

**The originality** lies in the use in the model of formation of transport flows of a set of simple local models to describe individual transport processes with the justification of the set of connections between them based on the theory of systems.

**Practical implications.** The results of investigations will be used for the creation of the model, that is described the processes of formation of transport flows in city with the aim of their analysis and investigation.

*Keywords: simulation, transport flows in the city, model, theory of systems*

УДК 681.5.015:622.778

© В.И. Дмитриев

## **ИТЕРАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПО ПЕСКАМ В ЦИКЛАХ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУДЫ**

© V. Dmitriev

### **ITERATIVE TECHNOLOGY OF PRODUCTIVITY ESTIMATION FOR SANDS IN ORE GRINDING CYCLES**

Сформирована технология оценки производительности по пескам на основе анализа порции песков спирального классификатора и особенности ее транспортирования в песковый желоб. Разработаны алгоритм и методика оперативного контроля производительности по пескам в условиях железорудной обогатительной фабрики для градуировки устройств контроля производительности и при наладке технологии рудоподготовки в 1-ой стадии.

Сформована технологія оцінки продуктивності по піску на основі аналізу порції пісків спірального класифікатору та особливості її транспортування в пісковий жолоб. Розроблено алгоритм та методику оперативного контролю продуктивності по піску в умовах залізородної збагачувальної фабрики для градування пристроїв контролю продуктивності та при налагодженні технології рудопідготовки в 1-ій стадії.

**Введение.** Разработка и усовершенствование средств контроля производительности спирального классификатора по пескам, наладка технологии рудоподготовки в 1-ой стадии в процессах обогащения железной руды, исследование процессов обогащения обуславливают необходимость оценки производительности по рециклу замкнутого цикла измельчения (ЗЦИ).

В работе [1] рассмотрены экспериментальные методы определения производительности по пескам для спирально классификатора, однако они предполагают большой объем исследований, отбора и анализа проб материальных потоков ЗЦИ, наличия средств контроля параметров в материальных потоках.

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 ре-

зультирующую 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.

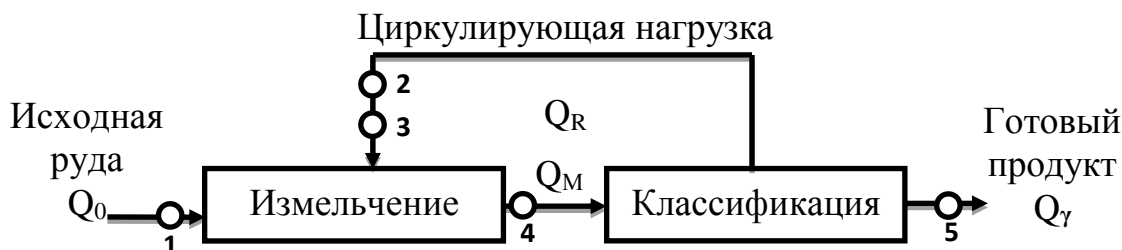


Рис. 1. Замкнутый цикл измельчения

Здесь обозначено:  $Q_0$ ,  $Q_M$ ,  $Q_R$ ,  $Q_\gamma$  – 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  $Q_0$ :

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

Оценку расхода циркулирующих песков можно получить и из уравнения водного баланса [1], 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:

$$Q_R = \frac{B_M + Q_0(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_2 - \lambda_3}. \quad (2)$$

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 обогатительных предприятий получил способ определения расхода циркулирующих песков по балансу «готового» (расчетного) класса крупности измельчаемого материала [2, 3]. Результирующее расчетное выражение по этому способу:

$$Q_R = \frac{\beta_{сл} - \beta_M}{\beta_M - \beta_n} \cdot Q_0. \quad (3)$$

Данный способ (3) 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  $\beta_{сл}$ , в песках  $\beta_n$  (рис.1, точки 3, 4, 5) классификатора, измерение текущего расхода руды в мельницу  $Q_0$  (рис.1, точка 1). Одно значение  $Q_R$  можно получить в реальных условиях фаб-

рики не менее чем за 3 часа. Трудоемкость и длительность определения расчетных величин выражения (3) 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%.

