

УДК 681.518:621.926

**АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РАБОТЫ ПЕРВОЙ СТАДИИ ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ФАБРИКИ ПГОКА****И. С. Конох, В. В. Найда**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vaha303@yandex.ru

Работа посвящена вопросам развития информационных технологий для систем поддержки принятия решений в оперативном управлении начальными стадиями обогащения, куда входят технологические комплексы шаровые мельницы – спиральный классификатор. Рассмотрены приоритетные направления исследований компаний, занимающихся вопросами производства горно-обогатительного оборудования и систем автоматического управления. Проанализированы известные модели и зависимости, касающиеся первой стадии обогащения и используемые технологии интеллектуального управления, указаны перспективные способы организации обработки первичной информации и необходимость их включения в концептуальную модель комплекса шаровые мельницы–спиральный классификатор. Концептуальное моделирование технологических процессов позволит конкретизировать структуру и параметры нечеткой системы идентификации режимов работы оборудования и разработать алгоритмы принятия решений по оптимальному оперативному управлению. Применение таких систем позволит повысить производительность и качество первых стадий обогащения железных руд, не допустить перегрузку шаровых мельниц, определить оптимальные параметры загрузки руды и шаров с учётом текущих свойств руды.

**Ключевые слова:** обогатительное производство, шаровая мельница, нечеткая модель, идентификация режимов.

**АНАЛІЗ АКТУАЛЬНОСТІ РОЗВИТКУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ПЕРШОЇ СТАДІЇ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ ПГЗК****І. С. Конох, В. В. Найда**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vaha303@yandex.ru

Робота присвячена питанням розвитку інформаційних технологій для систем підтримки прийняття рішень в оперативному управлінні початковими стадіями збагачення, куди входять технологічні комплекси кульові млини – спіральний класифікатор. Розглянуто пріоритетні напрями досліджень компаній, що займаються питаннями виробництва гірничо-збагачувального устаткування і систем автоматичного управління. Проаналізовано відомі моделі та залежності, що стосуються першої стадії збагачення і використовуваних технологій інтелектуального управління, вказані перспективні способи організації обробки первинної інформації та необхідність їх включення в концептуальну модель комплексу кульові млини-спіральний класифікатор. Концептуальне моделювання технологічних процесів дозволить конкретизувати структуру і параметри нечіткої системи ідентифікації режимів роботи обладнання і розробити алгоритми прийняття рішень з оптимального оперативного управління. Застосування таких систем дозволить підвищити продуктивність і якість перших стадій збагачення залізних руд, не допустити перевантаження кульових млинів, визначити оптимальні параметри завантаження руди і куль з урахуванням поточних властивостей руди.

**Ключові слова:** збагачувальне виробництво, кульовий млин, нечітка модель, ідентифікація режимів.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Измельчение руды с помощью комплекса шаровых мельниц на горно-обогатительном комбинате (ГОКе) является одним из начальных этапов производства черных металлов. Процесс характеризуется высокой ресурсоемкостью и в существенной степени определяет качество дальнейшей переработки. В процессе эксплуатации стараются соблюдать режимы максимальной производительности, но при этом не допускать перегрузки мельниц и аварийной остановки. Один час простоя мельницы означает недополучение 290-310 т готового класса для последующих стадий обогащения и влечет дополнительные затраты на повторный запуск.

Исследования [1] показывают, что применение новых технологий на стадиях ремонта и оперативного управления позволяет повысить коэффициент использования оборудования с 0,759 до 0,949, а суммарный экономический эффект от внедрения новых технологий составляет около 28 млн. грн.

Существующие способы автоматического регулирования, а тем более ручное управление измель-

чительным комплексом (мельница–классификатор, мельница–гидроциклон) не обеспечивают введения стабильного и оптимального по параметрам процесса. Ситуация характерна невозможностью проводить прямые измерения загрузки мельницы, сложностью получения актуальной информации о твердости, обогащаемости руды, процентном содержании железа в ней, плотности и гранулометрическом составе выходного продукта из слива классификатора.

В опубликованных исследованиях [2–4] приведены и охарактеризованы зависимости между отдельными параметрами технологического процесса, но отсутствуют комплексные рекомендации по построению эффективных систем управления. На текущий момент требуется развитие интеллектуальных технологий, моделей и методов для идентификации состояний и автоматизированного принятия решений по оперативному управлению головным комплексом обогатительной фабрики.

Цель работы – анализ актуальности развития информационных технологий для оптимизации работы

первой стадии обогатительной фабрики Полтавского горнообогатительного комбината.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

*Характеристика начальной стадии обогащения второй обогатительной фабрики Полтавского ГОКа.* На начальные стадии обогащения руда подается после цикла дробления, которые обеспечивают определенный класс крупности сырья. Из приемных бункеров сырье через несколько подбункерных питателей поступает по конвейерам, оснащенных частотно-управляемым асинхронным приводом, в шаровые мельницы мокрого помола. Исходная руда может отличаться по процентному содержанию железа, величине и крепости минеральных зерен. Параметры поступающей руды исследуются лабораторно, информация предоставляется главному мельнику и специалистам по автоматизированной системе управления технологическими процессами (АСУТП) обогатительной фабрики. Рабочее место главного мельника оснащено SCADA-системой, которая через мнемосхемы (рис. 1) позволяет контролировать все оборудование, подключенное к контроллерам АСУТП.

