

УДК 681.5.015:622.778

© В.И. Дмитриев

## **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ**

© V. Dmitriev

## **IDENTIFICATION OF TECHNOLOGICAL AND INFORMATION CYCLE CHARACTERISTICS ORE GRINDING**

С позиции системного подхода выполнена идентификация характеристик и дана оценка влияния производительности по пескам рециркулирующего потока в замкнутом цикле измельчения руды на процессы измельчения и классификации. Обоснованы важность и пути использования информационных характеристик.

З позиції системного підходу виконана ідентифікація характеристик і дана оцінка впливу продуктивності по пісках рециркулюючого потоку в замкнутому циклі подрібнення руди на процеси подрібнення і класифікації. Обґрунтовані важливість і шляхи використання інформаційних характеристик.

Автоматизация процессов рудоподготовки в технологии обогащения руды основана на использовании технологических закономерностей процессов измельчения и классификации и технических характеристиках применяемого оборудования в структуре замкнутых циклов измельчения (ЗЦИ).

В известной литературе [1, 2] рассмотрено множество вариантов построения систем автоматического контроля и управления, которые в своём большинстве могут обеспечить управление входными материальными потоками, но практически не учитывают особенностей и характеристик технологических процессов, изменение характеристик исходной руды и взаимосвязей в процессах измельчения и классификации в ЗЦИ, что снижает их эффективность.

Известные, в последнее десятилетие, попытки применить современные теории и методы управления, например [3,4]: ситуационное управление, сети Петри, интеллектуальное и нечёткое управление и т.д., являются единичными разработками и не привели к их широкому использованию, так как не учитывают технологических особенностей и влияния рециркулирующего потока недоизмельчённой руды и работы ЗЦЦ в обеспечении требуемой крупности измельчённой руды на сливе классификатора. Применяемые средства контроля параметров ЗЦИ обеспечивают только косвенную оценку режимам и работы, ввиду отсутствия обоснованности их применения для оценки процессов измельчения и классификации.

Эффективное управление технологическими процессами обеспечивается при наличии адекватных технологических представлений процессов, их математического описания – т.е. идентификации, использовании закономерностей и взаимосвязей между отдельными параметрами и факторами объекта автоматизации для поиска информационных характеристик.

**Цель данной работы** состоит в идентификации технологических характеристик и зависимостей в процессах измельчения и классификации в ЗЦИ, оценке их информативных особенностей при автоматизации процессов рудоподготовки, в составе технологии обогащения.

Научная новизна и практическая значимость состоит в выявлении и анализе зависимостей и характеристик процессов измельчения и классификации, анализе влияния рецикла на эти процессы, обосновании параметров контроля при автоматизации процессов рудоподготовки.

**В технологии обогащения руды** обоснован технико-экономический критерий управления технологической линией [2, с. 18] :

$$\begin{aligned} Q_0 &\rightarrow \max \\ \beta_{k_2} &\leq \beta_k \leq \beta_{k_1} \\ \beta_{xв} &\leq \beta_{xв \text{ доп.}} \end{aligned} \quad (1)$$

который означает, что в технологической линии целесообразно поддерживать максимальную производительность по перерабатываемой (исходной) руде, обеспечивая режимы обогащения при качестве концентрата  $\beta_k$  на выходе в пределах  $(\beta_{k_2}, \beta_{k_1})$  и допустимых потерях в хвостах  $\beta_{xв}$  не более  $(\beta_{xв \text{ доп.}})$ . Исходя из этого предложен критерий, как декомпозиция (1), для 1-ой стадии рудоподготовки:

$$\begin{aligned} Q_0 &\rightarrow \max \\ \gamma_{11} &< \gamma_1 \leq \gamma_{12}, \end{aligned} \quad (2)$$

который обуславливает, что при максимальной производительности  $Q_0$  крупность измельчённой руды на сливе классификатора 1-ой стадии должна быть более  $\gamma_{11}$  (исключает переизмельчений) и меньше  $\gamma_{12}$  (исключает недоизмельчение) при которых на последующей стадии сепарации получают максимальное извлечение ценного минерала и не превышают допустимые потери в хвостах.

Замкнутый цикл измельчения (ЗЦИ), состоящий из измельчительного агрегата - барабанной мельницы и классифицирующего аппарата - спирального классификатора, получил наибольшее распространение в технологии измельчения материалов и подготовки руд к обогащению. В качестве транспортирующего агента в большинстве случаев применяется вода, которая одновременно обеспечивает и классификацию измельченного материала, поэтому рассматриваемые далее ЗЦИ представляют мокрое измельчение. Анализ известных технологических схем рудоподготовки [3] показал, что ЗЦИ в составе этих схем составляют более 50 процентов.

