

ГОРНЫЕ МАШИНЫ

MINING MACHINES

Научная статья

УДК 629.232

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-92-100

Терехин Евгений Петрович^{1*}, Хворостянова Валентина Ивановна¹,
Маметьев Леонид Евгеньевич², Пашков Дмитрий Алексеевич²

¹ Филиал ФГАОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине

² Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: teryekhin@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА КЛАССИФИКАЦИИ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОЦИКЛОНОВ ТИПА CAVEX НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КМА



Информация о статье

Поступила:

25 декабря 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

14 января 2026 г.

Принята к печати:

29 января 2026 г.

Опубликована:

02 марта 2026 г

Ключевые слова:

гидроциклон, эффективность классификации, питание, слив, пески, диаметр насадок, железистые кварциты

Аннотация.

В статье представлены результаты промышленных испытаний автоматизированной системы разделения суспензий руд – гидроциклонов CAVEX 500CVX10 со шламовыми насосами Warman 14/12 F-AH производства компании «Weir minerals», послуживших их массовому применению в различных модификациях на обогатительных фабриках горнорудных предприятий КМА. Отмечено, что увеличение мощности горно-обогатительных комбинатов, повышение требований к качеству продукции предполагает совершенствование и усложнение технологии обогащения с использованием нового более эффективного оборудования. По существующей технологии на ОФ АО «Лебединский ГОК» на разных схемах работы технологических секций и разных диаметрах песковых насадок гидроциклонов ГЦ-500 эффективность классификации не превышала 65,0%. В период испытаний технологической секции на разных схемах гидроциклоны CAVEX 500CVX10 работали с разным количеством циклонов в батарее и разным диаметром песковых насадок. Питание гидроциклона установок осуществлялось посредством шламовых насосов Warman 14/12 F-AH. Каждый этап испытаний сопровождался контролем технологических и качественных показателей. Испытания показали повышение эффективности классификации в гидроциклонах на 4,7% в сравнении с традиционными ГЦ-500 при увеличении до 59% содержания частиц размером – 0,045 мм в исходном питании гидроциклонов и применении песковых насадок диаметром 80 мм. Использование новых гидроциклонов CAVEX 500CVX10 позволяет повысить эффективность классификации, уменьшить текущие затраты на электроэнергию, воду, ремонт и обслуживание благодаря повышению долговечности насадок и сокращению количества циклонов в одной батарее в сравнении с типовыми ГЦ-500.

Для цитирования: Терехин Е.П., Хворостянова В.И., Маметьев Л.Е., Пашков Д.А. Повышение эффективности процесса классификации железистых кварцитов при использовании гидроциклонов типа CAVEX на железорудных предприятиях КМА // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 1 (183). С. 92-100. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-92-100, EDN: AFDKUF

Введение

Увеличение мощности горно-обогатительных комбинатов, повышение требований к качеству продукции предполагает совершенствование и усложнение технологии обогащения с использованием нового более эффективного оборудования. Требования к повышению извлечения металлов

вызывают необходимость переработки руд при весьма тонком их измельчении [1, 2]. Операция измельчения минералов в технологии мокрой рудоподготовки регулируется аппаратами гидроклассификации, к которым относятся спиральные классификаторы, гидроциклоны, гидросепараторы и грохоты тонкой классификации [3, 4].

Гидравлическая классификация – процесс разделения руды на продукты различной крупности в зависимости от скорости падения (движения) частиц (зерен) в неподвижной или движущейся водной среде. Разделение минеральных зерен по крупности и плотности может происходить под действием силы тяжести или центробежной силы, а также при одновременном действии этих сил.

Среди различных типов классифицирующего оборудования гидроциклоны являются наиболее универсальным и простым в эксплуатации оборудованием, требующим относительно небольших капитальных и эксплуатационных затрат, обладающим высокой производительностью, обеспечивающим требуемые экологические и санитарно-гигиенические условия труда. Осевшие в гидроциклоне крупный и тяжелый продукты называются песками, а мелкий и легкий, удаляемые вместе с водой – сливом.

Гидроциклоны применяются для классификации тонкоизмельченной руды, стущения пульпы, обесшламливания зернистого материала и для обогащения руды в тяжелых суспензиях. Классификация твердых частиц пульпы в гидроциклоне происходит под действием центробежной силы вращательно движущейся пульпы. Развитие и интенсификация классификации тонкоизмельченного материала по крупности, стущение и фильтрование пульп направлены на использование центробежных сил [5-7].

Как показывает практика, гидроциклоны, работающие в замкнутом цикле «измельчение – классификация», позволяют регулировать загрузку мельницы и влиять на процесс измельчения. Выбор размера гидроциклона и давления пульпы на входе в гидроциклон определяется требуемой крупностью разделения классифицируемого материала.