Руда загружается в две шаровые мельницы (мощность привода каждой 2,5 МВт, скорость 16,5 об/мин), работающие параллельно в замкнутом цикле вместе со спиральным классификатором (мощ-

ность привода 40 кВт, скорость 3–7 об/мин) (рис. 1). Этот режим характеризуется отбором продукта назначенной крупности и возвращением крупного продукта в ту же мельницу (циркулирующая нагрузка). Измельченный в мельнице материал может поступать на отсадочную машину, для более эффективной работы классификатора. Отсадка – гравитационный процесс разделения смеси минеральных частиц по плотности в разделяющей среде, разрыхляемой действием вертикального пульсирующего потока воды. Разделяющей средой в процессе отсадки служит постель материала на решетке отсадочной машины. Далее материал подается в механический классификатор, где делится на готовый мелкий продукт (слив) и на крупный продукт (пески), возвращаемый как избыточное зерно в мельницу для доизмельчения. Пески непрерывно циркулируют из классификатора в мельницу и обратно и выходят из цикла только после измельчения до требуемой крупности. Они проходят через мельницу многократно и при установившемся режиме замкнутого цикла количество их стабилизируется. Установившееся количество оборотных песков называется циркуляционной нагрузкой. Циркуляционная нагрузка может выражаться относительной величиной – отношением массы песков к массе готового продукта (твёрдого в сливе классификатора).

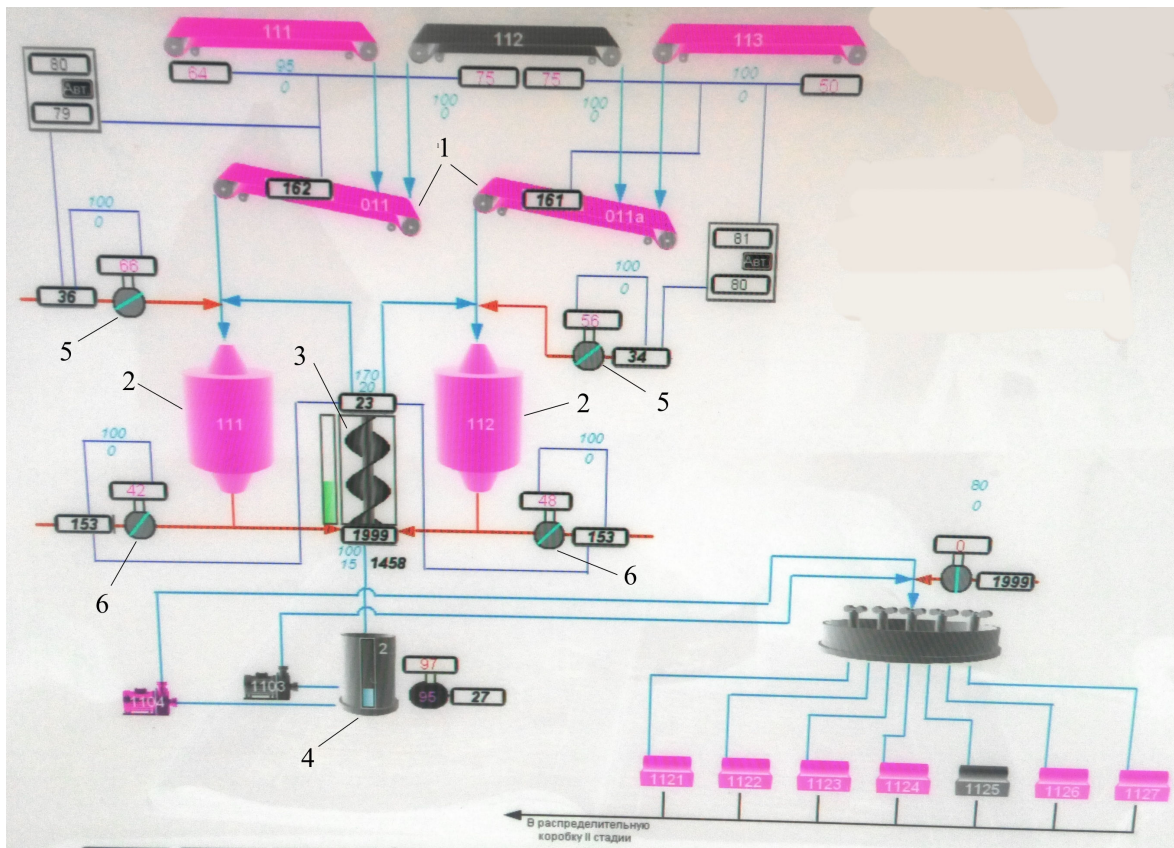


Рисунок 1 – Мнемосхема технологического процесса первой стадии обогатительной фабрики Полтавского ГОКа: 1 – входные конвейеры; 2 – шаровые мельницы МШЦ 45х60; 3 – спиральный классификатор; 4 – приемный зумпф; 5 – управляемые водяные задвижки мельницы; 6 – управляемые водяные задвижки классификатора



Рисунок 2 – Цеховой контрольный щит одной технологической секции обогатительной фабрики

Пески классификатора поступают в приемные полости мельниц через раздваивающийся пульповод, причем равномерность загрузки мельниц песками не гарантируется и технологическая статистика это подтверждает.

Готовый продукт сливается в приемный зумпф, откуда проходит через пульподелитель на магнитные сепараторы второй стадии. Далее технологический процесс предусматривает рекурсивное прохождение разделенного сырья через магнитные дешламаторы, комплексы шаровые мельницы–гидроциклоны и магнитные сепараторы третьей стадии. В зависимости от текущего выходного качества концентрата и требований к процентному содержанию железа в конечном продукте (окатышах), концентрат подается или в цех производства окатышей, или на участок флотационной доводки. Пустая порода (хвосты) перекачивается в хвостохранилище.