В составе ЗЦИ широко применяются шаровые мельницы типов МШР, МШЦ, стержневые мельницы типов МСЦ. В последние 15 лет широкое применение находят мельницы самоизмельчения типов ММС и рудногалечного из-

мельчения типов МРГ. Типы наиболее распространенных спиральных классификаторов - КСП и КСН (соответственно погруженные и непогруженные).

Функциональная схема ЗЦИ представлена на рис.1, где обозначены потоки исходной руды  $Q_0$ , слива мельницы  $Q_M$ , рециркулирующих песков  $Q_B$ , воды в песковый желоб и далее в барабан мельницы  $Q_{BM}$ , воды в классификатор  $Q_{BK}$ , готового (измельченного) продукта на сливе классификатора  $Q_G$ .

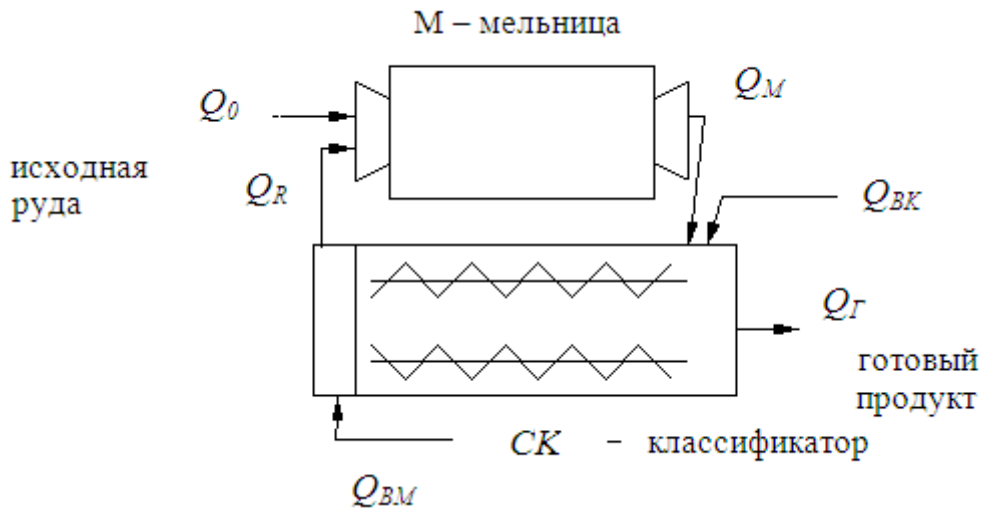


Рис. 1. Функциональная схема замкнутого цикла измельчения (ЗЦИ)

Таким образом, ЗЦИ может в общем случае быть представлен как технологический объект, на вход которого подаются потоки исходной руды и воды, а на выходе получается поток готового продукта в виде пульпы - смеси частиц измельченного материала в воде. Кроме того, в шаровые или стержневые мельницы подаются и соответствующие измельчающие тела, а в корыто классификатора - дополнительный поток воды. Замкнутый цикл измельчения является сложным объектом и выполняет две технологические операции: измельчение исходного материала (руды) в барабане мельницы и его классификацию в спиральном классификаторе на "готовый"  $Q_G$  (измельченный до заданной крупности  $d_r$ ) и недоизмельченный продукты  $Q_R$ . Последний представляет собой рециркулирующий поток материала, возвращаемого на повторное измельчение. Таким образом, рециркулирующий поток является результатом указанных двух технологических операций и может быть оценкой их эффективности как при контроле, так и при управлении ЗЦИ.

ЗЦИ в составе технологических линий обогащения предшествует обогательному аппарату в составе многостадийных линий рудоподготовки и обогащения может применяться несколько (до 3-х) ЗЦИ.

Основной характеристикой работы ЗЦИ, как известно, является производительность по исходному материалу при измельчении до заданной крупности [3,4]. Основными факторами, определяющими производительность являются: свойства измельчаемого материала, которые включают вещественный состав и

физико-механические свойства; конструктивные параметры аппаратов и вспомогательного оборудования; технические и эксплуатационные условия работы

Для управления и поддержания заданных технологических режимов работы ЗЦИ в нормальных условиях эксплуатации обычно используют факторы /4/ составляющие технические и эксплуатационные условия работы - расход исходной руды, расходы воды в мельницу и классификатор, производительность (расход) по рециркулирующим пескам классификатора (циркулирующей нагрузке), соотношение расходов руды и воды (Т:Ж) на входе мельницы, степень заполнения мельницы измельчаемым материалом и измельчающими телами, плотность пульпы на сливах мельницы и классификатора. При этом только три из них - расход руды и воды в мельницу и расход воды в классификатор могут оперативно изменяться. Четвертый фактор - степень заполнения шарами может изменяться дискретно, порциями, обычно не чаще одного раза в сутки. Остальные являются следствием или комбинацией этих четырех факторов.