Гидроциклоны являются неотъемлемым элементом при совершенствовании технологии обогащения, которое достигается за счет своевременного вывода из цикла измельчения свободных зерен по мере их раскрытия за счет повышения эффективности гидроциклонации и стабилизации требуемой крупности слива.

На железнорудных предприятиях КМА в техно-

логии обогащения железистых кварцитов долгое время с 70-80 годов прошлого столетия применялись отечественные гидроциклоны, конструкция которых за это время практически не улучшалась, несмотря на разработку большого количества технических решений в этом направлении [8-11]. В то же время ряд зарубежных фирм провел существенную модернизацию аналогичного оборудования и наладил серийное производство новых моделей.

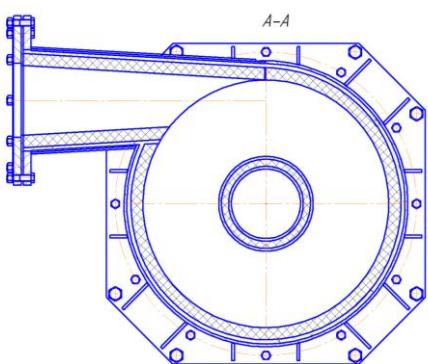
Поиск технического решения

Уже на протяжении многих лет компания «Weir minerals» является лидером инноваций в производстве гидроциклона. Гидроциклон CAVEX установил новые направления в отрасли благодаря своей новаторской конструкции с ламинарным спиральным впуском и трехмерным плавным изгибом, что улучшило эффективность классификации за счет снижения турбулентности, увеличило производительность, КПД и срок службы до полного износа. Инновационная конструкция гидроциклона CAVEX обеспечивает высокую эффективность классификации и гидравлическую мощность, сокращая количество гидроциклона, необходимых для выполнения конкретной задачи.

Благодаря широкому ассортименту усовершенствованных датчиков вихревых потоков и размеров патрубков гидроциклоны обеспечивают оптимальную настройку во время пуско-наладочного периода и максимальную эксплуатационную гибкость за счет постоянного мониторинга производительности и максимальной эффективности в режиме реального времени, что особенно важно при работе гидроциклона в замкнутых циклах измельчения с мельницами [12-14].

Автоматизированная система позволяет поддерживать работу циклона в оптимальном режиме, минимизируя отрицательное воздействие возмущений в цикле измельчения, связанных с колебаниями производительности и циркулирующей нагрузки, приводящих к изменению крупности продукта и плотности пульпы. Информация от датчиков позволяет АСУ ТП системы гидроциклон – мельница поддерживать заданное давление на входе в батарею гидроциклона и плотность питания гидроциклона.

а)



б)



Рис. 1. Зона ввода питания в типовых гидроциклонах а) и аппаратах Cavex б)
Fig. 1. Power input zone in typical hydrocyclones a) and Cavex devices b)

Основной принцип работы гидроциклонов различной конструкции заключается в разделении тяжелых и легких частиц под действием массовых и инерционных сил при движении жидкости под давлением в цилиндроконическом сосуде. Когда жидкость (вернее, двухфазная среда) с большой скоростью входит по касательной в гидроциклон, тяжелые частицы центробежной силой отбрасываются на периферию и опускаются по конической поверхности в виде сгущенных песков для разгрузки через песковую насадку. При этом происходит выдавливание вверх закрученного основного потока с легкими частицами в центре через сливную насадку в сливной патрубок.

Основное конструктивное отличие гидроциклонов CAVEX от типовых аппаратов заключается в выполнении зоны питания. Для придания ламинарности движению потока пульпы на входе верхняя часть корпуса гидроциклона внутри выполнена в виде пространственной конической спирали, в результате чего управляемый поток сырья перемешивается постепенно и плавно, что снижает турбулентность во всем гидроциклоне [15, 16]. Ламинарная спиральная геометрия входного отверстия обеспечивает естественный путь потока, а его уникальная форма в сечении, без острых краев, полок и углов, позволяет ему плавно смешиваться с вращающейся суспензией внутри камеры (Рис. 1).

В традиционных гидроцилонах турбулентность исходящего потока пульпы в зоне питания приводит к деформации восходящего сливного потока при входе его в сливную насадку. В результате это-

го в этом месте происходит перемешивание тяжелых и легких частиц, что приводит к снижению эффективности разделения. На Рис. 2 представлена кинематическая схема потоков жидкости в гидроциклонах с показателями улучшения классификации гидроциклона CAVEX в сравнении со стандартным гидроциклоном ГЦР.

Более точное разделение продуктов в гидроциклонах CAVEX позволяет извлекать из шлама даже самые мелкие минеральные вещества, которые в противном случае поступили бы обратно в мельницу.

Фирма «Weir minerals» заявляет следующие преимущества своих гидроциклонов в сравнении с традиционными, используемыми при обогащении железистых кварцитов на обогатительных производствах горнорудных комбинатов КМА:

- высокую эффективность разделения;
- высокую производительность;
- высокую надежность простой конструкции;
- длительный срок службы.