Основой АСУТП фабрики являются программируемые логические контроллеры фирм Mitsubishi (серия Q) и Siemens (серии SIMATIC S7). К ним подключены элементы нижнего уровня управления, к которым можно отнести:

- коммутационная аппаратура, защиты и системы управления возбуждением синхронных электроприводов мельниц;
- коммутационная аппаратура неуправляемых асинхронных электроприводов (в т. ч. приводов бункерных затворов);
- частотно-управляемые приводы конвейеров и насосов;
- датчики температуры подшипников мельниц, классификатора и их приводных двигателей;
- датчики активной мощности приводов мельниц;
- конвейерные весы;
- управляемые водяные задвижки;
- расходомеры и датчики давления воды;
- датчики уровня пульпы;
- ареометрический индикатор плотности слива классификатора;

- датчики забивки течек.

Цеховой контрольный щит одной из технологических секций обогатительной фабрики ПГОКа показан на рис. 2, на него вынесены индикаторные и операторские панели вышеперечисленного оборудования. При получении аппаратного разрешения через SCADA-систему главного мельника можно осуществлять ручное индивидуальное управление оборудованием прямо из цеха.

Следует отметить, что качественный анализ продукта на промежуточных и конечной стадиях обогащения производится лабораторным способом раз в два часа.

Оперативный контроль и управление двумя обогатительными фабриками осуществляется специалистами верхнего уровня АСУТП. В настоящее время не реализован автоматический режим принятия управленческих решений и координации работы обогатительных секций.

Отдельно следует выделить применяемый комбинированный способ определения моментов времени загрузки шаров – по гранулометрическому составу выходного продукта, учету периодов загрузки и трендам активной мощности приводов мельниц. По мере износа шаров и постоянной подачи руды и воды наблюдается снижение активной потребляемой мощности.

Также на ПГОКе имеется опыт использования специальных приборов для автоматического контроля гранулометрического и плотностного состава пульпы в реальном времени, но их низкая приспособленность под условия обогатительной фабрики привела к выходу из строя.

К актуальным задачам, которые не решены в полной мере можно отнести:

- определение степени загрузки мельниц;
- определение величины циркуляционной нагрузки;
- обеспечение равномерной загрузки мельниц;
- повышение производительности комплекса шаровые мельницы–спиральный классификатор без



снижения качества и уменьшение удельных энергозатрат;

- автоматизация измерения параметров выходного продукта классификатора;

- автоматизация процесса принятия оптимальных решений по оперативному управлению в соответствии с текущими свойствами руды и загрузкой мельниц.

*Современные информационные технологии в обогащительном производстве.* Такие важные вопросы не могли обойти вниманием и ведущие производители измельчительно-обогащительного оборудования. Фирма Metso [5], оборудование которой также используется на Полтавском ГОКе, декларирует ряд технологий обработки информации и автоматизированного управления. В начале 1990-х появились комплексные пакеты программ, подобные Metso-ProSim®, которые позволяли моделировать баланса заполнения мельниц и других установок. Модели баланса заполнения основаны на исследовании рабочих процессов и эмпирических моделях.

Программа Metso-ProSim® представляет собой динамический имитатор, который можно использовать для выбора объёмов складских помещений с целью минимизации простоев и устранения слабых мест технологического процесса. В перспективах компания планирует создать виртуальную установку для анализа, оптимизации техпроцесса и обучения. Исследуется вопрос оптимизации техпроцесса и выбор наилучших условий эксплуатации для шаровой мельницы.

Реализованы этапы настройки контуров управления (например, нормы выборки, фильтрация, постоянные контроллера и прочее), калибровки приборов технологической зоны и выполнения большого числа проверок для обеспечения того, чтобы система работала точно по расчету. Компания Metso разработала контроллер, который автоматически адаптируется к любым изменениям режимов работы, и обеспечивает эффективное управление, если сравнивать с базовым пропорционально-интегральным регулятором с предварением (P&ID). Развита технология упреждающего регулирования и измерений. Программное обеспечение Optimizing Control System (OCS) «Оптимизирующая система управления» построена вокруг ядра искусственного интеллекта (т.е. Embedded Fuzzy Logic – «Экспертной системы с встроенной нечеткой логикой»). Набор правил специфичен для каждой прикладной программы, и он эффективно берёт на себя большую часть принимаемых решений по установкам от оператора.

Эта и другие фирмы, специализирующиеся в области горно-металлургического производства, стремятся комбинировать искусственный интеллект и глубокое знание технологического процесса в виде математических моделей, создавая экспертные системы управления на базе моделей Model-based Expert Control (МВЕС). Уже созданы пакеты программ Model Predictive Control («Управление с прогнозированием по моделям»).

Параллельно разрабатываются технологии усовершенствованных измерений, в том числе и акустических. Программы VisioTruck™, VisioRock™, VisioPellet™ являются инструментами технического

зрения для непрерывной оценки гранулометрического состава материала, выгружаемого с самосвалов, на конвейерах или разгружаемого с питателей. Программа VisioBall™ подсчитывает шары, добавляемые в мельницу. Программа AudioMill™ оценивает рабочее состояние мельниц на основе акустического анализа.

Известно множество интеллектуальных систем принятия решений, применяемых на горно-рудных предприятиях Украины. Наиболее известными из них являются: экспертные системы PROSPECTOR, MUD, LITHO, ELAS, DRILLING ADVISOR, DIPMETER ADVISOR, «Saturn® Data International». Однако утверждать о полном решении всех задач начальной стадии обогащения нельзя.

В отечественных научно-исследовательских работах [3, 4, 7] рассматриваются вопросы построения и применения математической предикторной модели (в т. ч. с нечетким представлением неопределенностей) для прямого и обратного прогнозирования в составе интеллектуальной системы управления обогащения железной руды. Также приводится структура интеллектуальной системы управления на основе сочетания методов классификационного и инверсно-прогнозирующего нейроуправления. Представлены принципы и алгоритмы оптимизации на основе генетических алгоритмов.