Из приведенных источников видно, что в практике железорудных обогатительных фабрик отсутствует технология оперативной оценки производительности по пескам для спиральных классификаторов.

Автором предложена новая технология [5], которая основана на геометрическом представлении порции песков [1], которая располагается между витками спирали классификатора.

Расчетный объем порции песков определяется по геометрическому представлению порции в виде (4):

$$V_p = 2 \left[ \frac{1}{3} \left( \sqrt{\frac{D^2}{4} - C^2} \right)^3 \cdot (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\gamma) + (m \cdot \operatorname{tg}\beta - r_B \cdot \operatorname{tg}\gamma) \cdot \left( \frac{C}{2} \sqrt{\frac{D^2}{4} - C^2} - \frac{D^2}{8} \arccos \frac{2C}{D} \right) \right] \quad (4)$$

где

$$C = \frac{D}{2} - b' \cdot \frac{\cos \gamma}{\cos(\alpha + \gamma)},$$

$$m = \frac{D}{2} - \left[ \left( \frac{D}{2} - r_B \right) \cdot \operatorname{tg}\gamma + \frac{b'}{\sin \alpha} \right] \cdot \operatorname{tg}\alpha,$$

где  $D$  – диаметр спирали;

$r_B$  – радиус вала спирали;

$\alpha$  – угол наклона корыта классификатора;

$\gamma$  – угол между плоскостью спирали и плоскостью, перпендикулярной к осевой линии вала;

$$\beta = (90^\circ - \alpha).$$

На чертеже (рис. 2) приведено изображение геометрии порции песков (а – объемное изображение, б – при сечении вдоль оси вала спирали).

Приведенное изображение порции песков имеет вид , когда она полностью вышла из пульпы в корыте классификатора и движется к песковому желобу (а – изображение порции песков приведено в трехмерных координатах  $X, Y, Z$ ; б – при сечении А–А в плоскости  $X, Y$ :  $O$  – центр симметрии несущего вала спирали;  $LD$  – спица спирали, укрепленная на несущем валу под углом  $\gamma$  от перпендикуляра  $OE$  к осевой линии вала по координате  $Z$  и к линии дна корыта ЕДСР). На данной спице закреплена лопасть, которая вращается вместе с валом спирали со скоростью  $n$ , формирует собственно порцию песков и транспортирует ее по корыту СК к песковому желобу.

Следует отметить, что в различных известных СК типов КСН и КСП угол  $\gamma$  может принимать значения  $0-15^\circ$ , а угол наклона корыта СК к линии горизонта может составлять  $10-28^\circ$ . На чертеже показано, что собственно пески занимают часть плоскости лопасти MAND. Под действием сил трения материала лопасти

о пески порция песков смещается в сторону вращения спирали, масса песков находится в непрерывном перемешивании и существенно распушивается.

