ISSN 1816-4528 (Print) http://gormash.kuzstu.ru

Научная статья

УДК 622.7
DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-48-55

Терехин Евгений Петрович[1*], Богданенко Игорь Алексеевич[2], Пашков Дмитрий Алексеевич[3]

[1] НИТУ «МИСиС», Губкинский филиал,
[2] АО «Лебединский ГОК»
[3] Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

[*]E-mail: teryekhin50@mail.ru

ОБОСНОВАНИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ СГУСТИТЕЛЯ П-50 НА ХВОСТОХРАНИЛИЩЕ АО «ЛЕБЕДИНСКИЙ ГОК»

Информация о статье
Поступила:
07 июля 2022 г.

Одобрена после рецензирования:
01 октября 2022 г.

Принята к печати:
14 октября 2022 г.

Ключевые слова:
хвосты обогащения, радиальный сгуститель, реконструкция, планетарный редуктор.

Аннотация.
Наиболее приоритетным в плане модернизации, усовершенствования и реконструкции объектов является цех хвостового хозяйства обогатительной фабрики (ОФ) АО «Лебединский ГОК», поскольку большинство применяемого в цехе оборудования устарело и не может в полной мере обеспечивать необходимую производительность. Из радиальных сгустителей П-50 с периферийным и Ц-50 центральным приводом внеплановые простои сгустителей П-50 по причине неисправности оборудования в среднем составляют 50 часов в месяц или до 7% времени их месячной наработки. Цель работы – обоснование необходимости реконструкции радиального сгустителя с периферийным приводом П-50 с применением конструкций и усовершенствованного привода сгустителя с центральным приводом Ц-50.
Основными методами прикладных исследований были приняты: анализ технических решений, подбор конструктивных характеристик, технико-экономическое сравнение вариантов. Предлагается выявленные недостатки сгустителя П-50 устранить посредством монтажа в его чашу усовершенствованного приводного оборудования и металлоконструкций сгустителя Ц-50. Повысить надежность и КПД привода сгустителя Ц-50 возможно заменой разнотипных механических передач планетарным редуктором с большим передаточным отношением. Расчет экономической эффективности показывает целесообразность внедрения проекта, поскольку срок окупаемости составляет 1,1 года. Результаты прикладных исследований могут быть полезны при реконструкции цехов хвостового хозяйства обогатительных фабрик горных предприятий, большинство из которых до сих пор использует аналогичные сгустители старой конструкции.

Для цитирования: Терехин Е.П., Богданенко И.А., Пашков Д.А. Обоснование реконструкции сгустителя П-50 на хвостохранилище АО «Лебединский Гок» // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 6 (164). С. 48-55. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-48-55

Наиболее приоритетным в плане модернизации, усовершенствования и реконструкции объектов является цех хвостового хозяйства обогатительной фабрики (ОФ) АО «Лебединский ГОК», поскольку большинство применяемого в цехе оборудования устарело и не может в полной мере обеспечивать необходимую производительность.

Радиальные сгустители П-50 с периферийным и Ц-50 центральным приводом задействованы в технологическом процессе сгущения хвостовых отходов обогатительной фабрики и осветления технологической воды (рис. 1).

Данный технологический процесс происходит круглосуточно с перерывами на осмотр и текущий ремонт оборудования.

На основании данных, полученных в процессе эксплуатации машин, внеплановые простои сгустителей П-50 по причине неисправности оборудования в среднем составляют 50 часов в месяц или до 7% времени их месячной наработки.

Рис. 1. Радиальные сгустители П-50 и Ц-50 в цехе хвостового хозяйства ОФ АО «Лебединский ГОК»
Fig. 1. Radial thickeners P-50 and C-50 in the tailings workshop of JSC Lebedinsky GOK

Поэтому повышение надежности работы сгустителей П-50 относится к одной из наиболее актуальных проблем эксплуатации оборудования.