*Анализ технологических процессов и режимов работы головных мельниц.* Если при работе шаровой мельницы периодического действия отбирать через определённые интервалы времени пробы измельченного материала, определяя в них массу крупного класса и результаты представить в виде графика, то получим кривые, изображающие зависимость массы  $Q$  остатков крупного класса от продолжительности измельчения  $t$ , в соответствии с рис. 3. Эти графики показывают закономерное уменьшение количества крупного класса в измельченном материале и имеют общую для всех руд форму гиперболической кривой, что указывает на существование устойчивой связи между количеством недоизмельченного материала и временем измельчения. Вид кривых зависит от свойств измельчаемого материала и условий измельчения.

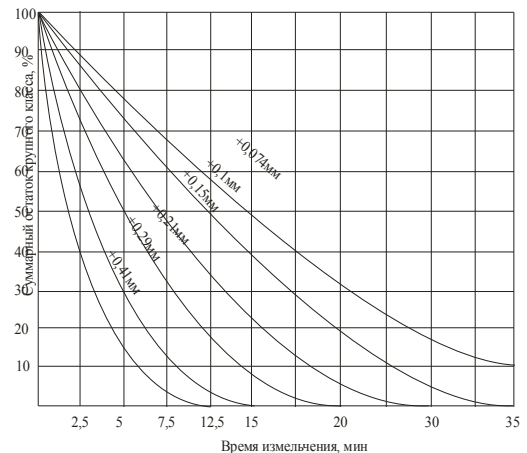


Рисунок 3 – Зависимость массы крупного класса в разгрузке мельницы от времени измельчения

Можно предположить, что скорость измельчения (скорость убывания крупного класса) пропорцио-

нальна масе недоизмельчённого крупного класса, находящегося в данный момент в мельнице.

Одним из важных управляющих воздействий, при помощи которого может изменяться крупность продукта на выходе мельницы, является расход воды в мельницу. Густая пульпа (с большим содержанием твёрдого) проходит через мельницу медленнее, чем жидкая. Поэтому при малом расходе воды руда дольше находится под ударным и истирающим воздействием шаров, и готовый продукт получается более тонким. Наоборот, при разжижении пульпы содержание мелких классов в разгрузке мельницы начинает падать.

Чем больше циркулирующая нагрузка, тем меньшую долю составляет в ней готовый продукт при одной и той же эффективности классификации.

Одной из главных особенностей измельчительного агрегата является экстремальная связь между производительностью мельницы по готовому классу и циркуляционной нагрузкой, в соответствии с рисунком 4.

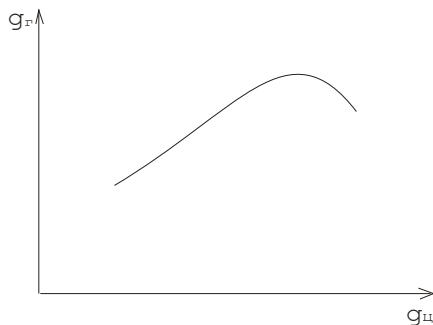


Рисунок 4 – Связь между производительностью и циркуляционной нагрузкой ( $g_g$  – производительность мельницы по готовому классу;  $g_{ц}$  – циркуляционная нагрузка)

Так как производительность мельницы прямо пропорциональна содержанию в ней крупного класса, технологическое значение циркулирующей нагрузки заключается в том, что она позволяет увеличить содержание крупного продукта в мельнице.

При работе в замкнутом цикле уменьшается переизмельчение материала, готовый продукт, оставаясь кондиционным по размеру максимального предельного зерна, в среднем получается крупнее, средний диаметр его увеличивается, а удельная поверхность уменьшается.

Полезна только та часть циркулирующей нагрузки, которая представлена крупным классом зерен, так как именно эти зерна подлежат измельчению и дают вновь образованный готовый продукт. Добавка крупной части циркулирующей нагрузки к исходному материалу увеличивает количество комбинированной загрузки в мельницу, повышает скорость прохождения материала, сокращая, таким образом, продолжительность измельчения и уменьшая переизмельчение материала, что способствует повышению содержания крупного класса в материале, находящемся в мельнице, и увеличению её производительности. Добавка готового продукта к комбинированной загрузке мельницы, вследствие несовершен-

ства классификации, хотя и увеличивает скорость прохождения материала через мельницу, в целом отрицательно влияет на работу мельницы. Проходя повторно через мельницу, готовый продукт переизмельчается, поглощая бесполезно энергию и затрудняя дальнейшие операции его обогащения.

Повышение средней крупности руды, поступающей в мельницу, или увеличение твёрдости приводит к росту циркулирующей нагрузки, что при неизменной величине исходного питания мельницы рудой приводит к её переполнению. В случае понижения средней крупности и твердости циркулирующая нагрузка снизится и при неизменном питании мельницы рудой резерв производительности её не будет использован.

Основным показателем процесса классификации принято считать средний диаметр твёрдых частиц, выделяемых в слив. Этот показатель зависит от плотности пульпы в сливе; чем больше плотность слива, тем больше количество крупных частиц уходит вместе со сливом, т.е. возрастает средний диаметр твёрдых частиц.

Работа классификатора регулируется количеством подаваемой в классификатор воды, в зависимости от чего меняется плотность пульпы на сливе классификатора. Любое увеличение эффективности классификации даёт экономию в расходе энергии на измельчение благодаря уменьшению количества переизмельчаемого материала и позволяет использовать большую часть энергии, необходимой для вращения барабана мельницы, для измельчения некондиционных крупных зерен. Следует учитывать, что изменение количества песков приводит к дополнительному переходному процессу, вызванному изменением плотности слива в зависимости от количества и гранулометрического состава поступающей в классификатор пульпы.

Переходной процесс шаровой мельницы, происходит при подаче воды в классификатор, в соответствии с рис. 5.