Среди возмущений на работу ЗЦИ оказывают следующие факторы:

- вещественный состав исходной руды;
- физико-механические свойства исходной руды;
- конструктивные факторы.

Для оценки работы ЗЦИ и составляющего оборудования используют показатели работы как данного ЗЦИ так и технологической линии обогащения, т.к. все изменения в ЗЦИ влияют на результат работы технологической линии получения концентрата (обогащенная руда).

Непосредственно работа классификатора характеризуется:

- производительностью по пескам  $Q_R$ ;
- содержанием “готового” класса крупности в песках и в сливе  $Y_{п}$  и  $Y_{с}$ ;
- длительностью межремонтного периода  $T_p$ ;
- отношением расхода песков  $Q_R$  к расходу исходной руды  $Q_0$ ;
- другими факторами.

Удельный вес затрат в процессах рудоподготовки - измельчения и классификации в общих затратах по известным данным технологии обогащения является наибольшим и составляет более 50%. Все мероприятия улучшающие показатели работы ЗЦИ дают существенный экономический эффект всего процесса обогащения.

В структуре ЗЦИ операция классификации требует значительно меньше затрат сравнительно с измельчением, но технологически, в условиях нормальной работы, она может приводить к изменению затрат на  $\pm 15 - 35$  процентов собственно процесса измельчения. Поэтому эффективность процесса и работы оборудования классификации оценивается по показателям работы ЗЦИ и технологической линии обогащения.

Технологический рецикл в составе ЗЦИ на основе классифицирующего аппарата оказывает комплексное влияние на многие показатели процессов рудоподготовки и обогащения в целом. Его системные исследования не проводились, однако известны отдельные сведения по его связи с показателями техно-

логических процессов и особенностям его влияния на процессы управления технологией рудоподготовки и обогащения.

В работе [5] приведены комплексные исследования ЗЦИ, оценивающие влияние рециркулирующего потока песков в различных режимах работы ЗЦИ на эффективность его работы. На рис.2 приведен комбинированные графики полученных результатов.

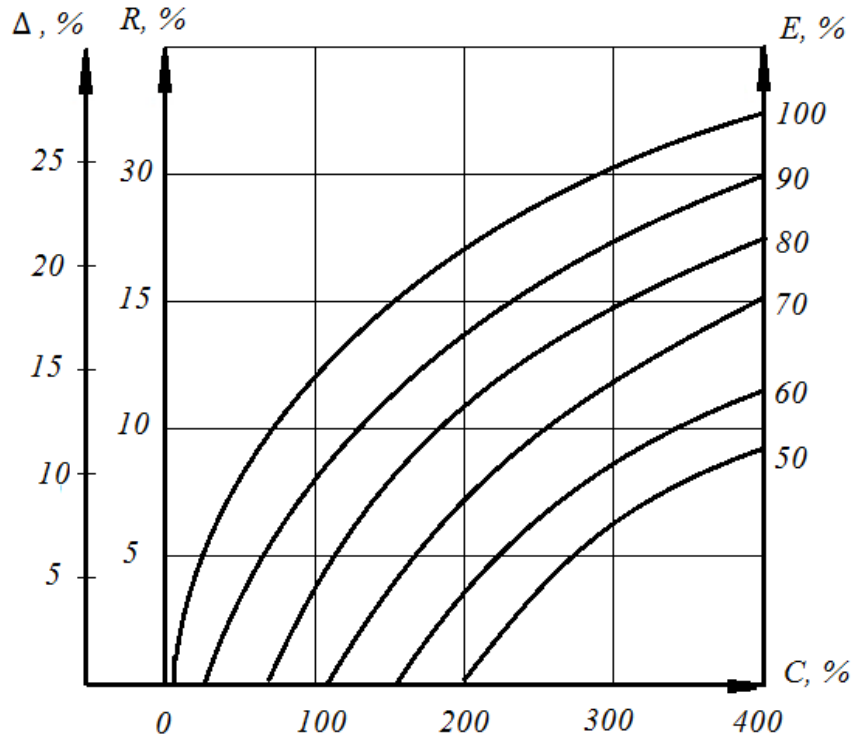


Рис. 2. Комбинированный график связи показателей эффективности ЗЦИ при изменении параметров в 1-ой стадии

Здесь обозначено:  $\Delta$  - повышение производительности по “готовому” классу крупности измельчения (-0.074 мм), проценты;  $R$  - снижение удельных расходов электроэнергии, проценты;  $C = Q_R / Q_0 \cdot 100$  %- относительный расход циркулирующих песков, проценты;  $E$  - эффективность классификации, проценты;  $Q_0$  - расход исходной руды;  $Q_R$  - расход циркулирующих песков.

