

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПО РЕЦИКЛУ В ЗАМКНУТЫХ ЦИКЛАХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

*В.И. Дмитриев, Государственный ВУЗ "Национальный горный университет", Украина*

Приведены результаты анализа и разработки экспериментальных методов оценки производительности по пескам в потоках рецикла замкнутых циклов измельчения. Рассмотрены варианты их применения и алгоритмы реализации для градуировки средств контроля и управления при автоматизации.

Замкнутые циклы измельчения (ЗЦИ) находят широкое применение в 1-ой стадии процессов рудоподготовки к обогащению. Технологические схемы их построения обуславливают значительные по объемам материальные потоки и применения сложного технологического оборудования, что привело к проблемам их контроля и автоматизации управления.

В ЗЦИ рециркулирующий поток песков недоизмельченного материала (руды) в мельнице подается снова на ее вход для повторного измельчения (рис.1). Он оказывает существенное влияние на процессы измельчения и результирующую крупность (-0,074мм) измельченного материала на сливе классифицирующего агрегата[1], поэтому контроль этого потока и управление им в системах автоматизации представляется сложной и недостаточно разрешенной задачей.

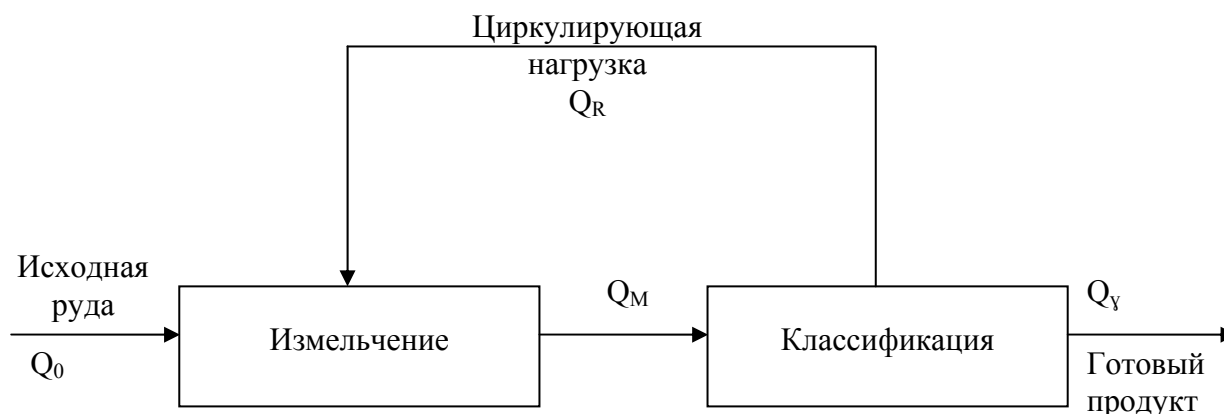


Рис. 1. Замкнутый цикл измельчения.

Здесь обозначено:  $Q_0$ ,  $Q_M$ ,  $Q_R$ ,  $Q_Y$  - производительности соответственно по исходной руде, на сливе мельницы, по рециклу, на сливе классификатора по готовому продукту.

Принято, что основной характеристикой рециркулирующего потока песков является производительность  $Q_R$  (массовый расход) или его соотношение с производительностью потока исходной руды  $Q_0$ :

$$Z = \frac{Q_R}{Q_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

В качестве классифицирующего агрегата в технологических схемах ЗЦИ широко применяются спиральные классификаторы разных конструкций и типоразмеров. В настоящее время отсутствуют специально разработанные и широко применяемые средства контроля потока  $Q_R$ . Это связано в значительной степени с отсутствием надежных и достаточно точных методов оценки их производительности по пескам и градуировки разрабатываемых средств контроля.

Для оценки производительности рецикла  $Q_R$  на стадии проектирования спиральных классификаторов и технологии измельчения часто используют [2, с.262] расчетное выражение вида:

$$Q_R = 5,625 \cdot m \cdot k_1 \cdot D^2 \cdot n, \quad (2)$$

где  $m$  и  $n$  – количество спиралей и скорость их вращения,  
 $k_1$  – коэффициент, учитывающий действительную плотность руды,  
 $D$  – диаметр спирали.

В [25, с.259] приведено другое расчетное выражение:

$$Q_R = 5,45 \cdot m \cdot D^3 \cdot n \left( \frac{\delta}{2,7} \right) K_\alpha \quad (3)$$

где  $Q_R, D, m, n$ , - то же, что и в (1.21),

$\delta$  - плотность классифицирующего материала,

$k_\alpha$  - поправочный коэффициент на угол наклона днища классификатора.