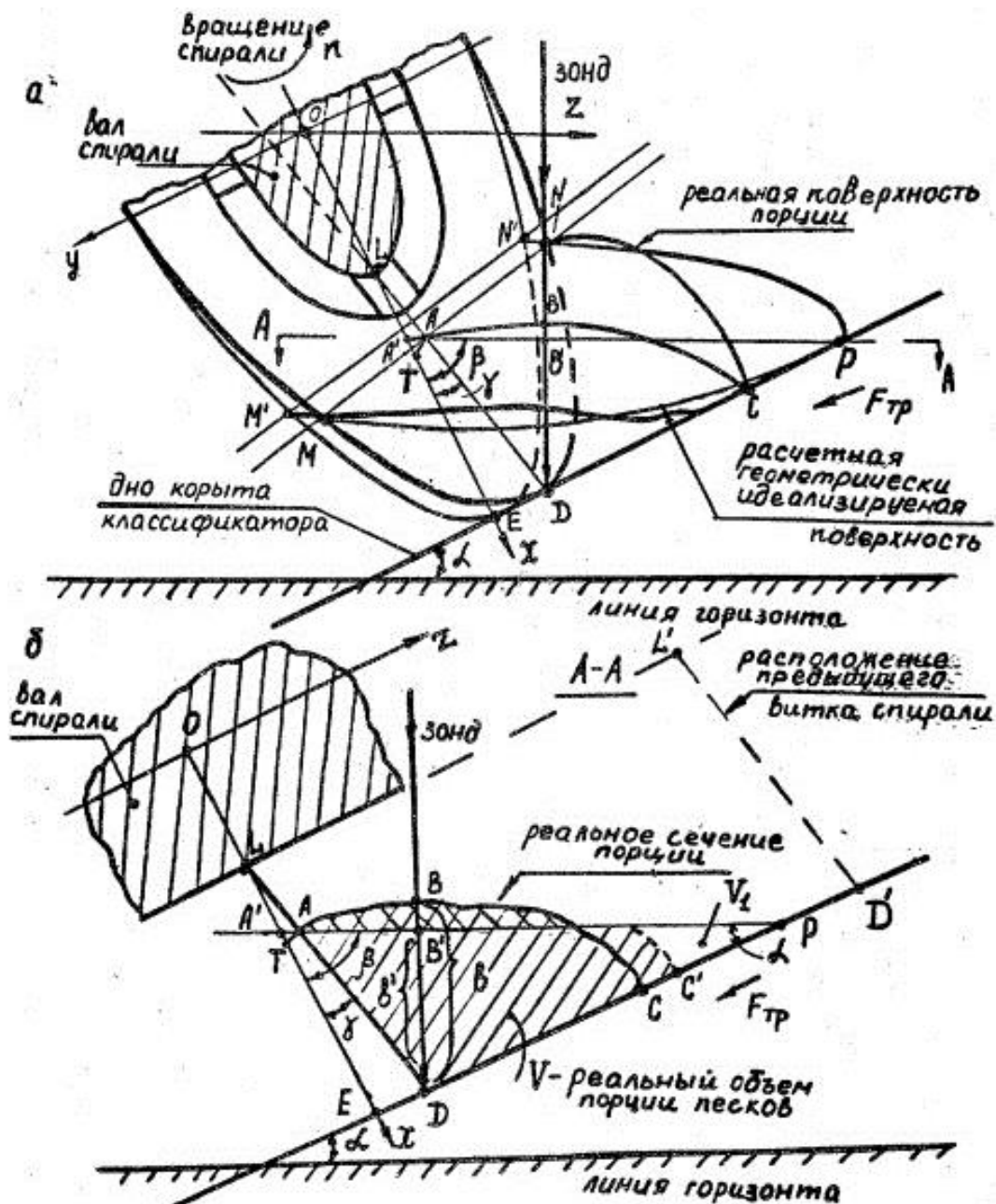


Рис. 2. Геометрическое изображение порции песков

Под действием силы трения  $F_{тр}$ , создаваемой при трении движущейся порции песков о материал постели и противодействующей движению порции, деформируется передний край порции и искажается геометрия объема порции песков. На чертеже показана реальная поверхность порции песков  $MANBC$  и ее расчетное, приведенное к геометрически идеализируемому, изображение поверхности  $MANB'P$  и в целом объема  $MNDP$ .

Последний представляет собой часть прямого кругового цилиндра отсекаемой плоскостями  $MNP$  и  $MND$ , причем плоскость  $MNP$  является горизонтальной и находится под углом  $\beta = (90^\circ - \alpha)$  к плоскости  $MND$ , являющейся плоско-

стью лопасти. На чертеже показаны плоскость лопасти  $M'N'E$  в том случае, когда угол смещения спицы  $\gamma$  равен нулю, и вспомогательные расчетные точки  $T$  и  $A'$ .