Объектом прикладных исследований является надежность оборудования для сгущения хвостов обогащения и осветления технологической воды, а предметом исследования – привод сгустителей П-50 и Ц-50.

Цель работы – обоснование необходимости реконструкции радиального сгустителя с периферийным приводом П-50 с применением конструкций и усовершенствованного привода сгустителя с центральным приводом Ц-50.

Поставленные задачи:

– обзор и анализ существующих радиальных сгустителей с выявлением недостатков этих машин в цехе хвостового хозяйства ЛГОКа;

– кинематический расчет привода сгустителя для его усовершенствования;

– разработка усовершенствованного привода сгустителя Ц-50 для установки его в чашу сгустителя П-50;

– определение экономических показателей реконструкции сгустителя П-50.

На большинстве горных предприятий сегодня эксплуатируются сгустители различных типоразмеров с центральным либо периферийным приводом конструкции середины прошлого столетия [1].

Реконструкция участков с такой устаревшей техникой идет комплексно по двум направлениям: во-первых, интенсификации процессов сгущения за счет применения реагентов, во-вторых, повышения надежности и ресурса оборудования за счет его модернизации и автоматизации технологических процессов[2-4].

Третье направление реконструкции связано с применением высокопроизводительных (скоростных) сгустителей, в которых время осаждения значительно сокращается. Это достигается за счет конструктивных параметров – большего отношения высоты к диаметру аппарата (0,5–0,7) и увеличенного угла наклона днища (до 30°), а также способа подачи питания в аппарат. Одинаковая производительность высокопроизводительного и обычного сгустителей возможна при снижении диаметра нового в 2–3 раза [5].

Четвертое современное направление, возникшее за рубежом полвека назад, относится к повышению количества твердого в хвостах до пастообразного состояния, [5-8]. Этому способствовало: повышение экологических требований; высокая стоимость земли под расширение хвостохранилищ; желание сократить затраты на реконструкцию и эксплуатацию участков сгущения.

К тому же складирование пастообразных хвостов обладает следующими достоинствами:

- исключение возможности прорыва дамб;
- сокращение текущих энергозатрат и капитальных затрат на объекте;
- увеличение полезного объема хвостохранилища;
-повышение эффективности оборотного водоснабжения фабрики;
- возможность использования пасты для обратной закладки горных выработок.

Пока в странах СНГ построено несколько объектов пастового сгущения, самый большой из которых находится на золотоизвлекательной фабрике месторождения «Благодатное» (ЗАО «Полюс») в Красноярском крае[9].

Отсутствие отечественного оборудования большой производительности и опыта эксплуатации таких объектов обуславливает реконструкцию участков по первым двум вышеописанным направлениям [10]. К тому же в условиях действующих предприятий увеличение пропускной способности участков сгущения без изменения устоявшейся технологии экономически целесообразнее проводить за счет реконструкции существующего парка оборудования.

Опыт эксплуатации агрегатов, установленных на участке шламовых и породных систем цеха хвостового хозяйства обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК», позволяет выделить ряд недостатков сгустителей с периферийным приводом:

– значительный сцепной вес приводной тележки П-50 с дополнительным контргрузом для надежного сцепления опорного катка с круговым рельсом и, как следствие, превышение мощности привода почти в 3 раза по сравнению с Ц-50(рис. 2а);

– расположение верхней части скребковой фермы приводной тележки выше уровня воды, что в условиях низких температур может привести к остановке привода и (или) к поломке элементов фермы (рис. 2б);

– разрушение железобетонного основания кругового рельса под воздействием окружающей среды и больших нагрузок, в результате чего ослабевают крепления рельса и происходит аварийный сход катка (рис. 2в);

– наличие токосъемного механизма на центральной головке сгустителя, который в процессе эксплуатации подвергается воздействию повышен-