Выражения (2) и (3) позволяют оценить только максимальный расход циркулирующих песков и включают ряд эмпирических коэффициентов, что существенно снижает возможность их применения.

В [25] дано выражение для оценки текущего расхода циркулирующих песков:

$$Q_R = 360 \cdot \pi \cdot K \cdot \psi \cdot \gamma \cdot D^3 \cdot n \quad (4)$$

где  $\pi$  - константа = 3,14,  $K$  - отношение шага спирали к диаметру =  $S/D$ ,  $\psi$  - коэффициент заполнения сечения спирали материалом,  $\gamma$  - насыпной вес руды,  $n$  - скорость вращения спирали, однако не указывается, как необходимо контролировать текущие значения величины  $\psi$ , а оценка ее на “глазок” дает значительную погрешность.

Представляет определенный интерес оценка расхода циркулирующих песков по уравнению теплового баланса [4]. Оно имеет вид:

$$Q_0 + Q_R = \left( \frac{b \cdot N}{\Delta \tau} - c \cdot B_M - a \right) K \quad (5)$$

где  $a, b, c$  - эмпирические коэффициенты, определяемые предварительно по результатам замеров,  $N$  - мощность потребляемая мельницей,  $\Delta \tau$  - разность температур на входе и выходе мельницы,  $Q_0$  и  $B_M$  - расходы руды и воды,  $K$  - поправочный коэффициент расходов руды и воды в барабан мельницы.

Практических результатов применения данного способа не приведено, а теоретическая оценка уравнения (5) даже в первом приближении показывает ограниченность его применения: наличие эмпирических коэффициентов и их изменение.

Оценку расхода циркулирующих песков можно получить и из уравнения водного баланса [5], которое связывает расходы руды  $Q_0$  и воды  $B_M$  в барабан мельницы, соотношения Ж:Т в потоках на входе и на выходе  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  мельницы, в песках классификатора  $\lambda_3$ . Это уравнение имеет вид:

$$Q_R = \frac{B_M + Q_0(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2 - \lambda_3} \quad (6)$$

Практические результаты применения данного способа не известны, а возможная реализация его в приборном виде для автоматического контроля потребует их большого количества и приведет к значительной результирующей погрешности.

Наибольшее распространение в практике обогащательных предприятий, получил способ определения расхода циркулирующих песков по балансу “готового” (расчетного) класса

крупности измельчаемого материала [1,3]. Результирующее расчетное выражение по этому способу:

$$Q_R = \frac{\beta_{cl} - \beta_m}{\beta_m - \beta_n} \cdot Q_0. \quad (7)$$

Данный способ обоснован и применим только для установившегося режима измельчения и классификации, включает ручной отбор и рассев проб материальных потоков, определение содержания расчетного класса крупности (-0.074мм) в сливах мельницы  $\beta_m$  и классификатора  $\beta_{cl}$ , в песках  $\beta_n$  классификатора, измерение текущего расхода руды в мельницу  $Q_0$ . Одно значение  $Q_R$  можно получить в реальных условиях фабрики не менее чем за 3 часа. Трудоемкость и длительность определения расчетных величин выражения (7) составляют значительную методическую ошибку, а опыт и точность работы лаборанта вносят и субъективную ошибку, что часто на практике не позволяет получить относительную погрешность оценки производительности менее 30 процентов.

В общем случае можно повысить точность получаемых расчетных значений расхода циркулирующих песков, путем определения их как среднее арифметическое из “m”-опытов по “n”-классам крупности для уровня расхода:

$$\bar{Q}_R = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n Q_{R_{ij}}}{m \cdot n}, \quad (8)$$

где  $Q_{R_{ij}}$  - частичное “к”-ое значение расхода циркулирующих песков для “j”-ого класса крупности и “i” - опыта.

Приведенный выше анализ показал невозможность применения известных методов для определения расхода циркулирующих песков и ограниченность их использования. Это сдерживало разработку новых устройств контроля и оценку их эффективности, приводило к неоднозначным результатам оценки работы устройств контроля даже на однотипных классификаторах, но в различных условиях работы или в различных технологических схемах.

В ГВУЗ «НГУ» предпринималось много попыток по разработке методов и средств контроля производительности по рециклу в ЗЦИ. Это и методы взвешивания пескового желоба, и методы оценки момента на валу специальной вертушки, установленной в песковом желобе, и методы оценки по току приводного электродвигателя спирали и т.д. Однако, известны лишь случаи их единичного исследования или испытания, но ни один из них не обеспечил широкое использование в практике технологии и автоматизации.