Эта работа наглядно показывает, что величины  $\Delta$  и  $R$  определяются (при прочих равных условиях) величинами  $C$  и  $E$  - относительным расходом циркулирующих песков и эффективностью классификации. С повышением относительного (а также и абсолютного) расхода циркулирующих песков и эффективности классификации (уменьшении доли “готового” класса крупности в рециркулирующих песках) - снижаются удельные расходы электроэнергии  $R$  и растет производительность по “готовому” классу крупности измельчения. Возможности увеличения расхода циркулирующих песков ограничиваются внутренним объемом барабана мельницы и производительностью классифицирующего аппарата, поэтому для замкнутых циклов существует некоторое оптимальное со-

отношение  $K_{\text{опт}} = Q_R / Q_0$ , обеспечивающее максимальное значение производительности по “готовому” классу крупности на сливе мельницы. Это соотношение непосредственно связано со скоростью измельчения (изменение крупности) песков и исходной руды, и наибольшая эффективность достигается при измельчении песков и руды со скоростями, которые приводят к равному содержанию крупных классов в разгрузке мельницы.

На рис.3 представлены функции гипотетической связи между величинами  $Q_0$  и  $Q_R$ , объясняющая выбор соотношения  $K_{\text{опт}} \rightarrow \Delta_{\text{опт}}$ :

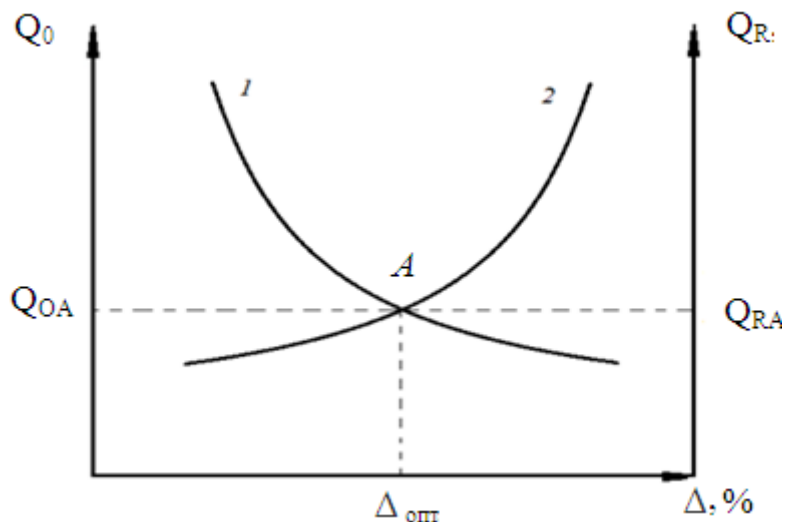


Рис. 3. График выбора оптимального соотношения величин  $Q_0$  и  $Q_R$ , где 1- характеризует изменение  $\Delta$  про изменение  $Q_0$  и 2- характеризует изменение  $\Delta$  при изменении  $Q_R$

Здесь показано, что  $\Delta_{\text{опт}}$  соответствует точке А, которая соответствует значениям  $K_{\text{опт}} = Q_R / Q_0$ , и изменение  $\Delta_{\text{опт}}$  (увеличение или уменьшение) приводит к изменению положения А.

Таким образом, увеличение рецикла  $Q_R$  обуславливает уменьшение расхода  $Q_0$  и наоборот.

В ряде известных работ приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие, что при постоянном расходе руды на входе мельницы производительность по циркулирующим пескам и их изменение являются следствием текущих физико-механических свойств исходной руды.

Анализ управляемости ЗЦИ по производству “готового” класса при воздействии на расход исходной руды  $Q_0$  показал, что с ростом величины рецикла  $Q_R$  влияние  $Q_0$  на процессе измельчения уменьшается и при  $Q_R \gg Q_0$  (более чем в 3 раза) он определяется качественными характеристиками песков. Размер оптимальной циркулирующей нагрузки для данной технологической схемы и выбор соотношения  $K_{\text{опт}}$  зависит от крепости исходной руды, содержания “готового” класса крупности в потоках  $Q_0$  и  $Q_R$ . С увеличением крепости исходной

руды растет крупность циркулирующих песков и растет требуемое соотношение  $K_{опт}$ . При повышении содержания “готового” класса в циркулирующих песках свыше некоторого допустимого предела, их абсолютное значение необходимо уменьшить. Практически, при содержании “готового” класса в песках до (10-25) %, необходимо поддерживать высокие значения циркулирующей нагрузки.

Увеличение расхода циркулирующих песков снижает шламообразование процесса измельчения и повышает производительность по “готовому” классу крупности. Так например, в известных работ показано, что при повышении циркулирующей нагрузки с 440 процентов до 720 процентов содержание шламов снизилось с 33,3 процентов до 29,8 процентов, при обеспечении крупности “готового” класса - 74 мкм в диапазоне (91,4 - 93,1) процентов. Высокие значения циркулирующей нагрузки достигающей 2500 процентов дают существенное повышение эффективности показателей измельчения - снижение ошлагования (переизмельчения), повышения удельной производительности и снижение энергоемкости процесса.

