым питателем в мельницу сухого помола, где происходит измельчение хромитовой и доломитовой руды (рис. 1). Из шаровой мельницы материал подается на следующий элеватор и, наконец, в бункер на участке подготовки шихты.

В настоящее время в размольном отделении эксплуатируется шаровая мельница СММ2061, имеющая следующие технические характеристики:

- производительность – 25 т/ч;
- диаметр барабана (внутренний) – 2600 мм;
- рабочая длина барабана – 13000 мм;
- частота вращения барабана – 20 мин⁻¹.

В приводе использован электродвигатель типа 4А200Л8УЗ, который в настоящее время снят с производства, мощностью 22 кВт и частотой вращения 750 мин⁻¹ и специальный редуктор с передаточным числом 37,5.

Физическое и моральное старение приводит к незапланированным простоям из-за отказа элементов привода, которые составляют 11,3% от номинального времени работы цеха.

Общий вид трубной шаровой мельницы для помола хромита до реинжиниринга показан на рис. 2. Хромитовая руда непрерывно подается в коническую горловину загрузочной цапфы, при этом для создания направленного движения руды горловина имеет футеровку с внутренними спиралями. После загрузки руда перемещается в рабочую камеру барабана мельницы, где многократно подвергается воздействию мелющих тел (стальных шаров), в результате чего происходит измельчение. Продукт измельчения через полую цапфу поступает в воронку разгрузочного желоба. Кинематическая схема привода трубчатой шаровой мельницы приведена на рис. 3.

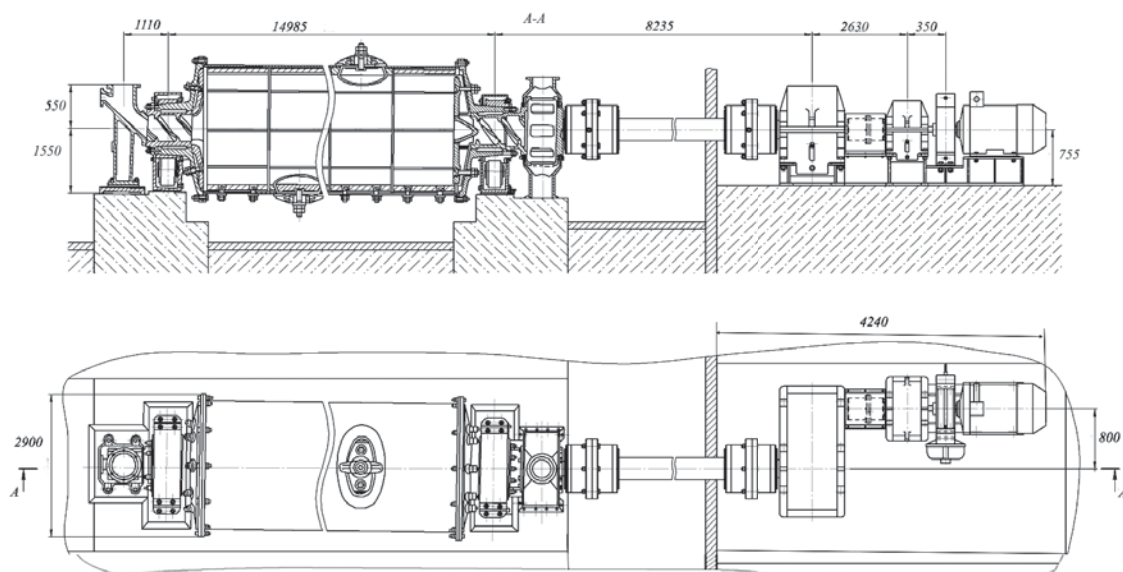


Рис. 2. Шаровая мельница до реинжиниринга

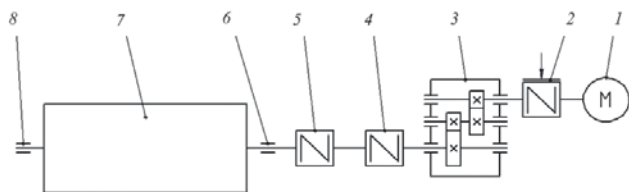


Рис. 3. Кинематическая схема шаровой мельницы СММ2061 до реинжиниринга: 1 – электродвигатель; 2 – муфта с тормозом; 3 – редуктор; 4, 5 – муфты зубчатые; 6, 8 – подшипниковые узлы; 7 – мельница