В течении последних десяти лет выполняются работы по обоснованию и разработке методов оценки производительности по способу [6], основанному на выделении и анализе динамической составляющей сигнала активной мощности приводного электродвигателя спирали классификатора. Она обусловлена периодическим формированием и сбрасыванием в песковый желоб порции песков, заключенной между витками спирали.

Порция песков представляет собой геометрическую фигуру в виде (рис.2а) сечения прямого кругового цилиндра, в основании которого находится виток спирали (плоскость  $M'A'N'E$ ), а образующей является линия  $EDCP$  dna корыта классификатора, которой виток спирали касается при вращении. На рис.2 а приведено объемное изображение порции в пространстве координат  $x, y, z$ . При этом ось  $Z$  совпадает с осью длины вала, а оси  $x$  и  $y$  являются осями симметрии сечения вала (заштрихованная часть). К валу крепятся с помощью хомутов спицы, удерживающие лопасти спирали, последние составляют виток спирали. Корыто, а соответственно и вал спирали, находятся под углом  $\alpha$  к линии горизонта. При движении порции на нее действуют скатывающая сила  $F_{TP}$ .

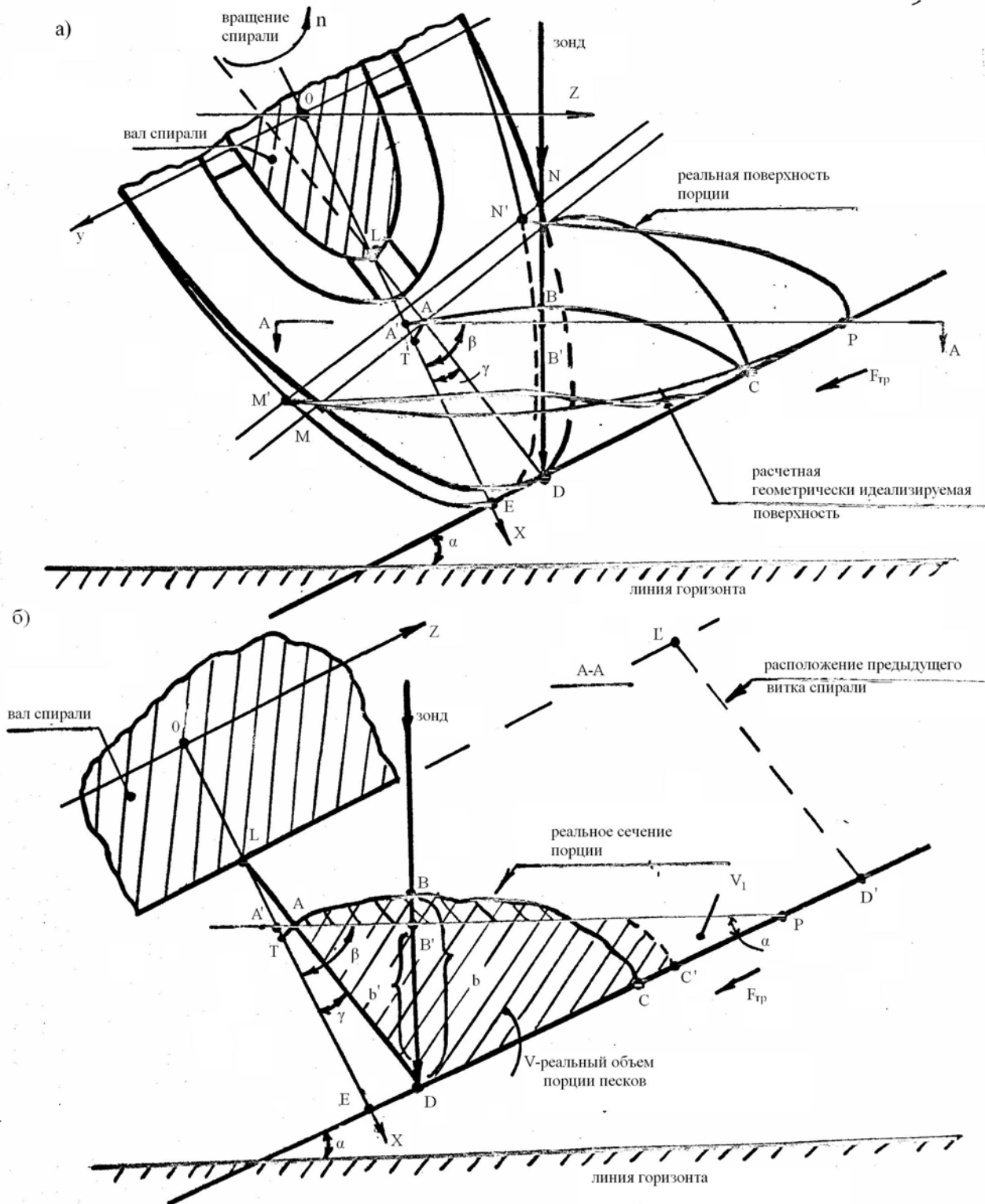


Рис.2. Геометрические изображения порции песков на лопасти спирали классификатора.

Спица и удерживаемая ею лопасть (плоскость  $M A N D$ ) отклонены на угол  $\gamma$  от оси  $x$  (для некоторых классификаторов угол  $\gamma=0$ ). Площадь поверхности порции песков  $MANBC$  ограничивает объем тела порции с другой стороны. Перекатывание песков при транспортировании порции и действие  $F_{TP}$  приводят к сложной волнистой форме этой поверхности. Однако, с некоторым допущением, ее можно заменить некоторой геометрически идеализированной плоскостью  $MANP$ , параллельной плоскости горизонта.

Линия  $MAN$  является границей расположения порции на лопасти спирали. Если продлить  $MANP$  до плоскости  $M'A'N'E$ , то их пересечение даст линию  $MAN$ , находящуюся на плоскости  $M'A'N'E$  и которая совпадает с осью  $X$ . Лопасть касается дна корыта в точке  $D$ , а перпендикуляр к линии горизонта, восстановленный в точке  $D$ , пересекает реальную и геометрически идеализированную поверхность порции собственно в точках  $B$  и  $B'$ . Угол между осью  $X - ов$  и плоскостью  $MNAP$  равен  $\beta = (90 - \alpha)$ .