Промышленные испытания автоматизированной системы разделения суспензий руд посредством гидроциклонов CAVEX 500CVX10 производства компании «Weir minerals» проводились на технологических секциях обогатительной фабрики Лебединского ГОКа.

Целью прикладных исследований являлось определение эффективности работы гидроциклонов CAVEX 500CVX10 в технологической цепочке обогащения железистых кварцитов на ОФ АО «Лебединский ГОК».

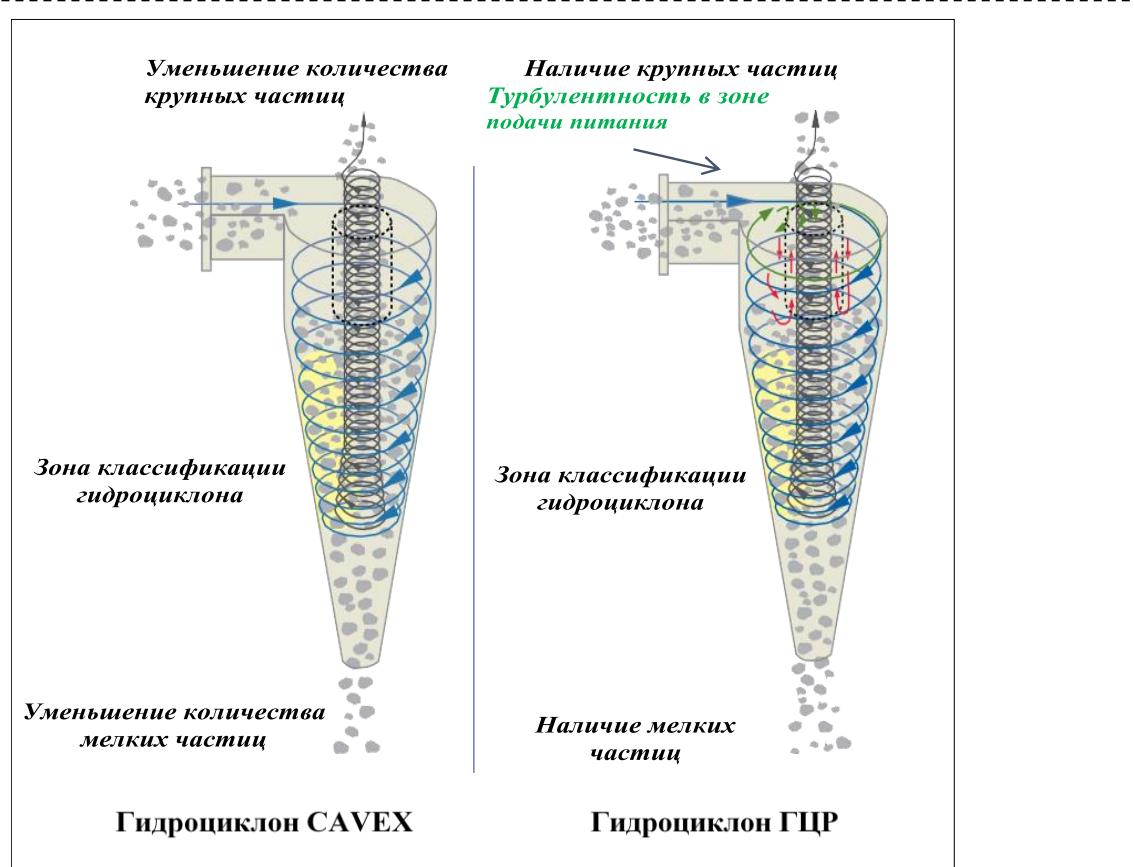


Рис. 2. Кинематика потоков жидкости в гидроциклонах
Fig. 2. Fluid flow kinematics in hydrocyclones

Задачи:

- определение эффективности классификации в гидроциклонах;
- определение оптимального диаметра песковых насадок и режимов работы гидроциклона;
- определение срока службы гидроциклона и необходимого количества единиц оборудования.

Результаты

По существующей технологии на ОФ АО «Лебединский ГОК» на разных схемах работы технологических секций и разных диаметрах песковых насадок гидроциклона ГЦ-500 эффективность классификации не превышала 65,0%.

Для достижения более высокой эффективности гидроклассификации с целью снижения циркуляции и переизмельчения, а также стабилизации про-

изводительности мельниц было принято решение о замене стандартных гидроциклонов ГЦ-500 на аппараты CAVEX 500CVX10.

В период испытаний технологической секции на разных схемах гидроциклоны CAVEX 500CVX10 работали с разным количеством циклонов в батарее и разным диаметром песковых насадок. Питание гидроциклических установок осуществлялось посредством шламовых насосов Warman 14/12 F-AH. На каждом этапе испытаний производился контроль технологических и качественных показателей.