Таким образом, выбирая определенное значение величины  $Q_0$  и  $Q_R$  можно поддерживать максимум производительности по готовому материалу на сливе  $Q_G$ .

Анализ процессов измельчения в структуре ЗЦИ позволил сделать вывод, что рецикл может быть предоставлен положительной или отрицательной обратной связью. Это возможно при рассмотрении коэффициента передачи мельницы соответственно по “готовому” ( $\leq d_r$ ) или некондиционному ( $> d_r$ ) классам крупности измельчаемого материала в сливе. Известно, что результатом измельчения должен быть класс ( $\leq d_r$ ), следовательно рецикл необходимо представлять положительной обратной связью.

Анализируя коэффициенты передачи мельницы и классификатора по “готовому” классу можно записать для ЗЦИ:

$$K = \frac{K_0}{1 - K_0 \cdot K_{OC}} \quad , \quad (3)$$

где  $K = \frac{Q_G}{Q_0}$  - общий коэффициент передачи ЗЦИ;  $K_{OC} = \frac{Q_R}{Q_M}$  - коэффи-

циент передачи классификатора;  $K_0 = \frac{Q_G}{Q_n} = \frac{Q_G}{Q_M}$  - коэффициент передачи мель-

ницы;  $Q_n = Q_M$  - расход потоков материала на входе ( $Q_n = Q_0 + Q_R$ ) и сливе мельницы.

Представление ЗЦИ в виде (3) позволяет применить известные методы анализа из территории автоматического управления и получить ряд результатов соответствующих и подтверждающих технологические особенности замкнутого цикла измельчения руд при управлении. Оценивая чувствительность коэффициента передачи ЗЦИ  $K$  изменению коэффициентов  $K_0$  и  $K_{OC}$  по методике



получено, что чувствительность коэффициента передачи ЗЦИ  $K$  к изменению  $K_{OC}$  существенна, а при увеличении  $K_{OC}$  снижается чувствительность к изменению коэффициента передачи мельницы  $K_0$ . Исходя из этого, можно сделать вывод, что для стабилизации работы ЗЦИ необходимо стабилизировать коэффициент или поток рецикла  $Q_R$ , причем на уровне обеспечивающем значение  $K_{OC} \geq K_0$ , т.е.  $Q_R \geq Q_0$ .

Из большого разнообразия известных математических моделей процесса измельчения в барабанных мельницах рассмотрим одну из наиболее используемых в виде:

$$Q_1 = Q_0 \cdot e^{-k_1 t} \quad (4)$$

где  $Q_1$  - поток недоизмельченного по крупности материала ( $\geq d_r$ ),  $t$  - время измельчения;  $K_1$  - коэффициент характеризующий скорость измельчения материала. Если принять  $Q_1 = Q_R$  для ЗЦИ (при абсолютной классификации) и  $Q_0 = Q_n$  (см. обозначение выше), то для недоизмельченного класса, составляющего поток циркулирующих песков можно записать:

$$Q_R = Q_n \cdot e^{-k_1 t} = Q_M \cdot e^{-k_1 t} \quad (5)$$

Из модели (4) следует, что величина рецикла  $Q_R$  существенно зависит от скорости измельчения материала  $K_1$ , которая характеризуется условиями измельчения (состояние футеровки, грансостав шаровой загрузки, плотность пульпы, скорость вращения барабана мельницы и т.д.) и физико-механические свойствами измельчаемого материала (крупность, измельчаемость и т.д.) и времени измельчения  $t$ , за которые в свою очередь характеризует длительность нахождения измельчаемого материала в барабане мельницы. Отсюда логически следует, что по изменению величины  $Q_R$  можно интегрировано судить об изменении условий измельчения, физико-механических свойств измельчаемого материала или времени измельчения, при определенных ограничивающих условиях. Таким образом, величина  $Q_R$  может характеризовать процесс измельчения в барабане мельницы и служить его "индикатором".