На рис.2 б приведено изображение сечения объема порции  $A-A$ , совпадающего с осью  $Z$ . Здесь заштрихованная часть является сечением реального объема порции песков  $V$ , а линиями  $AP$ ,  $AD$  и  $DP$  ограничивается сечение геометрически идеализированного объема порции  $V_1$ . Точка  $L$  является точкой связи спицы с лопастью и вала спирали. Линия  $AT$  является перпендикуляром к линии  $LE$  (ось  $X - ов$ ) и параллельна линии горизонта. Линия  $L'D'$  определяет положение последующего витка спирали. На рис.2 б изображена порция песков, полностью накрывающая лопасть высотой  $AD$ , а излишки песков могут пересыпаться в зазор  $AL$  между лопастью и валом спирали.

Введем некоторые обозначения и параметры порции песков. Линия  $DB'$  является высотой треугольника  $ADP$  на основании  $AP$ , обозначим ее  $DB' = b'$ , а ее продолжение  $DB = b$ . Радиус вала спирали  $r_b$ , диаметр спирали  $D$ , углы  $\gamma$  и  $\alpha$  определяются по паспортным данным классификатора.

Для оценки текущего объема порции песков наиболее удобным является высота  $DB'$  (или  $DB$ ), которую можно определить в любой момент времени - как при остановке спирали, так и при ее вращении. Поэтому все необходимые параметры объема порции выразим относительно высоты  $b'$  и паспортных данных.

Исходя из приведенных построений в системе координат  $x, y, z$ , объем порции  $V_1$  можно представить в следующем виде:

$$V_1 = 2 \int_0^S \int_e^R (z_2 - z_1) dx dy \quad (10)$$

Здесь обозначено:  $e = TE = R - OT$ ,  $R = D/2$  - радиус спирали,  $TE$  - проекция высоты заполнения лопасти песками  $AD$  на ось  $X - ов$  (линия  $OE$ );

$S = \sqrt{R^2 - X^2}$  - текущее расчетное значение высоты заполнения лопасти спирали по оси  $X$ ;

$z_1$  и  $z_2$  - текущие координаты плоскостей  $MAND$  и  $MANP$  по оси  $Z$ .

