

## МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДОПОТОКА КАРЬЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

*В статье рассмотрен вопрос моделирования работы системы управления качеством в рудопотоке железорудного карьера с применением современной теории управления. Пример расчета параметров рудопотока на основании данной модели показал вероятность получения заданных параметров с величиной  $P = 0,823$*

*У статті розглянуто питання моделювання роботи системи управління якістю в рудопотоці залізорудного кар'єру із застосуванням сучасної теорії управління. Приклад розрахунку параметрів рудопотоку на підставі даної моделі показав вірогідність здобуття заданих параметрів з величиною  $P = 0,823$ .*

*In the article the question of design of work of control system is considered by quality in stream of iron-stone of iron-ore quarry with the use of modern theory of management. The example of calculation of parameters of stream of iron-stone on the basis of this model showed probability of receipt of preset parameter with in size  $P = 0,823$*

Современный железорудный карьер представляет собой сложную систему с развитой иерархической структурой, основной целью функционирования которой является добыча руды. По общему определению, к этому классу относятся системы с относительно независимым, автономным поведением подсистем при высокой внутренней активности и избирательности, целенаправленности функционирования системы в целом. Такие системы являются открытыми, находящимися в постоянном взаимодействии с окружающей средой и принципиально способны решать разнообразные задачи при различных условиях.

**Проблема и ее связь с основными научными и практическими заданиями.** Исходя из основной цели функционирования карьера формулируются требования к качеству добываемого сырья. Распределение содержания полезного компонента в забоях карьера неравномерно и зачастую носит хаотический характер. [1] Вместе с тем, рудопоток карьера должен иметь заданную величину содержания полезного компонента, не выходящую за границу диапазонного значения в любой момент времени.

**Анализ исследований и публикаций.** Технологическая эффективность стабилизации качественных свойств рудного сырья доказана многими исследованиями таких известных ученых, как В. В. Ржевский, Г. Г. Ломоносов, Ф.Г. Грачев, П. П. Бастан, В.Ф. Бызов, С.Я. Арсеньев и самой практикой работы горно-обогачительных предприятий.

Исследования и публикации, посвященные проблеме формирования рудопотока карьера, детально обосновывают первоначальный расчет нагрузки на забои с учетом качественных характеристик, но в реальных условиях производства не учитывается динамика колебаний качества, связанная с неравномерностью распределения полезного компонента в недрах и фактическое содержание полезного компонента в рудопотоке.

**Постановка задачи.** Исходя их общих задач системы управления качеством необходимо определить основные показатели, от которых и зависит их решение:

1. Среднее содержание железа в руде, добываемой в забоях;
2. Ограничение по массе руды, доставляемой из забоев;
3. Уровень затрат при доставке руды из забоев;
4. Оптимальные массы руды, доставляемые из забоев в пункт.

При этом показатели п.п. 1-3 являются заданными, а показатель 4-расчетным.

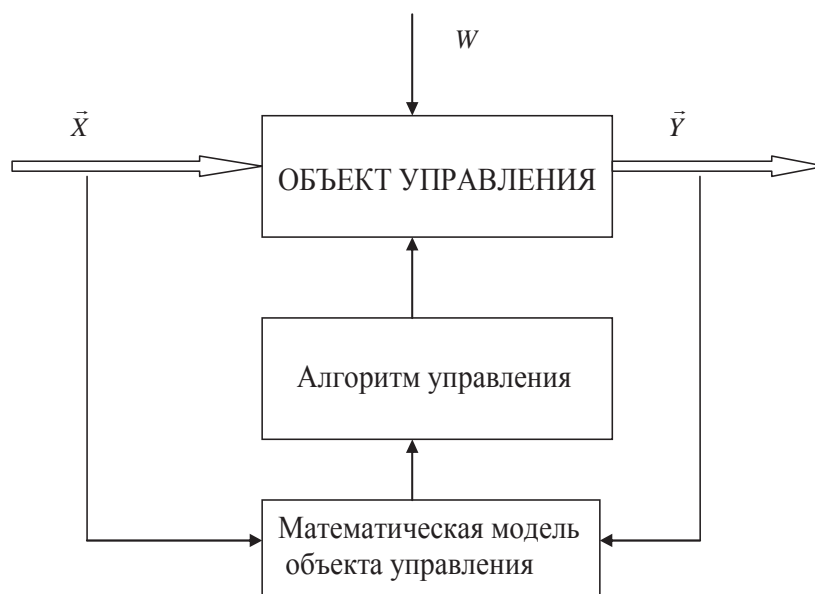
**Изложение материала и результаты.** В данной работе исследуется одна из наиболее важных проблем, связанных с управлением качеством рудопотока железорудного карьера – проблема стабилизация качества с использованием теории управления.

Рудопоток, формируемый из добываемой в карьере руды, в дальнейшем рассматривается как входной поток на рудообогачительную фабрику с заданными качественными характеристиками.