По полученным результатам была рассчитана эффективность классификации в гидроциклонах по формуле Ханкока-Луйкена-Дина [17, 18]:

Таблица 1. Результаты промышленных испытаний гидроциклона CAVEX 500CVX10 (средние значения)
Table 1. Results of industrial tests of CAVEX 500CVX10 hydrocyclones (average values)

Диаметр песковых насадок, мм	Количество работающих гидроциклона в батарее, шт	Массовая доля класса – 0,045 мм, дол. ед.			Эффективность классификации в гидроциклонах, %
		питание	слив	пески	
80	4	0,585	0,938	0,264	69,7
	5	0,578	0,910	0,233	69,3
	6	0,546	0,857	0,190	67,0
90	4	0,561	0,931	0,264	67,2
	5	0,504	0,814	0,172	64,0
	6	0,498	0,835	0,194	63,6

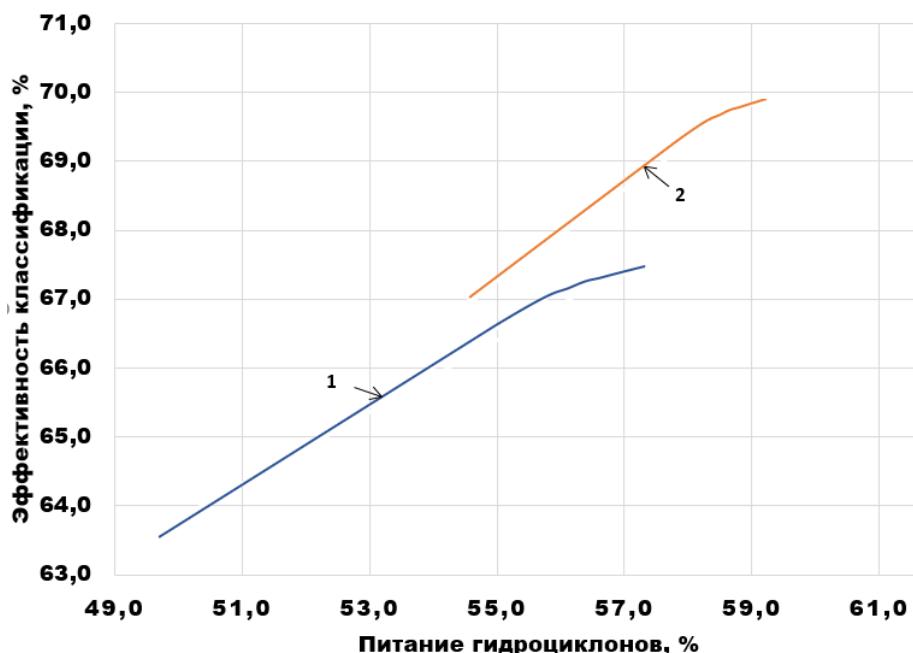


Рис. 3. Зависимость эффективности классификации от параметров питания гидроциклона (1 – диаметр песковых насадок 90 мм, 2 – 80 мм)

Fig. 3. Dependence of classification efficiency on parameters of feeding hydrocyclones (1 – diameter of sand nozzles 90 mm, 2 – 80 mm)

$$\eta = [(\alpha - \vartheta) \cdot (\beta - \alpha) / \alpha \cdot (1 - \alpha) \cdot (\beta - \vartheta)] \cdot 100\%,$$

где α , β , ϑ – содержание зерен расчетного класса – 0,045 мм соответственно в питании, сливе, песках, дол. ед.

Исходным питанием гидроциклонов CAVEX 500CVX10 являлись концентраты 1 и 2 стадий магнитной сепарации, которые пропускались через батарею из 4, 5 и 6 циклонов под давлением 0,15-0,2 МПа. Испытания проводились в производственных условиях со смешанными песковыми насадками диаметром 80 и 90 мм.

Основные обобщенные показатели испытаний приведены в Таблице 1.

Как видно из таблицы, эффективность классификации в гидроциклонах CAVEX 500CVX10 выше, чем в аппаратах ГЦ-500, и зависит в первую очередь от содержания зерен расчетного класса – 0,045 мм в питании, во вторую – от диаметра насадок, особенно песковых, и в третью – от количества циклонов в батарее.

Преимущества испытываемых циклонов в сравнении с традиционными проявлялись при содержании граничной фракции в питании начиная с 55%, при этом эффективность классификации возрастила на 2-5%.

Анализируя зависимость эффективности классификации от содержания частиц размером – 0,045 мм в исходном питании гидроциклонов (Рис. 3) следует отметить, что продуктивность разделения возрастает практически по линейной зависимости с увеличением массовой доли выделяемых частиц в исходном питании до 57% для песковых насадок диаметром 90 мм и до 59% для диаметра 80 мм. Дальнейшее увеличение мелкозернистости исход-

ной пульпы при поступлении в гидроциклоны, работающие в замкнутых циклах измельчения с мельницами, уже не дает такого прироста эффективности классификации.