Приняв общую нагрузку на входе мельницы (см.рис.1):

$$Q_n = Q_0 + Q_R \quad (6)$$

получим для расхода песков:

$$Q_R = Q_n - Q_0 \quad (7)$$

Приравняв (5) и (7), получим выражение:

$$Q_n = \frac{1}{1 - e^{-k_1 t}} \cdot Q_0 \quad (8)$$

Обозначим через  $\alpha$  долю цикла общей загрузки на входе  $Q_n$ :

$$\alpha = \frac{Q_R}{Q_n} \leq 1 \quad (9)$$

С учетом (9) выражение (6) преобразуем аналогично как в /18/ к виду:



$$Q_n = \frac{1}{1-\alpha} \cdot Q_0 = K_R \cdot Q_0 \quad (10)$$

где  $K_R$  - коэффициент рецикла:

$$K_R = \frac{1}{1-\alpha} \geq 1 \quad (11)$$

Весовую долю “готового” материала ( $\leq d_r$ ) в сливе мельницы обозначим через  $p_\Gamma$ , тогда для установившегося режима общая производительность по “готовому” материалу  $Q_\Gamma$  в сливе мельницы будет:

$$Q_\Gamma = p_\Gamma \cdot Q_M = p_\Gamma \cdot Q_n \quad (12)$$

и, подставив в (12) значение  $Q_\Gamma$  из (10), получим для производительности по “готовому” классу:

$$Q_\Gamma = p_\Gamma \cdot K_R \cdot Q_0 \quad (13)$$

Оценим основные качественные статические соотношения между производительностями в потоках для ЗЦИ. Из (13) видно, изменение  $Q_\Gamma$ , которое в общем случае вызывается изменяющимися условиями измельчения (износ футеровки, изменение грансостава и веса шаровой загрузки) или переменными физико-механическими свойствами измельчаемого материала, определяется изменением значения  $p_\Gamma$ . В этом случае для компенсации этого изменения при управлении можно воздействовать как на  $Q_0$  (что на большинстве ЗЦИ и реализуется), так и на  $K_R$ , т.е. на величину рецикла. Причем надо учитывать, что изменение  $Q_0$  ведет к изменению общей производительности по твердому в сливе классификатора и к возмущению на последующие процессы. Воздействие на  $K_R$  является более эффективным, так как позволяет в определенных пределах компенсировать возмущения внутри ЗЦИ.

Как указано в работах [1,2], основная задача процесса измельчения в ЗЦИ состоит в максимизации производительности по “готовому” (заданной крупности) материалу. При этом технологически эта задача обуславливает задачу управления, обеспечивающую равенство:

$$Q_{\Gamma \max} = Q_0 \quad (14)$$

что означает: максимальная производительность по “готовому” материалу будет соответствовать текущей производительности по исходному материалу на входе, т.е. весь поток исходного материала измельчается до крупности ( $\leq d_r$ ). Однако это выражение практически не реализуемо по технологическим причинам.

. Для оценки возможности получения в сливе мельницы максимальной производительности по “готовому” материалу возвратимся снова к модели вида (4). В полученном на ее основе выражении (8) сравним с выражением (10), в результате запишем:

$$K_R = \frac{1}{1 - e^{-k_1 t}}, \quad e^{-k_1 t} = \alpha \quad (15)$$

В модели вида (4) количество недоизмельченного материала определяется временем измельчения  $t$ . Оценим изменение величины на всем возможном диапазоне  $0 \leq t \leq \infty$ , в полученном выражении (1.13), исследовав его пределы:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} K_R = \lim \left( \frac{1}{1 - e^{-k_1 t}} \right) = 1; \quad \lim_{t \rightarrow 0} K_R = \lim \left( \frac{1}{1 - e^{-k_1 t}} \right) = \infty \quad (16)$$

Из анализа полученного (16) видно, что изменяя время измельчения в пределах  $0 \leq t \leq \infty$ , получаем коэффициент рецикла, изменяющийся в диапазоне  $1 \leq K_R \leq \infty$ , что с учетом (4 и 5) соответствует диапазону производительности ЗЦИ по рециклу  $\infty \geq Q_R \geq 0$ . Однако эти пределы возможны только теоретически, и в реальных ЗЦИ всегда  $t$  имеет некоторое конечное значение и, соответственно, определяет значение  $k_R$ . На рис.4 приведен график зависимости  $K_R = f(t)$ .

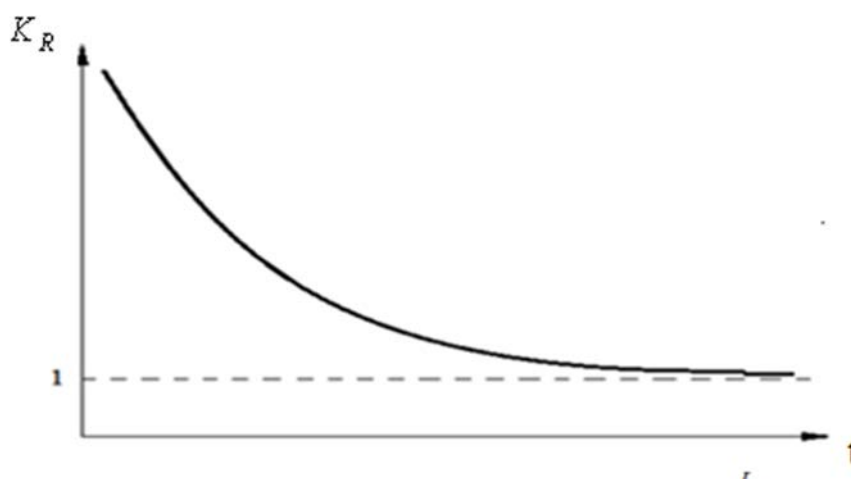


Рис. 4. Изменение коэффициента рецикла  $K_R$  при изменении времени измельчения  $t$