а

б

в

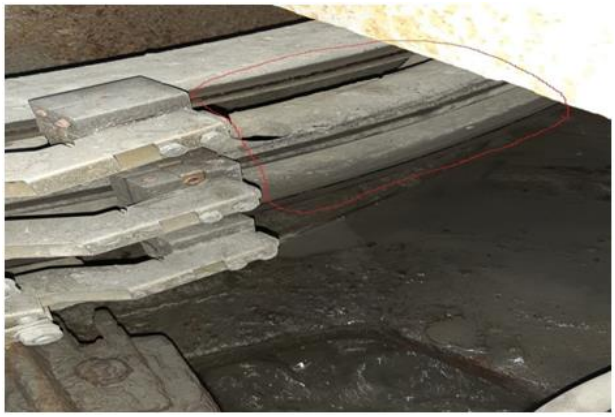


Рис. 2. К анализу работы сгустителей с периферийным приводом П-50

Fig. 2. To analyze the operation of thickeners with a peripheral drive P-50

ной влажности, что приводит к образованию ржавчины и загрязнения на металлических элементах от попадающей внутрь пульпы (рис. 2г).

Замену устаревших сгустителей П-50 на более эффективные Ц-50 можно осуществить на прежней площадке при полном демонтаже старого оборудования либо смонтировать Ц-50 на новом месте. Такое техническое перевооружение весьма затратно из-за большого объема строительно-монтажных работ, большой стоимости аппаратов и привлечения дополнительных площадей. Причем работы должны выполнятся в сжатые сроки в условиях действующего технологического участка.

Предлагается выявленные недостатки сгустителя П-50 устранить посредством монтажа в его чашу усовершенствованного приводного оборудования и металлоконструкций сгустителя Ц-50.

Анализируя кинематические схемы (рис.3) можно отметить, что привод сгустителя П-50 конструктивно проще, тем не менее привод сгустителя Ц-50, хоть и состоит из большого количества ступеней, имеет ряд преимуществ:

– суммарная мощность электродвигателей привода Ц-50 почти в 3 раза меньше мощности электродвигателя привода П-50;

– червячные редукторы, взаимодействующие с зубчатым колесом, расположены диаметрально, что положительно сказывается на распределении нагрузки [11].

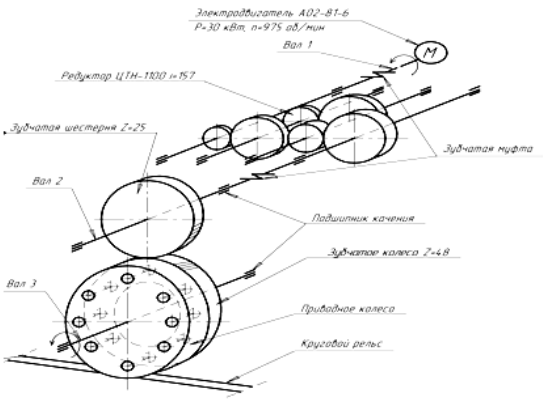
Повысить надежность и КПД привода сгустителя Ц-50 возможно заменой разнотипных механических передач планетарным редуктором с большим передаточным отношением. Планетарный привод используется на сгустителях малого диаметра, в то время, когда большие аппараты оборудуются парой цилиндрических и парой червячных редукторов [12].

Для определения параметров привода сгустителя Ц-50 был произведен кинематический расчет (табл. 1), который показал возможность замены клиноременной передачи и двух редукторов (цилиндрического и червячного) компактным планетарным соосным четырехступенчатым мотор-редуктором (рис. 4) серии SPN11L4 с передаточным отношением $U_{\text{пл.ред.}} = 1058$.