Как правило, диаметр песковой насадки, оказываящий значительное влияние на эффективность классификации, подбирается опытным путем. При испытаниях гидроциклонов CAVEX лучшие показатели фракционного разделения были достигнуты при применении песковых насадок диаметром 80 мм.

На Рис. 4 представлена гистограмма сравнения эффективности классификации в гидроциклонах CAVEX 500CVX10 от количества работающих циклонов.

Снижение показателей у батарей с большим количеством циклонов связано, по всей видимости, с некоторым уменьшением давления на входе, либо с неравномерностью подачи на каждый ее элемент [19]. В связи с этим оптимальным количеством гидроциклонов в одной батарее по показателям эффективности является 4-5 единиц.

Повышенная производительность и эффективность классификации гидроциклонов CAVEX 500CVX10 позволяют сократить их количество в одной батарее до 4-5 штук, вместо 8 в традиционных ГЦ-500. Стабильная производительность и пониженная турбулентность на входе в гидроциклоны CAVEX практически не влияет на срок службы резиновой футеровки головных частей, а вот долговечность сливных и песковых насадок увеличивается в два раза в сравнении с обычными ГЦ-500 при сопоставимых условиях эксплуатации. В целом это позволяет снизить текущие затраты на ремонт и обслуживание аппаратов вследствие сни-

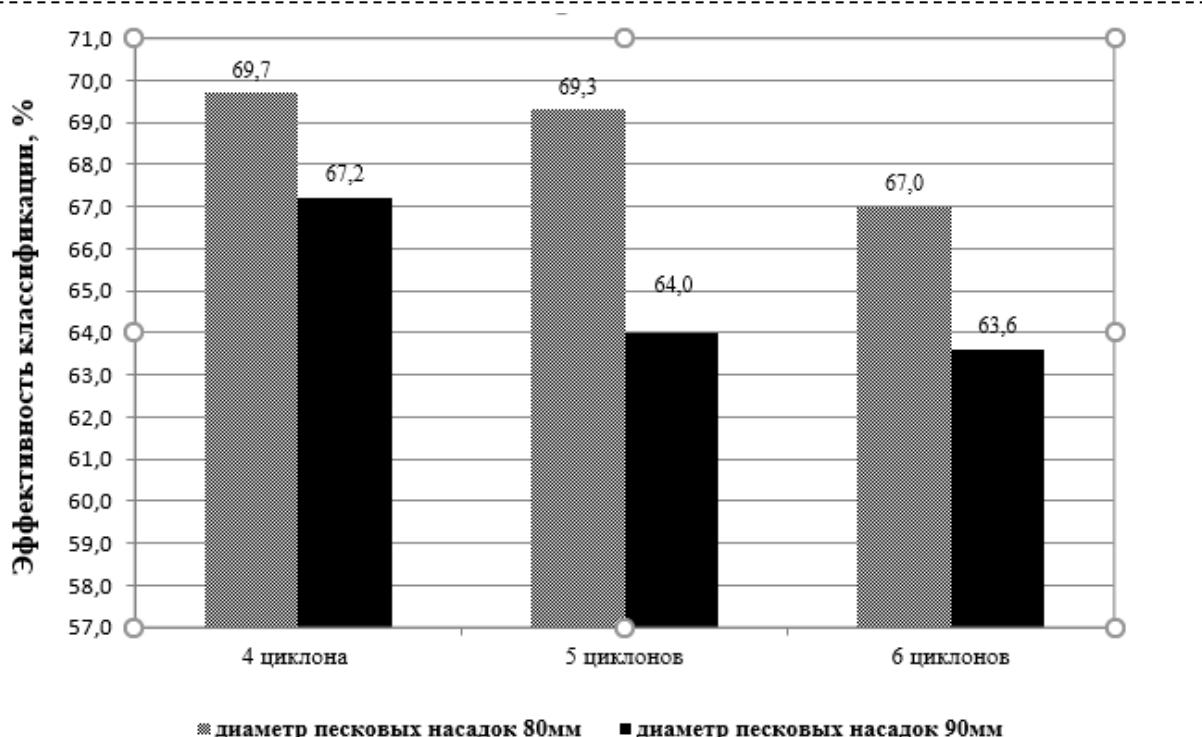


Рис. 4. Сравнение эффективности классификации в батареях с разным количеством циклонов
Fig. 4. Comparison of classification efficiency in batteries with different numbers of cyclones

жения количества гидроциклонов в технологии и повышения срока службы насадок.

На основании испытаний гидроциклонов CAVEX 500CVX10 в комплекте со шламовыми насосами Warman 14/12 F-AH в производственных условиях фабрики обогащения автоматизированная система разделения суспензии руд была рекомендована к внедрению на Лебединском ГОКе.

Выводы

1. Автоматизированная система разделения суспензий руд с применением гидроциклонов CAVEX 500CVX10 производства компании «Weir minerals» обеспечивает высокую эффективность разделения в сравнении с традиционными гидроциклонами ГЦ-500. Эффективность классификации в гидроциклонах увеличивается на 4,7%.