Процесс измельчения в открытой мельнице (без рецикла) на основании (12) и с учетом (4) можно представить в виде:

$$Q_\Gamma = p_\Gamma \cdot Q_0 = Q_0 - Q_1 = Q_0 \cdot (1 - e^{-k_1 t}) \quad (17)$$

Анализируя выражение (17) получим, что равенство(14) возможно, если  $(1 - e^{-k_1 t}) = 1$ . Это обуславливает равенство  $e^{-k_1 t} = 0$ , откуда необходимо  $t \rightarrow \infty$  что практически нереализуемо.

Для процесса измельчения в ЗЦИ (с рециклом) из выражения (13) получается, что равенство (14) возможно, если:

$$K_R \cdot p_\Gamma = 1 \quad (18)$$

Из выражения (18) с учетом (15) получим равенство:

$$\frac{1}{1 - e^{-k_1 t}} = \frac{1}{p_\Gamma} \quad (19)$$

в котором исходя из условия (14) связаны переменные  $K_1$ ,  $t$  и  $p_\Gamma$ . Выполнив преобразования и прологарифмировав получим:

$$K_1 \cdot t = \ln\left(\frac{1}{1-p_\Gamma}\right) \quad t = \frac{1}{K_1} \cdot \ln\left(\frac{1}{1-p_\Gamma}\right) \quad (20)$$

Выражение (20) преобразуем в виде зависимости времени измельчения  $t$  и параметров  $K_1$  и  $p_\Gamma$ , которые представлены на рис.5:

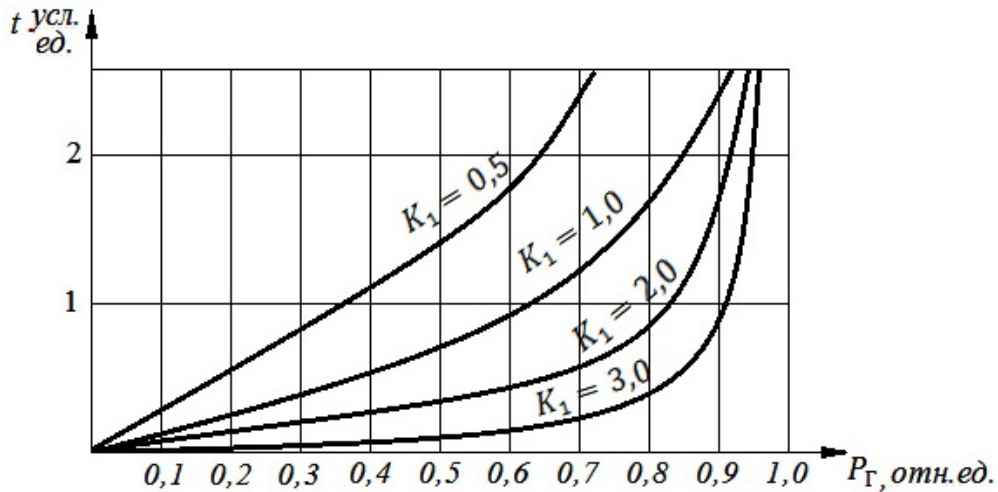


Рис. 5. Зависимость времени измельчения  $t$  от изменения параметров  $K_1$  и  $p_\Gamma$

На рис.5 приведены графики зависимости необходимого времени измельчения  $t$  при заданных скоростях измельчения  $K_1$  и доле готового класса  $p_\Gamma$  на сливе мельницы, рассчитанные по выражению (20). Полученные зависимости имеют качественный характер, однако при подстановке реальных значений  $K_1$  и  $p_\Gamma$  можно получить требуемые значения  $t$  и  $K_R$  (из рис.4) для обеспечения выражения (14).

В результате, на основании сравнения процесса измельчения в открытой мельнице (17) и в ЗЦИ (13), можно сделать очень важный вывод для управления: только наличие рецикла  $Q_R$  дает возможность получить максимальную производительность по “готовому” продукту  $Q_{\Gamma max}$  на сливе классификатора равную производительности по исходной руде на входе мельницы, который подтверждается результатами, полученными в известных работах по технологии обогащения руды.