Обозначим величины:

$$m = OA' = R - A'E \quad (11)$$

$$AD = b / \cos(\alpha + \gamma) \quad (12)$$

Выразим  $m$  и  $e$  относительно указанных выше переменных :

$$m = \frac{D}{2} - \left[ (R - r_b) \operatorname{tg} \gamma + \frac{b^1}{\sin \alpha} \right] \operatorname{tg} \alpha \quad (13)$$

$$e = \frac{D}{2} - b^1 \frac{\cos \gamma}{\cos(\alpha + \gamma)} \quad (14)$$

Текущие координаты  $Z_2$  и  $Z_1$  определим из уравнений соответствующих плоскостей в отрезках. Для плоскости  $MANP$  это уравнение будет:

$$\frac{x}{m} - \frac{z_2}{m \cdot \operatorname{tg} \beta} = 1, \quad (15)$$

$$\text{отсюда } Z_2 = (m \cdot \operatorname{tg} \beta) \left( \frac{x}{m} - 1 \right). \quad (16)$$

Для плоскости *MAND* это уравнение будет:

$$\frac{x}{r_B} = \frac{Z_1}{r_B \cdot \operatorname{tg} \gamma} = 1,$$

$$\text{отсюда } Z_1 = (r_B \cdot \operatorname{tg} \gamma) \left( \frac{x}{r_B} - 1 \right). \quad (17)$$

Подставив (16), (17) в (7) и, учитывая (11) и (12), вычислим выражение (10) методом двойного интегрирования, получим искомое расчетное выражение для объема порции в виде:

$$V_1 = 2 \left[ \frac{1}{3} \left( \sqrt{\left( \frac{D^2}{4} - e^2 \right)} \right)^3 (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \gamma) \right] +$$

$$+ 2(m \operatorname{tg} \beta - r_B \operatorname{tg} \gamma) \left( \frac{e}{2} \sqrt{\frac{D^2}{4} - e^2} - \frac{D^2}{8} \arccos \frac{2e}{D} \right) \quad (18)$$

Расчетная высота  $b'$  входит в состав выражений для  $e$  и  $m$ , приведенных в (8) и (14). В реальных производственных условиях измерить непосредственную высоту  $b'$  не возможно, но можно получить ее оценку по высоте  $DB = b$ , введя корректирующий коэффициент высоты  $K_1$ :

$$b' = K_1 \cdot b \quad (19)$$

Учитывая общие закономерности образования и транспортирования порции песков, для условий конкретного типа классификатора и обогатительной фабрики коэффициент  $K_1$  с допустимой погрешностью можно принять постоянным. Он определяется непосредственно в производственных условиях и может принимать значения  $K_1 = 0,7 \dots 0,9$ .

Реальный объем порции песков  $V$  меньше расчетного объема  $V_1$  (на величину не заштрихованной части на рис.2. б) по выражению (18), поэтому для перехода от  $V_1$  к  $V$  необходимо ввести корректирующий коэффициент объема  $K_2$ . С учетом заданной точности перехода  $K_2$  может быть задан:

$$\begin{aligned} & \text{- в виде константы: } V = q \cdot V_1, \quad K_2 = q \\ & \text{- в виде уравнения первой степени: } V = l + mV_1, \quad K_2 = f(l, m) \end{aligned} \quad (20)$$

$$\text{- в виде уравнения второй степени: } V = a + bV_1 + cV_1^2, \quad K_2 = f(a, b, c)$$

где:  $q, l, m, a, b, c$  - коэффициенты уравнений, которые определяются для конкретных производственных условий, путем сравнения объемов порции:  $V_1$  - рассчитанного по значению высоты  $b$  и  $V$  - реально измеренного мерной емкостью.

Таким образом, измерив высоту порции песков по линии  $DB = b$  с учетом (19) параметров конструкции классификатора (паспортные данные) -  $D, r_B, \gamma, \alpha$ , определяют по выражению (18) расчетный объем  $V_1$ :

$$V_1 = f_1(D, r_B, \gamma, \alpha, b'), \quad (21)$$

а с учетом (20) переходят к оценке реального объема порции  $V$ .

Коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$  определяются известными методами математической статистики [7] на всем интервале изменения объема порции или на уровнях 20...30 проц., 50...60 проц. и 80...90 проц. от максимально допустимого для конкретного спирального классификатора.

Минимальный объем порции песков, определяющий минимальную значимую производительность классификатора, для различных типов классификаторов и условий работы составляет 10...20 процентов.