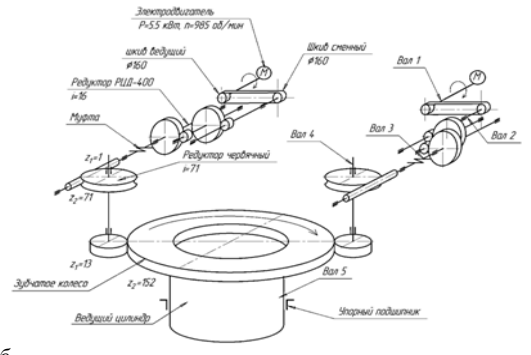
Новый привод состоит из двух одинаковых агрегатов. Каждый из них приводится во вращение отдельным двигателем мощностью 5500 Вт и частотой вращения вала 945 об/мин. Двигатель агрегатирован с планетарной соосной четырехступенчатой передачей в мотор-редуктор, обеспечивающий максимальный крутящий момент на выходе 45210 Н·м и установленный на лапах вертикально (рис. 5). На нижнем конце вертикального вала редуктора сидит шестерня открытой зубчатой передачи, вращающая зубчатый венец ведущего цилиндра.

Крутящий момент от электродвигателя передается на планетарный редуктор, в котором происходит его увеличение с понижением частоты вращения. Выходная шестерня редуктора передает вращение зубчатому колесу, присоединенному анкерными болтами к ведущему цилиндру со скребковой фермой, еще понижая обороты.

К преимуществам данного привода, кроме увеличения КПД, можно отнести уменьшение количества видов передач и компактность планетарного редуктора, что позволит повысить надежность [13,14] и упростит обслуживание оборудования.



а



б

Рис. 3. Кинематические схемы радиальных сгустителей П-50 (а) и Ц-50 (б)
Fig. 3. Kinematic schemes of radial thickeners P-50 (a) and C-50 (b)

Таблица 1. Кинематические параметры привода сгустителя Ц-50
Table 1. Kinematic parameters of the C-50 thickener drive

Вал передачи	n, об/мин	ω, рад/с	P, Вт	T, Н·м
Вал 1	985	103	5500	53,4
Вал 2	985	103	5225	50,7
Вал 3	61,5	6,44	4964	770,8
Вал 4	0,86	0,09	3649	40544
Вал 5	0,074	0,0077	3329	432338

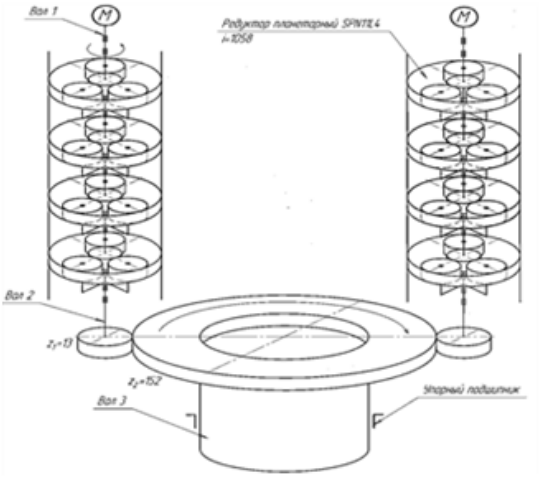
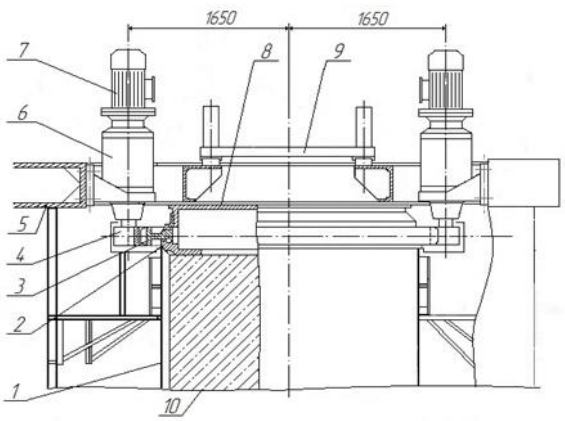


Рис. 4. Кинематическая схема привода сгустителя Ц-50 с планетарными мотор-редукторами
Fig. 4. Kinematic scheme of the C-50 thickener drive with planetary gear motors