Рассмотренный ряд особенностей рецикла как технологического параметра ЗЦИ и его влияние на технологические особенности и особенности управления процессом измельчения обуславливают круг задач, решаемых с помощью контроля рецикла, выделяют его как важнейший параметр ЗЦИ. В заключении можно отметить еще одну важную особенность рецикла - свойство частичного самовыравнивания (адаптации) технологического режима, которое стоит в сле-

дующем. Например, ухудшение свойств измельчаемости исходного питания приводит к изменению крупности на сливе мельницы, т.е. к ее увеличению и увеличению доли недоизмельченного материала. Последнее приводит к увеличению производительности рецикла, т. е. положительной обратной связи, крупность которой при этом значительно меньше крупности исходного питания, что ведет к снижению средней крупности в загрузке мельницы и последующему снижению крупности измельченного материала в сливе мельницы. Через некоторое время после завершения переходного процесса, наступает новый установившийся режим при новых текущих параметрах процесса измельчения. Однако этот процесс протекает длительно, часто приводит к высоким значениям расхода рецикла и уровня загрузки мельницы, т.е. аварийной ситуации, поэтому для обеспечения нормального технологического режима и поддержания максимальной эффективности ЗЦИ нуждается в управлении.

В условиях ряда обогатительных фабрик (СевГОК, НКГОК и др.) экспериментально получено подтверждение прямого влияния величины рецикла, т.е. производительности по расходу циркулирующих песков, на производительность по “готовому” продукту на сливе мельницы. При измерении коэффициента рецикла ЗЦИ в интервале  $K_R = (2,0K \dots 3,0)$  коэффициент корреляции, оценивающий тесноту связи между указанными величинами равен в среднем  $r = 0,915$ .

Выбирая основные параметры рецикла при управлении, которые кроме коэффициента передачи включают постоянную времени и запаздывание по каналу управления, можно получить требуемое качество переходного процесса при регулировании ЗЦИ, так как на основании полученных выше закономерностей, рецикл является своеобразным технологическим регулятором, который может обеспечить стабилизацию технологического процесса измельчения для широкого диапазона частот и амплитуд возмущающих воздействий [1,2].

**Выводы.** Рудоподготовка в структуре технологической линии обогащения на основании замкнутого цикла измельчения обуславливает следующее.

1. Рецикл характеризует собственно процессы измельчения и классификации и отражает изменение технологических, конструктивных параметров ЗЦИ и характеристик исходной руды.

2. Только наличие рецикла может обеспечить реализацию критерия  $Q_r \rightarrow \max$  при  $Q_0 \rightarrow \max$ .

3. Контролируя и изменяя величину производительности по рециклу  $Q_R$ , возможно обеспечить компенсацию возмущений, стабилизацию режимов измельчения и классификации, оптимизацию процесса обогащения руды согласно критериев (1) и (2).

4. Параметр производительности по рециклу необходимо применить в локальных системах управления ЗЦИ и, используя его, управлять режимами рудоподготовки и обогащения руды в целом.

### Перечень ссылок

1. Тихонов О.Н. Автоматизация производственных процессов на обогатительных фабриках. Учебник для вузов / О.Н. Тихонов //– М.: Недра, 1985. – 272 с.
2. Марюта А.Н. Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитобогащительных фабриках / А.Н. Марюта //– М.: Недра, 1985. – 231 с.
3. Хоцкіна В.Б. Автоматизація процесів керування технологічним комплексом збагачення залізних руд з використанням моделей мереж Петрі / Хоцкіна В.Б. // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, - 231. - №34, - с. 15-18.
4. Бабець Є.К. Дослідження інформативності параметрів збагачення руди при побудові інтелектуальних систем управління / Є.К. Бабець, В.П. Хорольський, В.Б. Хоцкіна// - Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг. – 2006. - №13. – с. 55-59.
5. Хукки Р.Т. О путях и средствах повышения эффективности замкнутого цикла измельчения / Р.Т. Хукки // ЭИ ВИНТИ Обогащение полезных ископаемых. М.:1977.– с.2-5

### ABSTRACT

**Purpose** of the work is to identify the technological characteristics and dependencies in the process of ore grinding and ore-classification in closed grinding cycle (CGC), evaluating their information features during the processes automation of the ore preparation as a part of technology enrichment.

**The methods of research are** based on analytical and experimental researches, technological justifications for the control parameters of CGC for task of controlling the recycle in ore beneficiation technology.

**Findings.** Automation of performance monitoring of the recycle, provisioning the possibility of building automated systems of control of ore preparation in the first stage of the technological enrichment line.

**The originality.** With the system positions grounds for the necessity automatic control performance recycle for optimal process control during grinding and classification.

**Practical implications.** The use of performance parameter for recycle to the local automatic control systems CGC will increase their efficiency and ensure the implementation of target management function.

**Keywords:** *identification, options, ore preparation, recycle, grinding and classification processes, automation.*