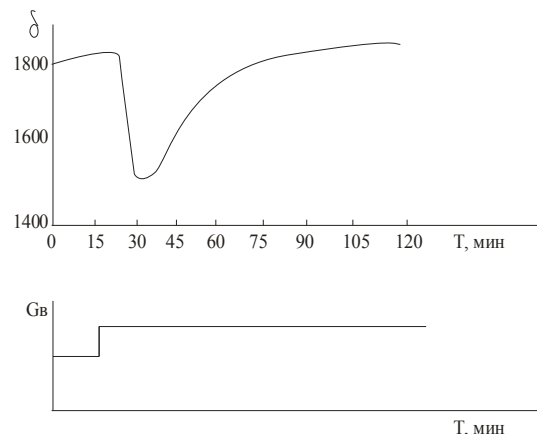


Рисунок 5 – Переходной процесс по каналу: количество подаваемой в классификатор воды – плотность пульпы ( $G_v$  – количество подаваемой в классификатор воды;  $\delta$  – плотность пульпы)

На рисунке видно, что измельчительный агрегат, работающий в замкнутом цикле с классификатором, имеет сравнительно сложную передаточную функ-

цію, которую можно получить путём структурных преобразований замкнутой схемы измельчительного цикла.

Характер кривой изменения плотности можно объяснить следующим образом: при увеличении подачи воды происходит кратковременное снижение плотности пульпы вследствие её разжижения. В это же время начинается процесс увеличения циркуляционной нагрузки и медленное увеличение плотности. Переходной процесс длится более часа.

Колебания плотности слива классификатора в значительной мере сказываются на изменении величины циркулирующей нагрузки классификатора. Экспериментально установлено, что изменение плотности слива классификатора на 1% вызывает изменение количества циркулирующих песков до 30%.

В работах [6–8] описана концепция автоматизации управления процессом измельчения, позволяющая, за счет стабилизации и оптимизации рабочих режимов технологического оборудования, увеличить производительность при одновременном снижении энергопотребления и повышении качества выходного продукта и, тем самым, обеспечить существенный экономический эффект. Основные положения концепции подтверждены результатами опытной промышленной эксплуатации проектов автоматизации, реализованных на ряде обогащательных фабрик. Наиболее типичные задачи автоматизации, решаемые посредством введения контуров стабилизации соответствующих технологических параметров в порядке уменьшения их распространённости:

- стабилизация расхода руды в мельницу;
- стабилизация соотношения «руда-вода» посредством подачи воды в мельницу;
- стабилизация плотности слива классифицирующего аппарата (классификатора или гидроциклона) подачей дополнительной воды в классификатор или ЗУМПФ.

В 95 % случаев автоматизация процессов измельчения этим и ограничивается.

*Стабилизация расхода руды.* Эта задача является безусловно важной, без нее крайне затруднительно получение какого-либо эффекта, поэтому 20–30 лет назад именно с нее начиналась автоматизация измельчения. Но реальная производительность мельницы меняется из-за постоянного изменения свойств подаваемой руды и других факторов, что заставляет оператора менять задание по руде, подстраиваясь под изменяющиеся условия. Постоянно изменяющееся объемное заполнение мельницы рудой заставляет оператора держать производительность мельницы ниже оптимальной из-за опасения аварийной перегрузки, связанной с переполнением мельницы. То есть поддержание стабильной подачи руды не позволяет максимально использовать текущую производительность мельницы и в целом приводит к снижению общей производительности и увеличению энергозатрат.

Суточный срез процесса одной из головных мельниц (рис. 6) [8] показывает, что стабилизация подачи руды не устраняет существенных колебаний

объемного заполнения мельницы (по данным прибора вибро-акустического контроля на графике – ВАЗМ) и процента выхода готового класса (на графике – ПИК). Система явно теряет порядка 10–15 % производительности из-за того, что оператор не рискует поднимать производительность из-за опасений перегрузки. (Здесь и далее на графиках ось абсцисс – время, ось ординат – технологические параметры).

*Поддержание соотношения «руда-вода».* Этот контур стабилизации, безусловно, улучшает режимы измельчения. Однако при работе в замкнутом цикле, когда к исходной руде добавляется циркуляционная нагрузка, объем которой может в несколько раз превышать объем загружаемой руды, стабилизация плотностных режимов нарушается из-за возможных колебаний циркуляционной нагрузки в несколько раз. На фоне относительно стабильной подачи руды объем циркулирующей нагрузки изменяется в несколько раз (рис. 7).

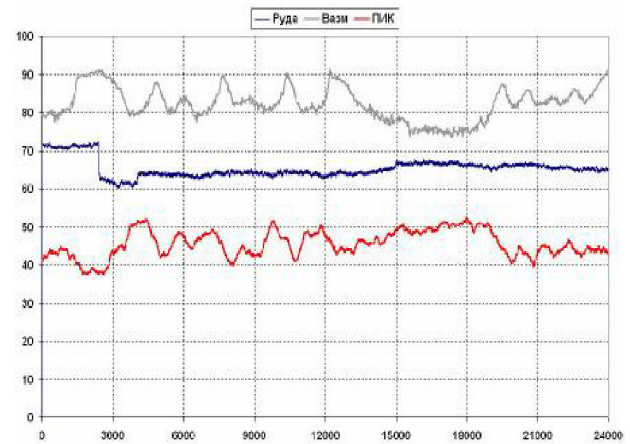


Рисунок 6 – Суточный срез процесса головной мельницы

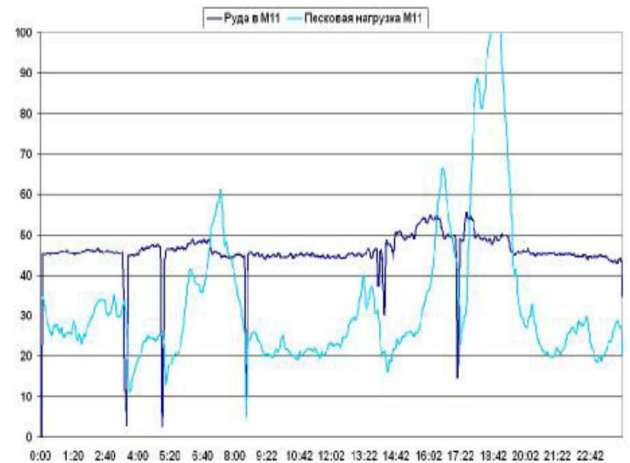


Рисунок 7 – Соотношение руды и песковой нагрузки мельницы

Ограниченность такого подхода заключается в том, что в зависимости от качества текущей руды для оптимизации процесса должны изменяться также и плотностные режимы.