2. Эффективность классификации интенсивно возрастает при увеличении содержания частиц размером – 0,045 мм в исходном питании гидроциклонов до 59% с применением песковых насадок диаметром 80 мм.

3. Показатели производительности и эффективности гидроциклонов CAVEX 500CVX10 позволяют снизить текущие затраты на ремонт и обслуживание благодаря повышенному сроку службы насадок и сокращению количества циклонов в одной батарее в сравнении с типовыми ГЦ-500.

4. Результатом промышленных испытаний гидроциклонов CAVEX 500CVX10 производства компании «Weir minerals» стало внедрение их на обогатительных фабриках горнорудных предприятий КМА – Михайловском и Лебединском комбинатах [20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gzogyan T. N., Gzogyan S. R., Grishkina E. V. Comparative technological evaluation of schemes for the enrichment of oxidized ferruginous quartzites // Eurasian Mining. 2021. № 2. Рр. 40–46. DOI: 10.17580/em.2021.02.09.
2. Jankovic A. Developments in iron ore comminution and classification technologies // Iron Ore: Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability. Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Amsterdam : Woodhead Publishing, 2022. Рр. 251–282. DOI: 10.1016/B978-1-78242-156-6.00008-3.
3. Габец С. В., Асламов А. А., Габец В. С. Повышение эффективности спирального классификатора и применение автоматизированных гидроциклических установок на норильских обогатительных фабриках // Вестник АГТА. 2009. № 1 (Т. 3). С. 21–23.
4. Зашихин А. В. Разработка новых конструкций аппаратов для гравитационного обогащения // Обогащение руд. 2022. № 4. С. 11–16.
5. Терновский И. Г., Кутепов А. М. Гидроциклическое обогащение. М. : Наука, 1994. 350 с.
6. Бауман А. В. Гидроциклоны. Теория и практика. Новосибирск : Б29 Гормашэкспорт, 2020. 56 с.
7. Валеев С. И. Применение гидроциклонов в промышленности // ГНИИ Нацразвитие: сб. науч.

ст. СПб., 2020. С. 66–68. DOI: 10.37539/APR290.2020.97.17.007.

8. Лозовая С. Ю., Бащева Е. С. Сравнительный анализ эффективности разделения частиц пиритных огарков в гидроциклонах напорного типа // Известия ТулГУ. Технические науки, 2023. Вып.12. С. 356–360. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-356-357.

9. Lagutkin M. G., Baranova E. Yu., Shulyak A. N., Starostin A. V. Influence of Geometric Parameters of Hydrocyclone on Hydraulic Resistance and Efficiency of Suspension Separation Process // Chemical and Petroleum Engineering. 2022. Vol. 57. № 9-10. Рр. 807–815. DOI: 10.1007/s10556-022-01011-5.

10. Высоцкий Л. И., Изюмов Ю.А., Черненко Ю. В. [и др.] Экспериментальные исследования работы биконических циклонов улучшенной конструкции // Вестник Евразийской науки. 2021. № 1 (Т. 13). С. 1–10.

11. Padhi M., Vakamalla T. R., Mangadoddy N. Iron ore slimes beneficiation using optimized hydrocyclone operation // Chemosphere. 2022. Vol. 301. ID 134513. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134513.

12. Першина А. В. Интенсификация процесса классификации железорудной пульпы в гидроциклонах за счет стабилизации крупности граничного зерна: Дис. ... канд. техн. наук. СПб. : СПГУ, 2015. 146 с.

13. Першина А. В. Интенсификация процесса гидроциклизации при помощи прогнозирующих программных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 4. (Спец. выпуск 12). С.10–16.

14. Vakamalla T. R., Rajendran S., Padhi M., Mangadoddy N. Computational fluid dynamic modeling of hydrocyclones // Mineral Processing: Beneficiation Operations and Process Optimization Through Modeling. – Amsterdam: Elsevier, 2023. P. 287–323. DOI: 10.1016/B978-0-12-823149-4.00001-6.

15. Капустин Р. П. Тангенциальная скорость в гидроциклоне // Научно-технический вестник БГУ. 2020. № 2. С. 337–343. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-347-342.

16. Сатаев А. А., Иванов Н. А. Расчетное и экспериментальное моделирование процесса фильтрации гидроциклона с целью подбора оптимальных параметров // Приволжский научный журнал. 2024. № 3. С. 88–93.

17. Кривоцеков В. И., Медведева А. А. Результаты сравнительных испытаний гидроциклона в условиях Иршанского ГОКа // Збагачення корисних копалин. Научно-технический сборник ДНТУ. 2017. Вып. 65(106). 9 с.