Современная теория управления является естественным результатом развития общей теории систем. В настоящее время уделяется значительное внимание системному подходу при решении различных задач. Методологическим преимуществом такого подхода является рассмотрение решаемой проблемы в комплексе, то есть как системы. На рис. 1 представлена функциональная схема системы управления (СУ) с точки зрения современной теории управления.

Согласно схеме рис. 1 на вход объекта управления (ОУ) поступает входное воздействие  $\vec{X}$ , которое включает контролируемые и управляемые переменные. Кроме того, на ОУ воздействуют неконтролируемые возмущения  $\vec{W}$ . Выход ОУ обозначен переменной  $\vec{Y}$ . Согласно представленной схеме для ОУ имеет место зависимость

$$F(\vec{X}, \vec{W}) = \vec{Y}. \quad (1)$$



*Рис. 1. Функциональная схема системы управления сложным объектом*

Зависимость (1) в общем случае неизвестна и зависит от неконтролируемых возмущений  $\vec{W}$ . Для нахождения функциональной зависимости между входными и выходными переменными ОУ в блок «Математическая модель объекта управления» подается информация о входных и выходных переменных ОУ, который и реализует построение математической модели ОУ. С помощью построенной математической модели ОУ формируется алгоритм управления ОУ в блоке «Алгоритм управления», позволяющий решить поставленную задачу управления ОУ. Необходимо также подчеркнуть, что наличие неконтролируемых возмущений, действующих на ОУ, приводит к необходимости анализа качества идентификации ОУ для последующей адаптации математической модели к изменившимся условиям.

Как видно на рис. 1, современная теория управления рассматривает синтез системы управления сложным объектом на основе его математической модели. Поэтому является необходимым построение математической модели добычи руды в карьере как элемента СУ качеством железной руды. В рассматриваемом случае математическая модель служит целям управления, что и определяет ее особенности. На рис. 2 представлена функциональная схема добычи руды с последующей ее доставкой на вход обогатительной фабрики (ОФ). Согласно схеме в забоях карьера, обозначенных на рис. 2 соответствующими номерами, добывается железная руда. Затем эта руда транспортом доставляется к месту ее усреднения, выделенным на рис. 2 как сумматор, после чего руда заданного качества поступает на вход ОФ. Математическая модель, необходимая для управления описанным процессом добычи руды, представляет собой запись требований, которые должны быть реализованы синтезируемой СУ качеством железной руды.

Ведем следующие обозначения:

$N$  - число добычных забоев в карьере,

$m_k$  - масса руды, доставляемая транспортом из  $k$ -ого забоя, т,

$c_k$  - содержание железа в руде, доставляемой из  $k$ -ого забоя, *отн. ед.*

Общая масса руды, доставляемая транспортом из забоев карьера на усреднение, определяется возможностями ОФ по переработке руды и является заданной величиной

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0, \quad (2)$$

где  $m_0$  – заданная на входе ОФ для переработки масса руды, т

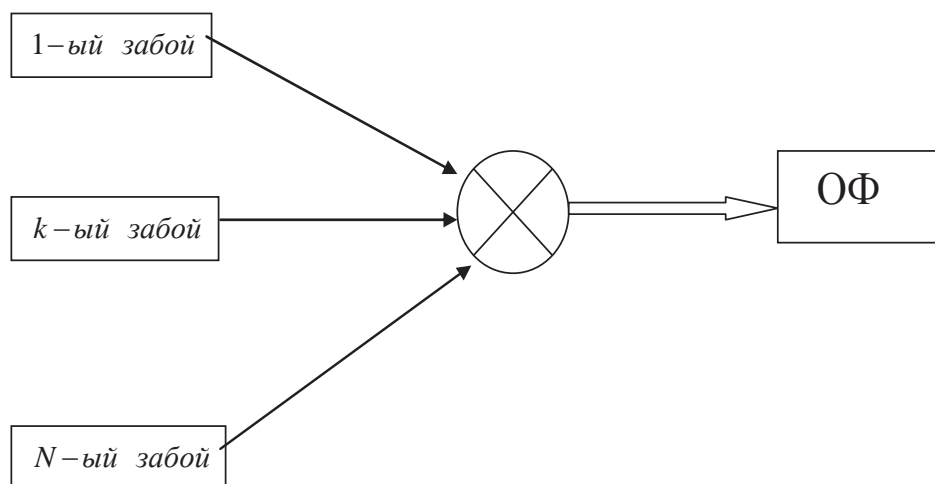


Рис. 2. Функциональная схема формирования рудопотока в карьере

В свою очередь, согласно технологическим требованиям содержание железа в руде после усреднения должно соответствовать заданной величине, то есть имеет место равенство по количеству железа в руде

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 \cdot c_0, \quad (3)$$

где  $c_0$  – заданное содержание железа в руде после усреднения, *отн. ед.*

Естественным требованием являются также ограничения на величины масс руды, доставляемых транспортом из забоев

$$0 \leq m_k \leq \bar{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (4)$$

где  $\bar{m}_k$  – максимально возможная масса руды, доставляемая транспортом из  $k$ -ого забоя, т

Формулы (2), (3) и (4) представляют математическую модель, входящую в СУ качеством железной руды.