Стабілізація щільності слива класифікуючого апарату. С одної сторони наличие данного контура стабілізації дозволяє підтримувати потрібні щільнісні режими дальніших стадій обогачення. Стабільність щільності важна для магнітних, гравітаційних і флотацийних методів обогачення. Но стабілізувати грансостав слива класифікатора цим контуром можна з більшими оговорками.

На рис. 8 [8] приведено масив даних (місячний срез), відповідуючих одночасним вимірянням щільності слива гідрокілона і виходу готового класу  $-0,074$  мм для умов обогачувальної фабрики. Не спостерігається однозначного відповідності щільності і грансоставу.

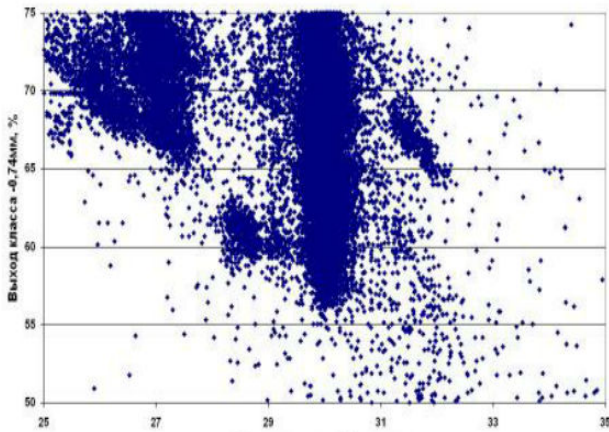


Рисунок 8 – Місячний срез щільності слива гідрокілона і виходу готового класу

Одним з методів, дозволяючих відслідкувати в якій-то мірі змінюючіся властивості руди і умови дроблення, є контроль об'ємного заповнення млиниці рудою. Підтримуючи об'ємне заповнення на максимально можливому рівні, можна досягти наступних результатів:

- во-первых, використовувати млиницю в режимі максимально можливої в даних умовах продуктивності;
- во-вторых, знизити абсолютний і удільний витрати електроенергії, що пояснюється відомим положенням утверджує, що мінімум енергії руйнування досягається при максимумі можливого об'ємного заповнення;
- в-третьих, стабілізація об'ємного заповнення в певній ступені стабілізує циркуляційну навантаження. Це пояснюється тим, що остання складається з двох частин: циркуляційного об'єму, знаходящегося в млиниці і об'єму, знаходящегося в контурі класифікуючого апарату. Стабілізація циркуляційної навантаження в певній ступені покращує стабілізацію щільнісного режиму при підтриманні співвідношення «руда-вода».

Якщо ж перейти на контур «об'ємне заповнення-вода» (*твердое к жидкому*), то стабілізація щільнісних режимів дроблення буде підтримуватися з більш високою точністю.

Другий спосіб, покращуючий роботу дробильних комплексів – перехід до управління непо-

средственно по измеренному грансоставу измельченного продукта, что наиболее адекватно.

Учитывая, что на грансостав влияют многие факторы, может быть предложено комбинированное управление, когда заданный выход готового класса при текущей производительности обеспечивается регулированием водных режимов млиницы и класифікатора, а при достижении ограничений – изменением текущей производительности.

Прямые методы контроля об'ємного заповнення млиниці рудою відсутні. Проблема вирішується застосуванням віброакустичних інтелектуальних аналізаторів (типу ВАЗМ-1), також для млиниць самодроблення достатньо ефективний радіоізотопний контроль.

Непрерывный контроль гранулометрического состава пульпы возможен разными методами – оптическим, седиментационным (по кривой осаждения твердого в пульпе), непосредственно механическим. Прибор устанавливается непосредственно на зеркале класифікатора, в желобе, трубопроводе и измеряет процент выхода заданного класса в реальном масштабе времени.

По сравнению с режимом стабілізації витрати руди, робота в режимі стабілізації об'ємного заповнення млиниці рудою на рівні близькому до оптимального вдається підняти середню продуктивність на 10–15 % за рахунок того, що підтримувався режим максимально можливої продуктивності в поточних умовах. Одночасно на те ж 10–15 % скоротилася удільна витрати електроенергії.

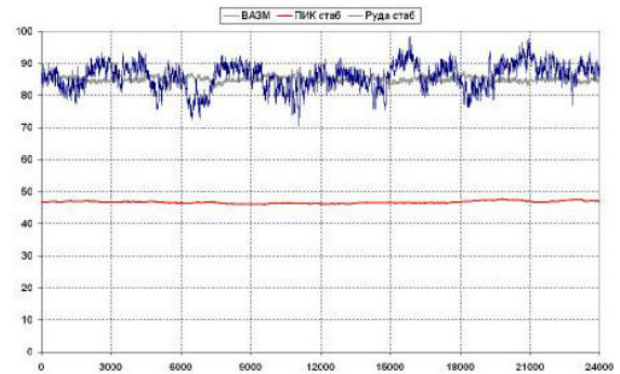


Рисунок 9 – Результати стабілізації об'ємного заповнення і грансоставу

Однако, хотя стабілізація умов дроблення по об'ємному заповненню дозволила приблизно на 10 % зменшити коливання виходу готового класу  $-0,074$  мм, но этого явно недостаточно для стабілізації грансоставу на заданном рівні, вихід готового класу змінювався від 45 до 75 %.