При определении высоты порции песков, зонд вводится в порцию песков (рис.2) перпендикулярно к линии горизонта. Высота порции определяется по наибольшему расстоянию от поверхности порции до уровня постели, что может быть обеспечено лишь в случае, когда зонд попадает в точку  $D$  – точку касания лопасти спирали и дна корыта (постели) СК. Высота реального объема порции песков  $BD=b$ ; высота расчетного приведенного к геометрически идеализируемому, объема порции  $B'D=b'$ . Корректирующий коэффициент  $K_1$  приведения измеренной высоты порции песков к высоте расчетного объема порции определяется предварительно путем экспериментального сравнения на конкретных СК и условиях работы высоты движущейся порции песков  $b$  при нормальной работе СК и расчетной высоты порции песков  $b'$ , полученной при остановленном СК и после выравнивания верхней поверхности порции и придания ей вида горизонтальной плоскости (в данном случае для повышения точности получения горизонтальной плоскости при выравнивании поверхности можно воспользоваться строительным уровнем). В результате

$$K_1 = \frac{B'D}{BD} = \frac{b'}{b}, \quad b' = K_1 \cdot b. \quad (5)$$

Далее  $K_1$  принимают в качестве константы для данного типа СК и условий работы.

После приведения к расчетному виду (4) геометрически идеализируемый объем порции  $MNAB'PD$  (то же в сечении  $AB'PD$  на рис.2, б) определяется по выражению

$$V_p = 2 \int_0^{RS} \int_0^I (z_2 - z_1) dx dy, \quad (6)$$

где  $I = R - OA'$ ;

$R$  – радиус витка спирали,  $R = D/2$ ;

$A'E$  – проекция стороны  $AD$  на ось  $X$ -ов,  $OA' = R - A'E$ ;

$S = \sqrt{R^2 - x^2}$  – текущее расчетное значение высоты заполнения лопасти спирали;

$z_1$  и  $z_2$  – текущие координаты по оси  $Z$ ;

$D$  – диаметр спирали.

На рис.2 б сплошной линией  $ABC$  обозначено сечение реального объема порции песков, а штрихом показана перемещаемая часть массы песков после выравнивания поверхности порции и приведения ее к горизонтальной плоскости  $AB'P$ . Причем эта масса песков перемещается за пределы линии  $BC$ . Реальный объем порции песков меньше расчетного объема  $V_p$ , определяемого по выражению (7), на величину объема  $V_1$ . Для приведения расчетного геометрически идеализируемого  $V_p$  объема порции к реальному объему  $V$  вводят корректирующий коэффициент  $K_2$  объема и при этом он может быть задан:

в виде константы –

$$V = q \cdot V_p, K_2 = q;$$

в виде уравнения первой степени –

$$V = I + mV_p, K_2 = f(I, m); \quad (7)$$

в виде уравнения второй степени –

$$V = a + bV_p + cV^2, K_2 = f(a, b, c),$$

где  $q, I, m, a, b, c$  – коэффициенты уравнений.

Выбор вида корректирующего коэффициента (константы или уравнений связи) определяется требуемой точностью определения реального объема порции: с повышением точности сложность связи между анализируемыми объемами  $V$  и  $V_p$  повышается. Собственно коэффициенты в уравнениях связи определяются предварительно экспериментально для конкретных СК и условий работы путем сравнения объемов порции песков  $V_p$  – рассчитанного по (4) и  $V$  – реально измеренного мерной емкостью при остановленном классификаторе. Эти коэффициенты определяют известными методами математической статистики при наличии не менее трех пар значений указанных объемов (для обеспечения их статистической устойчивости) на всем интервале шкалы изменения производительности по пескам, особенно на уровнях 20-30%, 50-60%, и 80-90% от максимальной и технически допустимой производительности по пескам для конкретного СК. Найденные таким образом коэффициенты уравнений связи используют при определении реального объема и последующем оперативном определении производительности по пескам по данному способу без их дальнейшего уточнения, для конкретных СК и условий работы.