Максимальный объем порции песков с одной стороны ограничивается высотой лопасти спирали - избыток песков просыпается в отверстие между лопастью и валом спирали, а с другой стороны - расположением предыдущего витка спирали. Если пески занимают межвитковое пространство и  $DC \geq DD'$  или ( $DC' = DD'$ ), то последующее увеличение объема  $V_1$  происходит только в пределах межвиткового пространства (от  $LD$  до  $L'D'$ ), а расчетное значение  $V_1$  по (18) на величину объема правее  $L'D'$ . Объем порции проектируемый в пространстве правее  $L'D'$  представляет собой геометрическую фигуру аналогичную расчетной порции песков, с высотой:

$$b'' = \left( \frac{b'}{\sin \alpha} - DD' \right) \sin \alpha, \quad (22)$$

где:  $DD'$  - межвитковое расстояние, конструкторский размер;  $b''$  - высота объема порции песков отсекаемого витком по линии  $L'D'$ .

Преобразовав (22) получим расчетное выражение :

$$b'' = b' - DD' \sin \alpha \quad (23)$$

По высоте  $b''$ , используя выражение(18),определяют объем  $V_2$ , кото-рый при условии  $DC \geq DD'$  вычитают из общего расчетного объема  $V_1'$  для определения расчетного объема порции песков:

$$V_1 = V_1' - V_2 \quad (24)$$

Движущаяся порция песков сохраняет некоторое количество влаги (воды), которая во время транспортирования постепенно вытекает из нее в нижнюю часть корыта классификатора. Интенсивность ухода воды зависит от угла наклона корыта классификатора, скорости вращения спирали и средней крупности песков. Содержание влаги в порции песков при работе классификатора в среднем на 20...30 процентов выше, чем при остановке его.

Для исключения погрешности оценки массы порции песков от влажности, массу порции песков будем оценивать в твердой фазе. Содержание твердой фазы измельченного материала  $T$  песков равно:

$$T = \frac{(\rho_n - 1) \delta_T}{\rho_n (\delta_{T_i} - 1)} \quad (25)$$

где:  $\rho_n$  - текущая плотность массы порции песков, т/м<sup>3</sup> - принимается в среднем постоянной для конкретного типа руды и условий работы.

В результате масса песков в твердой фазе движущейся порции равна:

$$M_T = V \cdot \rho_n \cdot T \quad (26)$$

где:  $M_T$  - масса песков в твердой фазе порции; другие обозначения приведены выше.

Выражение (26) представляет модель порции песков, которая включает (18), (20) и (25) и позволяет по двум текущим параметрам  $b$  и  $\rho_n$ , которые получают непосредственно в рабочем режиме, определить текущую оценку массы порции в твердой фазе  $M_T$ . Оценку производительности по рециклу получают по следующему выражению:

$$Q_R = M_T \cdot z \cdot n \cdot 60, \quad (27)$$

где:  $Q_R$  - производительность спирального классификатора по твердой фазе песков, т[ч;  $z$  - количество заходов спирали = 2;  $n$  - скорость вращения спирали, об[мин; 60 - коэффициент приведения к часовой производительности;  $M_T$  - масса твердой фазы материала в порции песков по (26).

В некоторых случаях требуется определить производительность по пескам с наибольшей точностью. Например при опробовании экспериментальных или опытных образцов устройств контроля, при оценке новых способов или новых методик измерения. Для этого был разработан способ определения производительности путем прямого отбора и взвешивания порции песков между витками спирали, защищенный а.с.N1666180 и приведенный в [8], алгоритм которого состоит в следующем.

Останавливают вращение спирали классификатора. Специальным измерительным зондом пронизывают по линии  $BD$  (см. рис. 2. б) порцию песков и по влажной части зонда оценивают высоту порции  $b_{ui}$ . Такие измерения выполняют не менее чем в двух порциях, под каждым из заходов спирали, результаты усредняют и получают средние значение высоты порции для данной производительности на момент остановки классификатора. В мерную емкость отбирают единицу объема порции, взвешивают и оценивают плотность материала песков в порции. По найденному значению высоты  $b_1$  определяют по зависимости  $V_{ni} = \varphi(b_i)$  объем порции. По значению  $\rho_{ni}$  оценивают содержание твердой фазы  $T_i$  материала песков используя (25). Далее, по значениям  $V_{ni}$ ,  $\rho_{ni}$  и  $T_i$  по выражению (26) определяют массу твердой фазы в порции песков, а по (27) - значение производительности по пескам на  $i$  - момент остановки классификатора.

На рис.3 приведено схематическое изображение фрагмента спирального классификатора и двух порций песков под разными заходами:  $M_1, A_1, N_1, B_1, C_1, D_1$  и  $M_2, A_2, N_2, B_2, C_2, D_2$ . Измерение высоты этих порций равны  $B_1D_1 = b_1$  и  $B_2D_2 = b_2$ . Задаются допустимой погрешностью измерения высоты порции, например  $E$ .