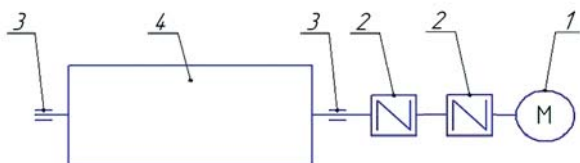


Рис. 4. Кинематическая схема привода шаровой мельницы после реинжиниринга: 1 – мотор-редуктор; 2 – муфты зубчатые; 3 – подшипниковые узлы; 4 – мельница

Полученные результаты. В связи с возросшими потребностями в продукции НЗХС возникла необходимость увеличения производительности технологического оборудования, в том числе повышения мощности электропривода и частоты вращения барабана шаровой мельницы. Как показывает опыт эксплуатации шаровых мельниц, увеличение производительности (без изменения конструкции барабана) возможно в пределах 10–15%. Такое техническое решение позволит химико-металлургической компании АО «НЗХС» увеличить производство монокромата натрия в результате увеличения количества твердой хромитовой и доломитовой руды, измельчаемой в дробильном отделении первого цеха, и тем самым снизить производственные затраты компании.

Этой целью предложена замена действующего электропривода, включающего электродвигатель устаревшей серии 4А и специальный редуктор, современным мотор-редуктором типа R167DV280V4/BVG122, передающим вращение барабану мельницы через зубчатую муфту. Кинематическая схема предлагаемого привода трубчатой шаровой мельницы показана на рис. 4, а технические характеристики мотор-редуктора приведены в таблице [18, 19].

Привод смонтирован на раме, представляющей собой сварную листовую металлоконструкцию. Общий вид трубчатой шаровой мельницы СММ2061 после реинжиниринга показан на рис. 5. Для соединения трансмиссионного вала между выходным валом мотор-редуктора и приводным валом мельницы используется зубчатая муфта общемашиностроительного применения.

Согласно ГОСТ Р 50895–96, зубчатую муфту выбирают по наибольшему диаметру концов соединяемых валов и затем проверяют прочность муфты [20]. По диаметру выходного вала мотор-редуктора $d_{\text{вых}} = 120$ мм (см. таблицу) выбираем зубчатую муфту типа 1 с номинальным крутящим моментом

Технические характеристики мотор-редуктора R167DV200 L4

Характеристика	Значение
Мощность, кВт	30
Частота вращения на тихоходном валу, мин ⁻¹	22
Крутящий момент, Н·м	13100
Передаточное число редуктора	67,40
Диаметр выходного вала, мм	120