1 – ведущий цилиндр; 2 – опорная плита; 3 – зубчатое колесо; 4 – ведущая зубчатая шестерня; 5 – несущая рама; 6 – редуктор; 7 – электродвигатель; 8 – опорное вращающееся кольцо; 9 – проходная площадка; 10 – железобетонная колонна
1 – driving cylinder; 2 – base plate; 3 – gear wheel; 4 – driving gear; 5 – bearing frame; 6 – gearbox; 7 – electric motor; 8 – support rotating ring; 9 – passage platform; 10 – reinforced concrete column
Рис. 5. Монтажная схема усовершенствованного привода сгустителя Ц-50
Fig. 5. Wiring diagram of the improved drive of the C-50 thickener

Таблица 2. Экономические показатели проекта реконструкции
Table 2. Economic indicators of the reconstruction project

Параметр	П-50	Ц-50пл	Разница
1 Объем произведенного внутреннего продукта за год в денежном выражении:			
1.1 Осветленная вода, млн руб./год	31,964	34,268	2,304
1.2 Сгущенный продукт, млн руб./год	1,598	1,713	0,115
Общая прибыль, млн руб./год	33,562	35,981	2,419
2 Капитальные затраты:			
2.1 Демонтажные работы, руб.	–	0,447	–
2.2 Материалы для ж.б. колонны, руб.	–	0,245	–
2.3 Оборудование, руб.	–	2,327	–
2.4 Строительно-монтажные работы, руб.	–	1,094	–
Общие капитальные затраты, млн руб.	–	4,113	–
3 Текущие затраты:			
3.1 Электроэнергия, млн руб./год	1,199	0,471	0,728
3.2Заработная плата ремонтников, млн руб./год	0,955	0,244	0,711
Общие текущие затраты, млн руб./год	2,154	0,715	1,439

Для замены радиальных сгустителей П-50 на Ц-50 в цехе хвостового хозяйства АО «Лебединский ГОК» вместо полного демонтажа старого оборудования предлагается установить в его чашу металлоконструкцию сгустителя с центральным новым приводным оборудованием (Ц-50пл). Для этого

необходимо заменить только центральную железобетонную колонну, так как конструктивно чаша, фундаментная плита и помещение насосной станции сгустителей П-50 и Ц-50 практически одинаковы. Поскольку ширина основания колонн одинакова, то такая реконструкция не составит большого труда (рис. 6).

Расчет годового экономического эффекта [15] от реконструкции $Э_{эфгод}$основан на разнице произведенных объемов внутреннего продукта сгустителями П-50 и Ц-50пл в денежном выражении, а также на снижении текущих затрат по электроэнергии и обслуживанию оборудования, указанных в таблице (табл. 2) экономических показателей:

$$Э_{эфгод} = 2{,}419 + 1{,}439 = 3{,}858 \text{ млн руб/год}$$

Таким образом, расчет экономической эффективности показывает целесообразность внедрения проекта, поскольку срок окупаемости составляет 1,1 года и радиальный сгуститель Ц-50пл начнет приносить прибыль в полном объеме на третий год своей эксплуатации.

Результаты прикладных исследований могут быть полезны при реконструкции цехов хвостового хозяйства обогатительных фабрик горных предприятий, большинство из которых до сих пор используют аналогичные сгустители старой конструкции.