18. Shevchenko H. O., Cholyshkina O. H., Sukhariev V. V., Kurilov V. S. Mathematical model for determining the hydraulic characteristics of finely dispersed water mineral suspensions // Геотехнічна механіка. 2022. № 163. Рр. 155–164. DOI: 10.15407/geotm2022.163.155.

19. Long Ni, Jinyi Tian, Tao Song [et al.] Optimizing Geometric Parameters in Hydrocyclones for Enhanced Separations: A Review and Perspective // Sepa-

ration and Purification Reviews. 2018. Pp. 30–51.
DOI: 10.1080/15422119.2017.1421558.

20. Сбитнев Е. С., Соколов М. В., Сычев А. А.,
Левшин А. В. Оптимизация работы гидроциклонов

при классификации руд на михайловском ГОКе //
Горный журнал. 2025. № 4. С. 65–72.
DOI: 10.17580/gzh.2025.04.09.

© 2026 Автор. 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, г. Губкин, Российская Федерация, Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине; e-mail: teryekin50@mail.ru;

Хворостянова Валентина Ивановна – ассистент, г. Губкин, Российская Федерация, Филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» в г. Губкине;

Маметьев Леонид Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева;

Пашков Дмитрий Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НЦЦТ, г. Кемерово, Российская Федерация, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева; e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Заявленный вклад авторов:

Терехин Евгений Петрович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Хворостянова Валентина Ивановна – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Маметьев Леонид Евгеньевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Пашков Дмитрий Алексеевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-92-100

Evgeny P. Terekhin^{1*}, Valentina I. Hvorostyanova¹, Leonid E. Mametyev², Dmitry A. Pashkov²

¹ Gubkin branch of the National University of Science and Technology «MISIS»

² T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: teryekhin@mail.ru

IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE CLASSIFICATION PROCESS OF IRON-CONTAINING QUARTZITE USING CAVEX-TYPE HYDROCYCLOONES AT THE KMA IRON-ORE ENTERPRISES

Abstract.

Belt conveyors are a critical element of production capacity in mining and processing. The article presents the results of industrial tests of an automated system for separating ore suspensions – CAVEX 500CVX10 hydrocyclones with Warman 14/12 F-AH slurry pumps manufactured by Weir minerals, which served as their mass application in various modifications at the processing plants of KMA mining enterprises. It was noted that an increase in the capacity of mining and processing plants and an increase in product quality requirements presuppose the improvement and complication of enrichment technology using new and more efficient equipment. According to the existing technology at Lebedinsky GOK, the classification efficiency did not exceed 65.0% for different operating schemes of technological sections and



Article info

Received:
25 December 2025

Accepted for publication:
14 January 2026

Accepted:
29 January 2026

Published:
02 March 2026

Keywords: hydrocyclone, classification efficiency, feeding, discharge, sands, nozzle diameter, ferruginous quartzites

different diameters of sand nozzles of GC-500 hydrocyclones. During the testing period of the process section on different circuits, the CAVEX 500CVX10 hydrocyclones operated with different numbers of cyclones in the battery and different diameters of the sand nozzles. The hydrocyclone installations were powered by Warman 14/12 F-AH slurry pumps. Each stage of the tests was accompanied by monitoring of technological and qualitative indicators. Tests have shown an increase in classification efficiency in hydrocyclones by 4.7% compared with traditional HZ-500, with an increase of up to 59% in the particle size of 0.045mm in the initial feed of hydrocyclones and the use of sand nozzles with a diameter of 80 mm. The use of the new CAVEX 500CVX10 hydrocyclones makes it possible to increase classification efficiency, reduce current costs for electricity, water, repairs and maintenance by increasing the durability of the nozzles and reducing the number of cyclones in one battery compared to the typical HZ-500.

For citation: Terekhin E.P., Hvorostyanova V.I., Mametyev L.E., Pashkov D.A. Improving the efficiency of the classification process of iron-containing quartzite using CAVEX-type hydrocyclones at the KMA iron-ore enterprises. *Mining Equipment and Electromechanics*, 2026; 1(183):92-100 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-1-92-100, EDN: AFDKUF