Если разность измеренных высот  $|b_1 - b_2| < E$ , то значение масс в порциях песков принимают равными  $M_n = M_{n1} = M_{n2}$ , и отбирают любую из указанных порций песков, оценивают ее массу  $M_n$ , плотность песков  $\rho_n$  в единице объема и содержание твердой фазы  $T$ , а по полученным значениям определяют производительность классификатора на момент остановки:

$$Q_R = M_n \cdot T \cdot z \cdot n \cdot 60. \quad (29)$$

Если  $|b_1 - b_2| \geq E$ , то отбирают и оценивают массу любой из этих порций, например  $M_1, A_1, N_1, B_1, C_1, D_1$  определяют удельное значение массы на единицу высоты  $b_1 : f = M_{n1} / b_1$  и по разности высот  $\Delta = |b_1 - b_2|$  определяют разности масс исследуемых порций  $M' = \Delta \cdot f$ . Далее определяют усредненное значение массы порции песка  $M_n = M_1 + M' / 2$  (если  $b_1 < b_2$ ) и по (29) определяют производительность классификатора на момент остановки. Этот способ сохраняет точность и преимущества прямого отбора и замера порции песков, но требует в два раза меньших трудозатрат и длительности измерения, так как отбирается только одна порция



песков. Как показала практика, для этого требуется 20...30 мин, что позволяет сохранить технологический режим и не останавливать последующее оборудование технологической линии.

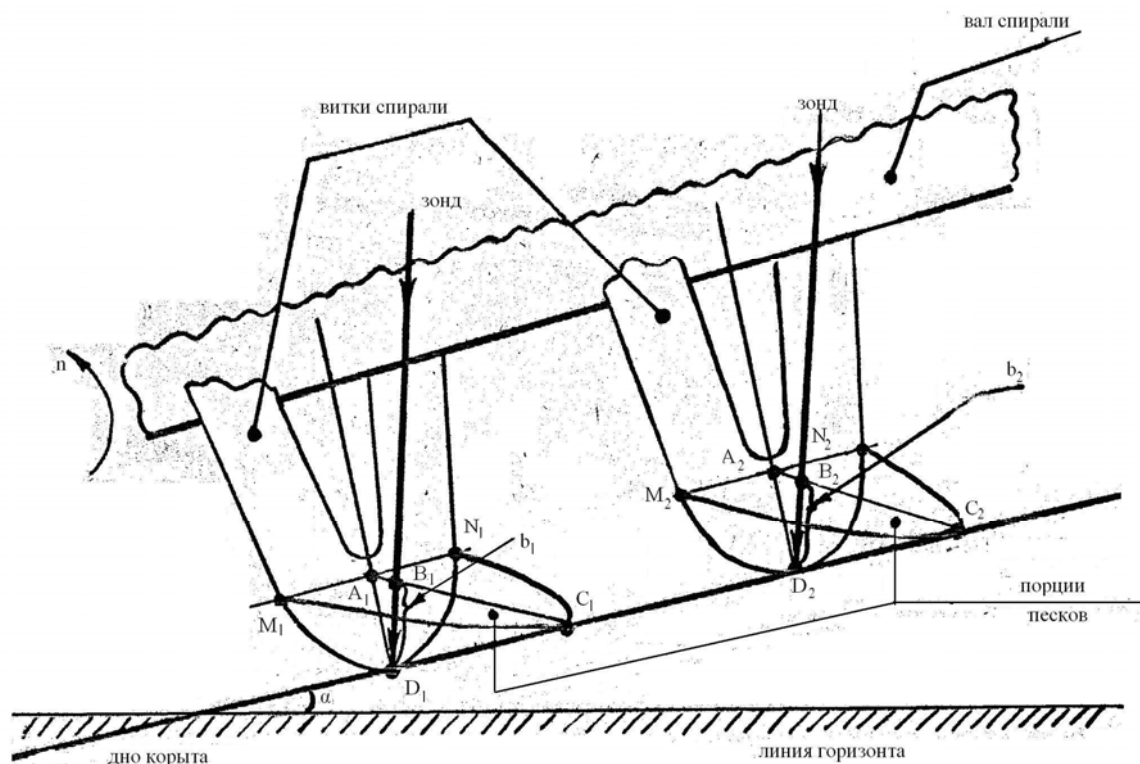


Рис. 3. Схематическое изображение фрагмента спирального классификатора

На основании рассмотренных способов оценки объемов порции песков разработаны методики оценки производительности по рециклу в ЗЦИ:

а) оперативной оценки, в процессе установившегося режима работы ЗЦИ, путем зондирования порции песков (достаточно 5-10 минут для получения одного значения производительности);

б) путем прямого отбора и оценки объема порции песков, для повышенной точности оценки производительности.