Зондирование и определение высоты порции песков по предлагаемому способу позволяет улучшить условия проведения замеров и повысить их точность при расчете объема порции песков. Однако для этого необходимо дополнительно определить новые технические данные классификатора; диаметр несущего вала спирали и угол смещения спицы. Это связано с отклонениями в конструкции некоторых моделей СК типов КСН КСП и требованием универсальности применения способа.

Практически установлено, что из-за некоторого различия в изготовлении спиц и лопастей, непрерывного и динамичного изменения производительности потока пульпы на входе в классификатор (из мельницы), объемы даже двух рядом находящихся порций песков могут отличаться на 0-10%, что в особенности характерно при сравнении рядом расположенных порций песков под разными заходами спирали. Поэтому, с целью повышения точности определения высоты, зондирование необходимо выполнять непрерывно в каждой из рядом движущихся порций под каждым заходом спирали при общем количестве измерений не менее числа заходов. Так при двух заходах в спирали рекомендуется выполнять по 2-4 зондирования непрерывно движущихся и рядом расположенных порций под каждым заходом. В результате в данном случае получают 4-8 значений высоты  $b$ .

Известные скорости вращения спиралей 1,5-4 об/мин приводят к тому, что для каждого измерения высоты имеются 8-20 с. Этого времени достаточно, чтобы ввести зонд в порцию песков и, вращая его, зафиксировать влажный след от массы песков по длине зонда, затем перевернуть зонд другим концом (зонд представляет собой металлический стержень или трубку диаметром 8-10 мм и длиной 2,0-3,5 м) и выполнить зондирование следующей порции песков. Далее с помощью измерительной линейки измеряют длину влажного следа по длине зонда, вытирают его насухо и аналогично повторяют зондирование двух следующих рядом движущихся порций, оценивают их высоту и так далее – до набора требуемого количества измерений. Действительное значение высоты  $b$  определяют как среднее из полученного ряда измерений по выражению

$$b = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (8)$$

где  $b_i$  – измеренная высота порции песков в каждом из  $n$  измерений.

Плотность твердой фазы материала песков  $\delta_T$  определяют также предварительно путем отбора нескольких проб песков при различных значениях производительности по пескам, разделки этих проб по известным в технологии обогащения методикам и усреднения полученных результатов плотности. Плотность твердой фазы песков  $\delta_T$  в основном зависит от качества исходной руды и при поддержании ее значений в определенных интервалах полученное среднее значение плотности твердой фазы песков используют без дополнительной корректировки.

Текущее значение плотности массы песков в порции  $P$  определяют путем отбора пробы песков в средней части порции, при ее сбрасывании в песковый желоб с помощью специальной измерительной емкости объемом 1 дм<sup>3</sup>. Рекомендуется обеспечить взвешивание пробы прямо в указанной емкости, без дополнительных пересыпаний массы песков, что, в свою очередь, приводит к повышению точности оценки плотности  $P$ .

Определение текущих значений  $b$  и  $P$  выполняют в одном опыте при необходимости оценки текущей производительности по пескам, как в известном способе, одновременно или с интервалом времени до 5 мин. На этом интервале времени, как установлено экспериментально для разных классификаторов, имеющаяся инерционность процесса не приводит к существенному изменению этих величин (отклонение  $\Delta e$  превышает  $\pm 5\%$ ).

Масса контролируемой порции  $M$  определяется по значениям реального объема  $V$ , м<sup>3</sup> и текущего значения плотности  $P$ , т/м<sup>3</sup>

$$M = V \cdot P, \text{ т}; \quad (9)$$

а содержание твердой фазы материала песков – по известному выражению

$$T = \frac{(P - 1)\delta_T}{P(\delta_T - 1)}, \text{ отн. ед.}, \quad (10)$$

где  $\delta_T$  – плотность твердой фазы материала песков, определяемая предварительно, т/м<sup>3</sup>;

$P$  – текущее значение плотности порции, т/м<sup>3</sup>.