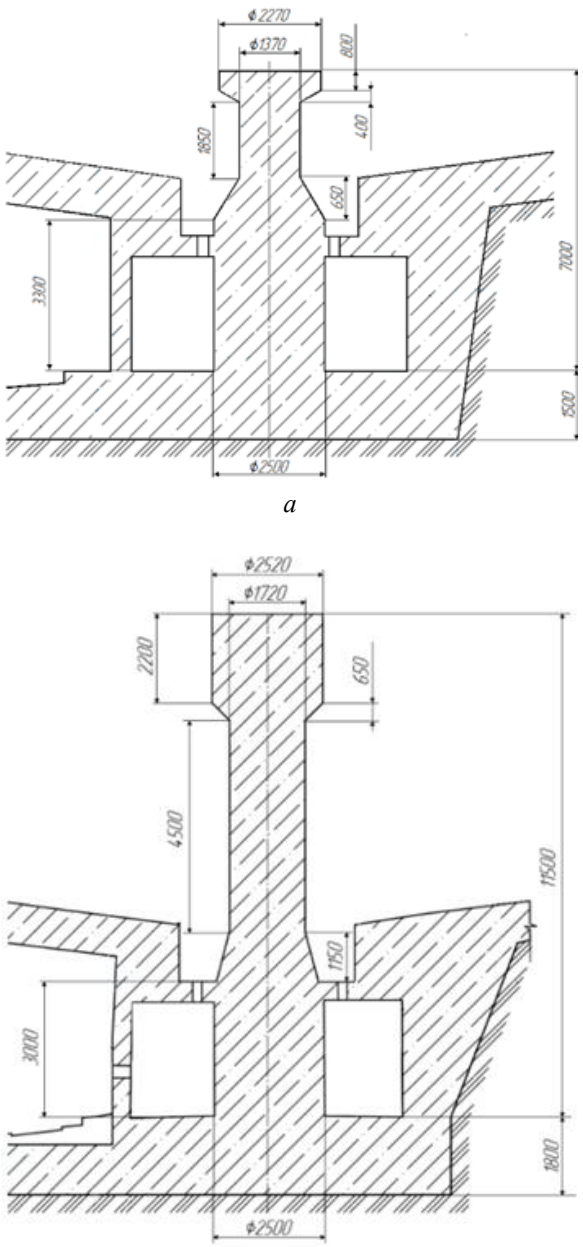


Рис. 6. Центральная железобетонная колонна сгу-стителя П-50 (а) и Ц-50 (б)

Fig. 6. The central reinforced concrete column of the thickener P-50 (a) and C-50 (b)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бауман А. В. Сгущение и водооборот. Часть 2. Радиальные сгустители. // Новосибирск : Гормашэкспорт, 2020. С. 35.

2. Полькин В. Н. Гайский ГОК: современные технологии — каждому процессу // Глобус. 2020. № 3. С. 94-105.

3. Никитин А. Е., Муйичич В. Комплексный подход к модернизации сгустителей // Горная промышленность. 2019. №2 (144). С. 34. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-34-35.

4. Yessengaziyev A., Tussupbayev N., and Bilyalova S. Intensification of dehydration processes of lead-zinc concentrates by ultraflocculation // Min. Slovaca. 2019; 1(1):102.

5. Прокофьева А. Б. Опыт разработки в ЗАО «ТИГОМ» пастового и скоростного сгустителей// Оборудование для обогащения рудных и нерудных материалов. Технологии обогащения: материалы XIII Международной научно-практической конференции, 8–10 ноября2017. Новосибирск. 2017. С. 168-174.

6. Корнеев И. Г. Актуальность внедрения пастового сгущения на обогатительных предприятиях России и СНГ // Горная промышленность. 2013. №6 (111). С. 112-115.

7. Tan C. K., SetiawanR., BaoJ., Bickert G. Studies on parameter estimation and Model Predictive Control of Paste Thickeners, Journal of Process Control. 2015; 1(28):1.

8. Кисляков В. Е., Шершнев А. А. Схемы складирования пастообразных отходов в отвал вскрышных пород // Маркшейдерия и недропользование. 2016. № 3. С. 11-13.

9. Шершнев А. А., Кисляков В. Е. Отсыпка отвалов скальных вскрышных пород при складировании отходов обогащения: монография // Красноярск : Сиб. федер. ун-т. 2019. С. 132. ISBN 978-5-7638-4031-5.

10. Вирченко А. И., Салимжанова Е. В. Применение установки батарейного гидроциклона совместно с радиальным сгустителем в процессе сгущения в цехе обезвоживания и складирования концентратов НМЗ // Культура. Наука. Производство. 2018. № 1. С. 14-16.