Поэтому следующий шаг заключался в стабілізації грансоставу на потрібному рівні подачі додаткової води в класифікатор. Результати приведені на тренді (рис. 9). Середньоквадратичне відхилення потрібного відсотка виходу готового класу зменшилося майже в 10 раз, при цьому додатково майже на 6 % збільшилася производи-

тельность по исходной руде за счет снижения избыточной циркуляционной нагрузки.

Оптимизация переработки по объемному заполнению может обеспечить увеличение на 2–4 % переработки по руде при одновременном повышении выхода готового класса до 2 % и снижении удельного расхода электроэнергии на 1,5–2,5 % [8].

Наличие гранулометра в системе позволяет иметь постоянную информацию о производительности комплекса по готовому классу. Выбор объемного заполнения осуществляется на основе требуемого значения по выходу готового класса. На рис. 10 [8] приведен месячный срез данных, соответствующих одновременному измерению условной загрузки и процента выхода готового класса по гранулометру. Исходя из технологических соображений обеспечения требуемого выхода готового класса на уровне 45% целесообразно выбирать уровень стабилизации объемного заполнения на уровне 85 %.

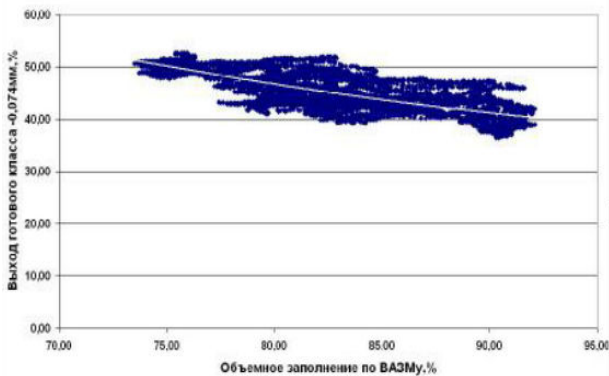


Рисунок 10 – Результаты измерения условной загрузки и процента выхода готового класса

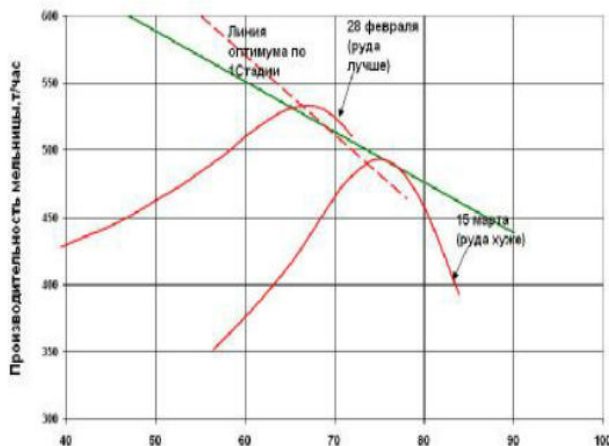


Рисунок 11 – Зависимости производительности мельницы от объемного заполнения для условно «хорошей» и «плохой руды»

В процессе исследований выяснилось, что выбор требуемого объемного заполнения зависит от текущих свойств руды, подаваемой на переработку.

На рис. 11 приведены зависимости производительности мельницы от объемного заполнения для условно «хорошей» и «плохой руды», построенные на основе суточных трендов.

Наиболее оптимальными являются режимы стабилизации, удерживающие систему на линии, соединяющей вершины соответствующих кривых.

**ВЫВОДЫ.** Несмотря на большое количество работ, затрагивающих вопросы идентификации режимов работы обогатительного оборудования и оптимального или интеллектуального управления первичными стадиями обогащения, их широкого внедрения не наблюдается. АСУТП несет, в основном, контрольно-информационные функции и ориентированы на принятие решений опытным человеком-оператором. Причины этого следующие:

- сложность инструментального определения степени загрузки мельниц;
- сложность оценки величины циркуляционной нагрузки;
- неопределенность в параметрах качества, твердости и обогащаемости руды;
- сложное взаимное влияние всех факторов технологического процесса друг на друга и отсутствие формального описания этих процессов, достаточного для программного поиска оптимального решения;
- меры по повышению производительности не эффективны без обеспечения равномерной загрузки мельниц и ведут к перегрузкам и аварийным остановкам.

Необходимо разрабатывать свои надежные и недорогие способы определения загрузки мельниц, объема циркуляционной нагрузки, качества руды и шаров. Это возможно при развитии информационных технологий интеллектуального анализа совмещенных данных прямых измерений доступных величин и статистики.

Моделирование процессов в измельчительно-классифицирующем оборудовании и их идентификация на основе автоматизированного анализа даталоджинга является перспективным направлением и позволит решить задачу косвенными измерениями с помощью имеющихся надежных измерительно-преобразовательных систем.

Концептуальные модели, описывающие процессы измельчения и классификации, должны учитывать сложнзависимые факторы:

- изменение качества руды требует изменения уставок плотности слива классификатора;
- стабилизация соотношения руда–вода в мельницах не достаточна для обеспечения оптимальности процесса;
- выход готового класса не жестко зависит от плотности слива, на него влияет ряд возмущающих факторов;
- объемное заполнение мельниц следует выбирать на основе гранулометрического контроля в реальном времени и оценки производительности по готовому классу;
- оптимальное объемное заполнение мельниц также зависит от качества руды (чем руда хуже, тем больше должно быть заполнение);
- циркуляционная нагрузка сильно влияет на объемное заполнение мельниц и качество их работы.