В результате часовая производительность по твердой фазе песков классификатора  $Q_r$  с учетом полученных значений равна

$$Q_r = M \cdot T \cdot r \cdot n \cdot 60 \cdot m, \text{ т/ч}, \quad (11)$$

где  $M$  – текущее значение массы порции песков, т;

$T$  – содержание ее твердой фазы, отн. ед.;

$r$  – количество заходов спирали, ед.;

$n$  – скорость вращения вала спирали, об/мин;

$60$  – коэффициент времени;

$m$  – количество спиралей в одном корыте классификатора, сбрасывающих пески в общий желоб.

Некоторые модели классификаторов, имеющие более одной спирали, имеют и различно расположенные места подачи потоков пульпы и дополнительной воды в корыто СК: совместно в один желоб, по разным сторонам корыта классификатора или имеется несколько мест подачи потоков пульпы и воды. Все это приводит к отличиям в условиях классификации и к различной производительности по пескам каждой спирали данного классификатора, сбрасывающим их в общий песковый желоб, причем различие может достигнуть  $\pm 20\%$ . В этом случае рекомендуется определять производительность раздельно для каждой спирали по приведенному способу, а общая производительность равна их сумме. Причем корректирующие коэффициенты  $K_1$  и  $K_2$ , найденные для одной спирали, без существенной погрешности применяются для других спиралей, равно как-и для других классификаторов данной модели, работающих в равных технологических условиях. Так для двухспирального классификатора

$$Q_r = Q_r' + Q_r'', \quad (12)$$

где  $Q_r$  – результирующая производительность классификатора;

$Q_r'$ ,  $Q_r''$  – производительность по первой и второй, соответственно спиралью классификатора.

В некоторых случаях при больших значениях производительности конкретного СК возможно заполнение песками всего объема между соседними витками и масса песков касается предыдущего витка спирали, т.е. последний как бы срезает переднюю часть объема порции песков, что характерно для слабонаклонных классификаторов,  $\alpha \leq 18$ . На чертеже (б) показаны шаг спирали  $DD'$  и линия расположения предыдущего витка спирали  $L'D'$  при заполнении массой песков межвиткового пространства менее шага спирали:  $DC \leq DD'$ . В данных случаях при работе классификатора точка с располагается правее линии вит спирали  $L'D'$ , т.е. заполнение  $DC > DD'$ . Тогда расчетный геометрический идеализируемый объем порции уменьшают на величину объема, отсекаемую предыдущим витком. Причем последний определяют аналогично по выражениям (2) и (3), а его высоту  $b$  определяют с учетом отклонения шага спирали от проекции высоты  $DB$  на линию дна корыта, т.е. искомая высота

$$b = \left( \frac{b'}{\sin \alpha} - DD' \right) \cdot \sin \alpha \quad (13)$$

или, упростив выражение (10), получают

$$(14)$$



$$b'' = b' - DD' \cdot \sin \alpha ,$$

где  $b'$  – измеренная зондом и приведенная к расчетной высота порции, м;

$\alpha$  – угол наклона корыта классификатора к линии горизонта, град;

$b''$  – расчетная высота порции для объема отсекаемого предыдущим витком спирали.

Пример. Предварительно в конкретных технологических условиях работы контролируемого СК и его технических характеристик определяют корректирующие коэффициенты  $K_1$  – для высоты порции песков и  $K_2$  – для приведения реального объема к расчетному, геометрически идеализируемому объему порции песков с учетом соответственно выражений (5) и (7). Дополнительно определяют угол смещения спицы спирали относительно плоскости, перпендикулярной к осевой линии вала, и определяют радиус несущего вала спирали.