11. Донченко А. С., Донченко В. А. Справочник механика рудообогатительной фабрики // М. : Недра, 1986. С. 545.

12. Петрова Р. А., Саломатов С. В. Российские сгустители от НПО"СОМЭКС" // Горная промышленность. 2018. № 3 (139). С. 58.

13. Warda B., Duda H. A. Method for determining the distribution of loads in rolling pairs in cycloidal planetary gear // Tribologia. 2017; 1(1):105.

14. Chen H., Chen X.-A. (2022) Recirculation of Parallel-Connected Planetary Gear Trains. Chin. J. Mech. Eng. 2022; 35(27):284. DOI: 10.1186/s10033-022-00703-6.

15. Кочетов В. В., Колобов А. А., Омельченко И. Н. Инженерная экономика. М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. 655 с.

© 2022 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Терехин Евгений Петрович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела Национального исследовательского технологического университета «МИСиС» (Губкинский филиал, 309186, Россия, г. Губкин, Белгородская обл., ул. Комсомольская, 16).
E-mail: teryekhin50@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-3955-947X, AuthorID:887795

Богданенко Игорь Алексеевич - инженер-электромеханик цеха хвостового хозяйства обогатительной фабрики АО «Лебединский ГОК» (309191, Россия, г. Губкин-11 Промзона, Белгородская обл.).
E-mail: bogdanenckoigor@yandex.ru

Пашков Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, научный сотрудник научного центра «Цифровые технологии», Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28)
E-mail: pashkovda@kuzstu.ru; https://orcid.org/0000-0001-5894-4897, AuthorID: 804094

Заявленный вклад авторов:
Терехин Евгений Петрович - постановка исследовательской задачи, научный менеджмент
Богданенко Игорь Алексеевич - концептуализация исследования, написание текста, сбор и анализ данных
Пашков Дмитрий Алексеевич - обзор соответствующей литературы, выводы

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-48-55

Evgeny P. Terekhin[1*], Igor A. Bogdanenko[2], Dmitry A. Pashkov[3]

[1] National Research Technological University "MISIS", Gubkinsky Branch
[2] JSC Lebedinsky GOK
[3]T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

*E-mail: teryekhin50@mail.ru

JUSTIFICATION OF RECONSTRUCTION OF THE P-50 THICKENER AT THE TAILINGS STORAGE FACILITY OF JSC LEBEDINSKY GOK

Article info
Received:
07 July 2022

Accepted for publication:
01 October 2022

Accepted:
14 October 2022

Abstract.

The tailings workshop of the processing plant of JSC Lebedinsky GOK is the highest priority in terms of modernization, improvement and reconstruction, because the most of the equipment used in the workshop is outdated and cannot fully provide the necessary efficiency. Unplanned idle time of P-50 thickeners due to equipment malfunction is up to 50 hours per month or up to 7% of their monthly operating time. The purpose of this paper is to substantiate the necessity of reconstruction of a P–50 radial thickener with a peripheral drive using design and an improved drive of a thickener with a central drive C-50.

The main methods used for the applied research include an analysis of technical solutions, selection of design characteristics, technical and economic comparison of options. The identified shortcomings of the P-50 thickener are proposed to be eliminated by installing improved drive equipment and metal structures of the C-50 thickener into the P-50's bowl. Replacing different types of mechanical gears with a planetary gearbox

Keywords: *concentration tailings, radial thickener, reconstruction, planetary reducer.*

with a large gear ratio will increase the reliability and efficiency of the drive of the C-50 thickener. The calculation of economic efficiency shows the feasibility of implementing the project, since the payback period is 1.1 years. The results of applied research can be useful in the reconstruction of tailings workshops of ore processing plants, most of which still use similar thickeners.