Модели обуславливают разработку специальных методов настройки и развитие методов оптимизации управления на их основе с учетом сложных критериев:



- крайне желателно стабилизировать расход руды и плотность слива классификатора, это важно для последующих стадий технологического процесса;
- нельзя допускать перегрузку электроприводов мельниц;
- удельные энергозатраты снижаются с ростом загрузки мельниц и уменьшением переизмельчения.

Дальнейшее повышение эффективности первичных процессов обогащения однозначно связано с созданием интеллектуальных информационных технологий, позволяющих автоматизировать идентификацию состояния оборудования, учесть известные зависимости и выполнить поиск оптимальных решений с учетом имеющихся неопределенностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко П.Ф. Технологические методы повышения эффективности работы дробильно-измельчительного оборудования путем оптимизации его технического обслуживания и ремонта: дис. ... канд. техн. наук. – Белгород, 2005. – 239 с.
2. Купін А.І. Інтегрована система управління процесами першої стадії збагачення залізної руди з мінімальними втратами у хвостах: автореф. дис. канд. техн. наук. – Кривий Ріг, 2001. – 20 с.
3. Купін А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології. – Кривий Ріг : Видавництво КТУ, 2008. – 204 с.

4. Дудников Е.Е., Нгуен Ми, Чинакал В.О. Применение интеллектуальных средств поддержки оперативного управления горнодобывающим предприятием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lab18.ipu.ru/projects/conf2009/3/31.htm> (дата обращения: 07.10.14)

5. Совершенствование технологий Metso по обогащению полезных ископаемых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-media.ru/ru/article/obogach/3052-sovershenstvovanie-tehnologii-metso-po-obogashcheniyu-poleznykh-iskopaemykh> (дата обращения: 02.10.14)

6. Азарян А.В. Обобщенный алгоритм принятия решений для управления первой стадией обогащения магнетитовых кварцитов // Вісник Криворизького національного університету: збір. наук. праць. – Кривий Ріг, 2012. – Вип. 30. – С. 121–125.

7. Азарян А.В. Гарантированное управление технологическим процессом обогащения руды на основе fuzzy-системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2012/REKS612/Azaryan.pdf> (дата обращения: 02.10.14)

8. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии / Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П., Найденов А.П. // ОАО «Союзцветметавтоматика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.scma.ru/Articles/Ulitenko\\_Avtomatik.pdf](http://www.scma.ru/Articles/Ulitenko_Avtomatik.pdf) (дата обращения: 07.10.14)

### INFORMATION TECHNOLOGIES ACTUAL DEVELOPMENT FOR THE OPTIMIZATION OF THE FIRST STAGE PGOK ENRICHMENT PLANT

I. Konoh, V. Nayda

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University  
ul. Pervomavskava, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: vaha303@yandex.ru

Work is devoted to the development of information technologies for decision support systems in the operational management of the initial stages of enrichment, which includes technological complexes ball mills - spiral classifier. Considered priority areas for research of companies dealing with the production of mining equipment and automatic control systems. The known model and depending on the first stage of enrichment and use of intelligent control technology, indicated promising ways to organize processing of information and the need for their inclusion in the conceptual model of the complex ball mills - spiral classifier. Conceptual modeling of technological processes allow to specify the structure and parameters of fuzzy system identification equipment operating conditions and develop algorithms for decision-making on the optimal surgical management. The use of such systems will improve the performance and quality of the first stages of iron ore concentration and not to allow overloading of the ball mills, to determine the optimal parameters of loading ore and balls, taking into account the current characteristics of the ore.

**Key words:** concentrating production, ball mill, fuzzy model, identification modes..

#### REFERENCES

1. Boyko P.F. (2005) *Tehnologicheskie metodyi povysheniya effektivnosti raboty drobilno-izmelchitel'nogo oborudovaniya putem optimizatsii ego tehniceskogo obsluzhivaniya i remonta* [Technological methods of increase of overall performance crushing и измельчительного the equipment by optimization of its maintenance and repair]: dis. candidate of technical sciences, Belgorod, Russia.
2. Kupin, A.I. (2001) *Integrated Control System during the first stage of enrichment of iron ore with minimal loss in their tails: Abstract dissertations candidate technical sciences*. Krvvyi Rih, Ukraine.
3. Kupin, A.I. (2008). *Intelektualna Identifikatsiya ta keruvannya v umovah protsesiv zbagachuvальноi tehnologiyi* [Intelligent Identification and Control of Process in Concentration Technologies], KTU, Kryvyi Rih, Ukraine.
4. Dudnikov E.E., Mi Nguven, Chinakal V.O. "Application of intelligent support for operational management of the mining sector", available at:

<http://lab18.ipu.ru/projects/conf2009/3/31.htm>

5. Improved technologies Metso on mineral processing, available at: <http://www.mining-media.ru/ru/article/obogach/3052-sovershenstvovanie-tehnologii-metso-po-obogashcheniyu-poleznykh-iskopaemykh>.

6. Azarian A.V. (2012) "Generalized decision algorithm for the management of the first stage of enrichment of magnetite quartzite", *Transaction KTU*, Kryvyi Rih, no. 30, pp. 121–125.

7. Azarian A.V. Guaranteed control of the process of ore based on fuzzy-system, available at: <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2012/REKS612/Azaryan.pdf>

8. Ulitenko K.J., Sokolov I.V., Markin R.P., Naidenov A.P. "Process Automation grinding enrichment and metallurgy", available at: [http://www.scma.ru/Articles/Ulitenko\\_Avtomatik.pdf](http://www.scma.ru/Articles/Ulitenko_Avtomatik.pdf).

Стаття надійшла 25.09.2014.