В процессе движения порции песков и в условиях нормальной работы СК зондируют вертикально порцию по наибольшей длине перпендикуляра к линии горизонта от поверхности порции в точку касания лопасти спирали и дна корыта (постели), измеряют длину влажного следа по поверхности зонда, которая является  $b$  – высотой порции песков. По измеренной высоте порции с учетом корректирующего коэффициента  $K_1$  определяют расчетную высоту  $b'$  и расчетный геометрически идеализируемый объем  $V_p$  контролируемой порции песков по выражению (6), используя в последнем известные технические характеристики СК: диаметр спирали и угол наклона корыта классификатора к линии горизонта. По значению расчетного объема, с учетом корректирующих коэффициентов вида (7) определяют реальный объем порции  $V$ . Отбирают пробу порции песков, взвешивают ее и оценивают текущее значение плотности  $P$  потока песков.

С учетом известного среднего значения плотности твердой фазы материала песков  $\delta_t$ , измеренных значений высоты порции  $b$ , объема  $V$  и плотности  $P$  по выражениям (8) и (9) определяют общую массу порции песков  $M$  и содержание твердой фазы  $T$  в этой массе, а с учетом технических характеристик СК – скорости вращения  $n$  вала спирали, количества спиралей  $m$  в корыте СК и заходов  $g$  в каждой из спиралей по выражению (10) определяют часовую производительность СК по пескам на момент проведения измерений. Повышение точности определения производительности обеспечивается выполнением зондирования непрерывно, в каждой из рядом движущихся порций, под каждым из заходов спирали и общим количеством измерений не менее числа заходов, а высоту порции песков  $b$  определяют по усредненному значению выполненных измерений по выражению (8).

Так, например, для классификатора типа ИКСН-24В с углом наклона корыта  $\alpha = 24^\circ$ , скорости вращения спирали  $n = 3,56$  об/мин и при плотности твердой фазы песков  $\delta_t = 3,15$  т/м, получено, что коэффициент  $K_1 = 0,786$ , а коэффициент  $K_2$  приведения расчетного объема  $V_p$  к реальному  $V$  принят в виде уравнения 1-й степени  $V = 13,502 - 0,3033 \cdot V_p$ .

В результате зондирования порций песков в интересующем режиме работы получено 8 значений высоты заполнения  $b_i$  – по четыре под каждым заходом, м:

0,39, 0,41, 0,39, 0,40, 0,40, 0,41, 0,38, 0,42. Среднее значение высоты по (8) равно  $b = 0,40$  м. Плотность пробы песков в порции, отобранной после измерения высоты, получена  $P = 2 \cdot 710$  т/м. На основании полученных данных часовая производительность по пескам на момент измерения  $O_r = 5863$  т/ч.

В случае, если для двуспирального классификатора производительность по пескам по каждой из спиралей отличается более чем на 5%, то, с целью повышения точности, определяют производительность указанным способом по каждой спирали отдельно, а общую производительность определяют как их сумму по выражению (12).

При повышенных загрузках СК песками и достижении массой песков предыдущего витка спирали, т.е. в случае, когда предыдущий виток спирали как бы срезает переднюю часть порции песков, расчетный геометрически идеализируемый объем  $V_p$  уменьшают на величину объема  $V_1$ , условно отсекаемого предыдущим витком спирали. Последний определяют приведенным способом по выражениям (6) и (7), а расчетное значение высоты  $b$  для него – по выражению (14).

Алгоритм предлагаемой технологии состоит из следующих этапов.