For citation: Terekhin, E.P., Bogdanenko I.A., Pashkov D.A. Justification of reconstruction of the P-50 thickener at the tailings storage facility of JSC Lebedinsky Gok. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 6(164):48-55 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-48-55

REFERENCES

1. Bauman A.V. Condensation and water circulation. Part 2. Radial thickeners. Novosibirsk: Gormashexport; 2020.

2. Polkin V.N. Gaisky GOK: modern technologies for each process. Globe. 2020; 3(3):94.

3. Nikitin A.E., Muich V. An integrated approach to the modernization of thickeners Mining industry. 2019; 2(144):34. DOI: 10.30686/1609-9192-2019-2-144-34-35.

4. Yessengaziyev A., Tussupbayev N., and Bilyalova S. Intensification of dehydration processes of lead-zinc concentrates by ultraflocculation, Min. Slovaca. 2019; 1(1):102.

5. Prokofieva A.B. Experience in the development of paste and high-speed thickeners in CJSC TIGOM. Equipment for the enrichment of ore and non-metallic materials. Enrichment technologies: Materials of the XIII International Scientific and Practical Conference, November 8-10, 2017. Novosibirsk, p.168.

6. Korneev I.G. The relevance of the introduction of paste thickening at processing plants in Russia and the CIS. *Mining industry.* 2013; 6 (111):112.

7. Tan C.K., Setiawan R., Bao J., Bickert G. Studies on parameter estimation and Model Predictive Control of Paste Thickeners. *Journal of Process Control.* 2015; 1(28):1.8. Kislyakov V.E., Shershnev A.A. Schemes of storing pasty waste in the overburden dump. *Surveying and subsoil use.* 2016; 3(3):11.

9. Shershnev A.A., Kislyakov V.E. Dumping of rock overburden dumps during storage of enrichment waste: monograph. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t; 2019. ISBN 978-5-7638-4031-5.

10. Virchenko A.I., Salimzhanova E.V. Application of a battery hydrocyclone installation together with a radial thickener in the process of thickening in the shop of dehydration and storage of NMZ concentrates. *Culture. The science. Production.* 2018; 1(1): 14.

11. Donchenko A.S., Donchenko V.A. (1986) Handbook of mechanics of ore processing plant. Moscow: Nedra; 1986.

12. Petrova R.A., Salamatov S.V. Russian thickeners from NGO "SOMEX". *Mining industry*. 2018; 3 (139):58.

13. Warda B., Duda H. A. Method for determining the distribution of loads in rolling pairs in cycloidal planetary gear. *Tribologia.* 2017; 1(1):105.

14. Chen H., Chen X.-A. Recirculation of Parallel-Connected Planetary Gear Trains. Chin. J. Mech. Eng. 2022; 35(27):284. DOI: 10.1186/s10033-022-00703-6.

15. Kochetov V.V., Kolobov A.A. Omelchenko I.N. Engineering Economics. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2011. 655 p

© 2022 The Author. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Teryekhin Evgeny P., C. Sc. in Engineering, Associate Professor of the Mining Department of the National Research Technological University "MISIS" (Gubkinsky Branch, 309186, Russia, Gubkin, Belgorod region, Komsomolskaya str., 16). E-mail: teryekhin50@mail.ru; https://orcid.org/0000-0003-3955-947X, AuthorID:887795

Bogdanenko Igor A., Electromechanical Engineer of the Tailings Workshop of the Enrichment Plant of Lebedinsky GOK JSC (309191, Russia, Gubkin-11 Industrial Zone, Belgorod region).
E-mail: bogdanenckoigor@yandex.ru

Pashkov Dmitry A., C. Sc. in Engineering, Engineer Research Center «Digital Technologies», T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, (650000, 28 Vesennyaya St., Kemerovo, Russia). E-mail: pashkovda@kuzstu.ru; https://orcid.org/0000-0001-5894-4897, AuthorID: 804094

Contribution of the authors:
Teryekhin Evgeny P. - research problem statement, scientific management,

Bogdanenko Igor A. -- conceptualisation of research, writing the text, data collection, data analysis,

Pashkov Dmitry A. - reviewing the relevant literature, drawing the conclusions.

Author have read and approved the final manuscript.