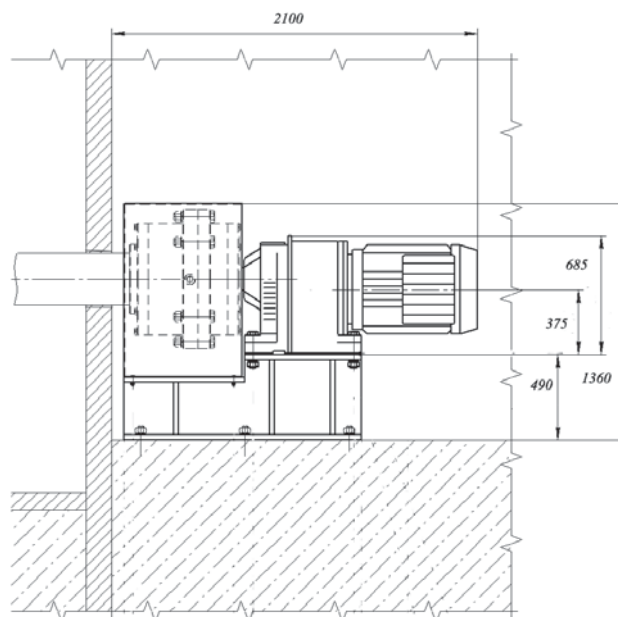


Рис. 5. Общий вид приводной части шаровой мельницы после реинжиниринга

$T_{\text{кр}} = 16000$ кН·м, диаметром посадочных отверстий 120 мм, с втулками исполнения 1, климатического исполнения У, категории 2 «Муфта 1-16000-120-1У2 ГОСТ Р 50895–96». Наибольший на соединяемых валах крутящий момент, создаваемый мотор-редуктором (см. таблицу), равен $T_{\text{раб}} = 13100$ Н·м, и поэтому прочность муфты обеспечена.

Для оценки экономической эффективности от внедрения модернизированного привода трубчатой шаровой мельницы составлена смета капитальных затрат, в результате чего установлено, что сумма капитальных вложений с учетом дополнительных затрат на закупку и монтаж нового оборудования составляет около 3,4 млн руб.

Экономический эффект, ожидаемый от внедрения нового привода, связан с сокращением времени, необходимого на проведение капитальных и текущих ремонтов, что привело к увеличению производительности шаровой мельницы на 3 т/ч. Предлагаемое мероприятие по модернизации привода позволит снизить себестоимость 1 т переработанной руды на 0,02%, повысить рентабельность производства на 1,37% и прибыль от реализации на 1,29%, что при существующем объеме производства позволило получить значительный экономический эффект. Затраты на внедрение предлагаемого устройства окупаются менее чем через 3 мес с начала эксплу-

атации внедренного устройства. Такие показатели доказывают экономическую эффективность разработанного проекта.

Заключение

В результате модернизации привода трубчатой шаровой мельницы удалось упростить его конструкцию и уменьшить трудоемкость технического обслуживания и ремонта. Замена старого привода, включающего электродвигатель и редуктор, новым приводом, который состоит из мотор-редуктора и зубчатой муфты, позволяет увеличить межремонтный период эксплуатации и тем самым снизить эксплуатационные расходы. Расчеты показывают, что реализация проектных решений приводит к снижению себестоимости 1 т переработанной руды на 0,02%, повысить рентабельность производства на 1,37% и прибыль от реализации на 1,29%. Дополнительные капитальные затраты не превышают 3,4 млн руб. и окупаются менее чем за 3 мес.