REFERENCES

1. Gzogyan T.N., Gzogyan S.R., Grishkina E.V. Comparative technological evaluation of schemes for the enrichment of oxidized ferruginous quartzites. *Eurasian Mining*. 2021; 2:40–46. DOI:10.17580/em.2021.02.09.
2. Jankovic A. Developments in iron ore comminution and classification technologies. *Iron Ore: Mineralogy, Processing and Environmental Sustainability*. Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Amsterdam: Woodhead Publishing; 2022. Pp. 251–282. DOI: 10.1016/B978-1-78242-156-6.00008-3.
3. Gabetz S.V., Aslamov A.A., Gabetz V.S. Increase in efficiency of the spiral classifier and application of automated hydrocyclone installations at Norilsk processing plants. *Bulletin of AGTA*. 2009; 1(3):21–23. [in Russian]
4. Zashikhina A.V. Development of new designs of devices for gravity enrichment. *Ore processing*. 2022; 4:11–16. [in Russian]
5. Ternovsky I.G., Kutepov A.M. Hydrocycloning. M.: Nauka; 1994. 350 p. [in Russian]
6. Bauman A.V. Hydrocyclones. Theory and Practice. Novosibirsk: B29 Gormashexport; 2020. 56 p. [in Russian]
7. Valeev S.I. Application of hydrocyclones in industry. GNII National Research Institute for Development: collection of Scientific Articles St. Petersburg, 2020. Pp. 66–68. DOI: 10.37539/APR290.2020.97.17.007. [in Russian]
8. Lozovaya S.Y., Bascheva E.C. Comparative analysis of the efficiency of separation of pyrite cinder particles in pressure-type hydrocyclones. *Izvestiya TulGU. Technical sciences*. 2023; 12:356–360. DOI: 10.24412/2071-6168-2023-12-356-357. [in Russian]
9. Lagutkin M.G., Baranova E.Yu., Shulyak A.N., Starostin A.V. Influence of Geometric Parameters of Hydrocyclone on Hydraulic Resistance and Efficiency of Suspension Separation Process. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2022; 57(9–10):807–815. DOI: 10.1007/s10556-022-01011-5.
10. Vysotsky L.I., Izyumov Yu.A., Chernenko Yu.V. [et al.] Experimental studies of the operation of improved biconical cyclones. *Bulletin of Eurasian Science*. 2021; 1(13):1–10. [in Russian]
11. Padhi M., Vakamalla T.R., Mangadoddy N. Iron ore slimes beneficiation using optimized hydrocyclone operation. *Chemosphere*. 2022; 301:134513. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.134513.
12. Pershina A.V. Intensification of the classification process of iron ore pulp in hydrocyclones due to the stabilization of the size of the boundary grain: Dis. ... cand. tech. sciences. St. Petersburg: SPBU; 2015. 146 p. [in Russian]
13. Pershina A.B. Intensification of the hydrocycloning process using predictive software systems. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 4(12):10–16. [in Russian]
14. Vakamalla T. R., Rajendran S., Padhi M., Mangadoddy N. Computational fluid dynamic modeling of hydrocyclones. *Mineral Processing: Beneficiation Operations and Process Optimization Through Modeling*. Amsterdam: Elsevier; 2023. Pp. 287–323. DOI: 10.1016/B978-0-12-823149-4.00001-6.
15. Kapustin R.P. Tangential velocity in a hydrocyclone. *Scientific and Technical Bulletin of BSU*. 2020; 2:337–343. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-347-342. [in Russian]
16. Sataev A.A., Ivanov N.A. Computational and experimental modeling of the hydrocyclone filtration process in order to select optimal parameters. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2024; 3:8893. [in Russian]
17. Krivoshechekov V.I., Medvedeva A.A. Results of Comparative Tests of Hydrocyclones in the Conditions of the Irshansky GOK. *Mineral processing. Scientific and Technical Collection of DNTU*. 2017; 65(106). 9 p. [in Russian]
18. Shevchenko H.O., Cholyshkina O.H., Sukhariev V.V., Kurilov V.S. Mathematical model for determining the hydraulic characteristics of finely dispersed

water mineral suspensions. *Geotech mechanics*. 2022; 163:155–164. DOI: 10.15407/geotm2022.163.155.

19. Long Ni, Jinyi Tian, Tao Song [et al.] Optimizing Geometric Parameters in Hydrocyclones for Enhanced Separations: A Review and Perspective. *Separation and Purification Reviews*. 2018. Pp. 30–51. DOI: 10.1080/15422119.2017.1421558.

20. Sbitnev E.S., Sokolov M.V., Sychev A.A., Levshin A.V. Optimization of Hydrocyclones Operation during Ore Classification at the Mikhailovsky GOK. *Gorny Zhurnal*. 2025; 4:65–72. DOI: 10.17580/gzh.2025.04.09. [in Russian]

© 2026 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 author:

Evgeny P. Terekhin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Gubkin, Russian Federation, Gubkin branch of the National University of Science and Technology «MISIS»; e-mail: teryekin50@mail.ru;

Valentina I. Hvorostyanova – assistant, Gubkin, Russian Federation, Gubkin branch of the National University of Science and Technology «MISIS»;

Leonid E. Mametyev – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev;

Dmitry A. Pashkov – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Scientific and Technical Center, Kemerovo, Russian Federation, Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev; e-mail: pashkovda@kuzstu.ru

Contribution of the authors:

Evgeny P. Terekhin – formulation of a research problem, conceptualization of research, writing a text.

Valentina I. Hvorostyanova – formulation of a research problem, conceptualization of research, writing a text.

Leonid E. Mametyev – formulation of a research problem, conceptualization of research, writing a text.

Dmitry A. Pashkov – formulation of a research problem, conceptualization of research, writing a text.

Authors have read and approved the final manuscript.