1. По устройствам автоматического контроля (рис.1) текущих расходов руды  $Q_0$ , воды  $Q_B$ , песков  $Q_R$  оценивают наличие установившегося режима измельчения и классификации в цикле измельчения на интервале 30 мин.
2. При достижении п.1, мерным зондом оценивают высоту порции песков между витками спирали под каждым заходом спирали и рассчитывают среднее значение

$$b' = (b_1' + b_2') / 2.$$

3. Мерной кружкой объемом 10 дм<sup>3</sup> (рис. 1, точка 3) отбирают пробу песков из порции (сразу после зондирования), при сбрасывании её в песковый желоб. Взвешивают её и определяют плотность порции песков  $\rho_p$ , при принятой стандартной плотности руды  $\rho_p = 2,65$  г/см<sup>3</sup>.
4. Используя, заранее подготовленное программное обеспечение новой технологии (установленное на планшете или в виде таблиц на бумажном носителе), вводят данные  $b'$  и  $\rho_p$ , в результате определяют значение производительности (9, 10) спирального классификатора по пескам на момент опробования.
5. По устройствам автоматического контроля (см. п.1) оценивают поддержание установившегося режима в цикле измельчения на интервале исследований и определения оценки производительности по пескам. Наличие его, позволяет принять полученное значение оценки производительности. В случае обнаружения каких-либо сбоев установившегося режима, исследование необходимо повторить, начиная с (п.1).

Предлагаемая технология и алгоритм были опробованы в условиях различных обогатительных фабрик ИнГОКа, СевГОКа, ЛебГОКа, ТГМК, ЗабГМК и других и подтвердили свою работоспособность, обеспечили возможность получения оценки производительности на интервале (5...10) мин при накладке технологии процессов рудоподготовки и исследовании, разработанного авто-

ром, устройства автоматического контроля производительности спирального классификатора по пескам типов УКПП и УКПП-2.

Предлагаемая итерационная технология и устройства УКПП и УКПП-2 образуют единый комплекс автоматизации контроля производительности и обеспечили получение ее оценки с относительной погрешностью (5...10)% [6].

#### **Перечень ссылок**

1. Дмитриев В.И. Экспериментальные методы оценки производительности по рециклу в замкнутых циклах измельчения / В.И. Дмитриев // Форум гірників-2015: матеріали міжнародної конференції, 30 вересня – 3 жовтня 2015 р., м. Дніпропетровськ. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «НГУ», 2015. – Т. 3. – С. 160-169.
2. Серго Е.Е. Опробование и контроль технологических процессов обогащения/ Е.Е. Серго. Изд.2 Киев, Изд-во «Вища школа», 1979, 272 с.
3. Шупов Л.П. Математическая модель и алгоритм управления секцией магнитообогащительной фабрики с шаровым измельчением/ Л.П. Шупов// Обогащение руд черных металлов. – М.: Недра, 1979. – Вып.8. – с. 20-26
4. Разумов К.А. Проектирование обогатительных фабрик/ К.А. Разумов, В.А. Петров. – М.: Недра, 1982. – 518 с.
5. Дмитриев В.И. Способ оперативного определения производительности спирального классификатора по пескам / В.И. Дмитриев // Авторское свидетельство №1659102 СССР, МКИ В 03 в 13/00. Заявлено 19.12.88. Опубликовано 30.06.91. Бюл. №24// Открытия, изобретения. – 1986ю – с. 34-38.
6. Дмитриев В.И. Система автоматического контроля производительности спирального классификатора / В.И. Дмитриев // Український метрологічний журнал. – Харків: МНВЦ, 2017. – №1. – С. 20-22.

#### **ABSTRACT**

**Purpose.** To improve the technology of productivity estimation of sands for the spiral classifier in the ore grinding cycle.

**The methodology** of research is based on the modeling geometry of the object – a portion of sands – during transportation between turns of the classifier spiral; uses methods and technologies for sampling and analysis in the ore dressing processes and methods of mathematical statistics.

**Findings.** The applying of the proposed technology makes it possible to increase the accuracy of productivity estimation for operational control when monitoring the control tools and adjusting the ore dressing technology.

**The originality** consists in substantiating the new iterative technology which provides a significant increase in efficiency and accuracy of the control.

**Practical implications.** The research results can be applied to the spiral classifiers of the ore preparation processes of the beneficiation technology.

**Keywords:** *technology, spiral classifier, model, algorithm, portion of sands*