В результатах экспериментальных исследований в различных режимах и условий работы ЗЦИ, на различных горно-обогатительных комбинатах получена достаточно высокая сходимости оценок производительности. Относительная ошибка оценок по методике а) не превышала  $\pm 8\%$ , а по методике б) не превышала  $\pm 5\%$ . Эти способы позволили разработать средства автоматического контроля производительности по рециклу в ЗЦИ, использующих оценку порции, опытная партия которых внедрена в практику обогатительной фабрики ЛГОКа.

#### Список литературы

1. Серго Е.Е. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. Изд.2. Киев, Изд-во «Вища школа», 1979, 272с,
2. Справочник по обогащению руд черных металлов./ Под ред. С.Ф. Шинкоренко.- М.: Недра, 1980.- с.228.
3. Разумов К.А. Проектирование обогатительных фабрик./ Разумов К.А., Петров В.А.- М.: Недра, 1982. – 518с.
4. Шупов Л.П. Тепловой баланс агрегата измельчения./ Обогащение руд.- 1965.- №1.- с.45-47.- л.: Тр. инст-та Механообр.
5. Шупов Л.П. Математическая модель и алгоритм управления секцией

магнитообогатительной фабрики с шаровым измельчением.// Обогащение руд черных металлов.- М.: Недра, 1979.- Вып.8.- Тр.инст-та Механообрчермет.

6. Дмитриев В.И. Способ определения производительности спирального классификатора по пескам./ А.С. 1269838 СССР, МКИ В ОЗ в 13/00. Заявлено 27.05.85. Опубликовано 15.11.86. Бюл. №42// Открытия; изобретения.- 1986.- №42.- с.82.

7. Барский Л.А. Системный анализ в обогащении полезных ископаемых./ Барский Л.А., Козин В.З.- М.: Недра, 1978.- 486с.

8. Дмитриев В.И. Способ определения производительности спирального классификатора по пескам/ А.с. 1666180 СССР, МКИ ВОЗв 13/00. Заявлено 19.12.88. Опубликовано 30.07.91. Бюл. №28// Открытия. Изобретения.- 1991.- №28.- с.82.

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ТРЕНИИ ГИБКОГО ТЕЛА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИХ В МАШИНАХ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Н.А. Лубенец, Национальный горный университет, Украина*

Восстанавливаются традиционное представление о прямом влиянии на трение гибких тел молекулярной составляющей силы трения, нормальной реакции между телами и его фрикционных свойств, что отвечает общему характеру законов внешнего и внутреннего трения тел. Полученные знания планируется использовать при проектировании и эксплуатации транспортных машин с гибким тяговым органом нового поколения, которые распространяются на определение их тяговой способности и обоснования рациональных режимов работы.

В настоящее время на горных предприятиях для транспортирования основных грузов широкое применение нашли горные машины с гибким тяговым органом – конвейеры, напочвенные и подвесные дороги, подъемные машины шахт и другие.

Рост экономического развития страны предполагает создание совершенных транспортных машин с более высокими функциональными, технологическими, экономическими и антропологическими показателями. Решение этой задачи сопряжено с использованием в них современных знаний в области механики и научно-технических достижений, в том числе реализации большего тягового усилия на приводном блоке машин.

Тяговая способность указанных машин реализуется трением гибкого тягового органа по барабану или шкиву трения приводной станции за счет его прижатия под действием усилий натяжения, в качестве которых используются конвейерные ленты, тросы и клиновые ремни. Эффективная эксплуатация машин в условиях энергетического кризиса, невозможна без определения их тяговой способности и обоснования рациональных режимов эксплуатации.

Вместе с тем, действующие представления о трении гибких тел, которыми пользуются при определении тяговой способности приводного блока машины, уже давно сформировались и принципиально не меняются многие годы. Знания о трении твердых и гибких тел и их развитие в нашей цивилизации описываются законами трения тел, названными именами гениальных исследователей - Леонардо да Винчи, Амонтона, Эйлера и Кулона.

Определение тяговой способности транспортных машин проводят в соответствии с законом трения гибких тел Эйлера, полученном в 1775 году (уравнением Эйлера, формулой Эйлера) [1]. Рассмотрим расчетную схему, рис. 1.