Список источников

1. **Ефремов Д.Б., Степанов В.М., Чиченева О.Н.** Модернизация механизма быстрого отжима валков прокатной клетки ДУО стана 2800 АО «Уральская Сталь» // *Сталь*. 2020. № 8. С. 44–47.
2. **Нефедов А.В., Свичкар В.В., Чиченева О.Н.** Реинжиниринг скипового подъемника для загрузки печи литейного отделения ЗАО «РИФАР» // *Сталь*. 2020. № 7. С. 50–53.
3. **Нефедов А.В., Китанов А.А., Чиченев Н.А.** Реинжиниринг роликовой закалочной машины листопркатного цеха АО «Уральская Сталь» // *Черные металлы*. 2022. № 3. С. 22–26.
4. **Нефедов А.В., Танчук А.В., Чиченев Н.А.** Модернизация привода опрокидывателя рудных вагонеток Донского ГОК АО «ТНК Казхром» // *Горный журнал*. 2022. № 8. С. 52–56.
5. **Bardovskiy A.D., Gorbatiyuk S.M., Keropyan A.M., Bibikov P.Ya.** Assessing Parameters of the Accelerator Disk of a Centrifugal Mill Taking into Account Features of Particle Motion on the Disk Surface // *J. of Friction and Wear*. 2018. Vol. 39, Is. 4. P. 326–329.
6. **Bazhin V.Yu., Glazev M.V.** Refractory materials of metallurgical furnaces with the addition of silicon production waste // *Non-ferrous Metals*. 2022. No. 1. P. 32–39.
7. **Yurshev V.I., Boyko S.V., Kirilenko A.S., Yurshev I.V.** Optimization of VK10-H0M cemented carbide mixture pressing modes // *Non-ferrous Metals*. 2023. No. 2. P. 57–65.
8. **Горбатюк С.М., Зарапин А.Ю., Чиченев Н.А.** Модернизация вибрационного грохота горнорудного общества «Катока» (Ангола) // *Горный информац.-аналитич. бюл.* 2018. № 1. С. 143–149.
9. **Бардовский А.Д., Герасимова А.А.** Анализ приводного механизма пилы с попеременным в обе стороны движением гибкого режущего органа // *Горный информац.-аналитич. бюл.* 2019. № 7. С. 132–139. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-07-0-132-139>
10. **Zinyagin A.G.** Use of machine learning methods for determination of the boundary conditions coefficients in a FEM task for the case of accelerated cooling of hot-rolled sheet metal // *CIS Iron and Steel Review*. 2023. Vol. 25. P. 58–66.
11. **Нефедов А.В., Новикова Ю.В., Чиченева О.Н.** Манипулятор для подачи короба с жидким раствором для ремонта чугуновозных ковшей в доменном цехе АО «Уральская Сталь» // *Черные металлы*. 2021. № 9. С. 4–9. DOI: 10.17580/chm.2021.08.01
12. **Nefedov A.V., Svichkar V.V., Chicheneva O.N.** Re-engineering of Equipment to Feed the Melting Furnace with Aluminum Charge // *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. P. 1198–1204. DOI: 10.1007/978-3-030-54817-9_139
13. **Bardovsky A.D., Gerasimova A.A., Basyrov I.I.** Study of Oscillating Process of Harp Screens. In: Radionov A., Kravchenko O., Guzeev V., Rozhdestvenskiy Y. (eds) // *Proc. of the 4th Intern. Conf. on Industrial Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2019. P. 133–139.
14. **Бардовский А.Д., Горбатюк С.М., Керопян А.М., Бибииков П.Я.** Оценка параметров разгонных дисков центробежной мельницы с учетом характера движения частиц материала по их рабочим поверхностям // *Трение и износ*. 2018. Т. 39, № 4. С. 409–414.
15. **Махкамбаев С.Б., Чиченев Н.А.** Разработка гидравлического привода зажима рамного фильтр-пресса кадмиевого цеха АО АГМК // *Горный журнал*. 2021. № 8. С. 48–51.
16. **Albagachiev A.Y., Keropyan A.M., Gerasimova A.A., Kobelev O.A.** Determination of rational friction temperature in lengthwise rolling // *CIS Iron and Steel Review*. 2020. Vol. 19. P. 33–36. DOI: 10.17580/cisisr.2020.01.07
17. Акционерное общество «Новотроицкий завод хромовых соединений» <http://nzhs.ru/?ysclid=lvp97ws5up662137367> (дата обращения 07.05.2024).
18. **SEW-EURODRIVE.** Техническое описание соосных цилиндрических мотор-редукторов серии R.DR/DT/DV. <https://sew-eurodrive.nt-rt.ru/images/manuals/soosmr.pdf?ysclid=lx04rf8koo881283223> (дата обращения 07.05.2024)
19. Цилиндрические плоские мотор-редукторы серии F. <https://spb-reduktor.artesk.ru/F.html> (дата обращения 07.05.2024).
20. **ГОСТ Р 50895–96.** Муфты зубчатые. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2010. 19 с.

Статья поступила 04.12.2024; одобрена после рецензирования 12.01.2025; принята к публикации 15.02.2025