Вместе с тем, возможна и другая формулировка математической модели, в которой условие (3) заменяется ограничениями на размах

колебаний содержания железа в руде после усреднения, т.е. формирования рудопотока:

$$c_{\min} \cdot m_0 \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} \cdot m_0, \quad (3a)$$

где  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – наименьшая и наибольшая допустимые величины содержания железа в руде после шихтовки.

Для функционирования СУ качеством железной руды выдвигаются определенные требования, к которым относятся наблюдаемость, управляемость и достижимость.

Представляется целесообразным рассмотреть более подробно эти требования применительно к решаемой задаче.

Согласно общему определению под наблюдаемостью понимается наличие информации, которая необходима для решения СУ задачи управления. Применяя современную терминологию, можно сказать, что для решения СУ задачи управления необходимо проведение соответствующего мониторинга, т. е. опробования забоев на содержание полезного компонента. Это приводит к естественному выводу, что для нормального функционирования СУ при добыче руды в карьере требуется достоверный контроль качества. Содержание железа в руде характеризуется стохастичностью, что определяется особенностями разрабатываемых железорудных месторождений. Вследствие этого, содержание железа в руде, добываемой в забое, зависит от времени и должно быть рассмотрено как случайный процесс. Для оптимизации времени дискретности измерения содержания железа в руде естественно выбрать такой минимальный промежуток времени, при котором замеры, образующие временной ряд, были бы независимы друг от друга.

Пусть в забое проводятся измерения содержания железа в моменты времени  $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_M$  которые обозначаются  $c(t_1), c(t_2), \dots, c(t_k), \dots, c(t_M)$ . Учитывая, что содержание железа измеряется через фиксированный интервал времени  $\Delta$ , временной ряд, описывающий содержание железа в руде, представляет собой последовательность величин содержания железа

$$c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_M \quad (5)$$

в равноотстоящие моменты времени  $t_0 + \Delta, t_0 + 2\Delta, \dots, t_0 + k\Delta, \dots, t_0 + M\Delta$ .

В общем случае полученный временной ряд (5) не является стационарным. Для того, чтобы сделать его стационарным, необходимо проведение процедуры фильтрации, заключающейся во взятии разностей

$$\nabla c_k = c_k - c_{k-1}. \quad (6)$$

Как правило, полученный временной ряд является стационарным. Если полученный ряд не является стационарным, к нему снова применяется операция взятия разностей. В конечном итоге, как показывает практика, получаемый временной ряд становится стационарным. Далее для полученного временного ряда вычисляются выборочные автокорреляции

$$r_i = \frac{\sum_{k=1}^{M-i} (z_k - \bar{z})(z_{k+i} - \bar{z})}{\sum_{k=1}^M (z_k - \bar{z})^2}, \quad (7)$$

где  $z_k = \nabla^d c_k$  – разность  $d$ -ого порядка,  $\bar{z} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M z_k$  – выборочное среднее,

$M$  – число замеров содержания железа в руде.

Анализ результатов расчетов, проведенных по формуле (7), позволяет сделать вывод о дискретности измерения содержания железа в руде. Учитывая, что выборочные автокорреляции (7) характеризует степень связи значений переменных, принимается, что измеряемые величины будут некоррелированы, если величина выборочной автокорреляции будет удовлетворять условию

$$|r_m| \leq 0,05. \quad (8)$$

Тогда, очевидно, дискретность замера содержания железа в руде составит величину

$$T = m \cdot \Delta. \quad (9)$$

Таким образом, при замере содержания железа в руде при ее добыче в забое с дискретностью, определяемой (9), массив полученных данных будет отображать реальную динамику изменения содержания полезного компонента.

Следующим условием функционирования СУ качеством железной руды является управляемость, которая подразумевает наличие переменных, позволяющих управлять качеством железной руды, добываемой в карьере. В качестве таких переменных выступают величины масс руды, доставляемых из забоев в пункт шихтовки.

Математическая модель (2), (3), (4) дает возможность сформулировать задачу управления качеством железной руды. Прежде всего, необходимо отметить, что содержание железа в руде, добываемой в карьере, является случайной величиной. Далее, целесообразно перейти к безразмерной форме представления математической модели путем деления уравнений (2), (3), (4) на объем переработки руды  $m_0$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k = 1, \quad (10)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k C_k = C_0, \quad (11)$$

$$0 \leq \mu_k \leq \bar{\mu}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (12)$$

где  $C_k$  – содержание железа в руде из  $k$ -ого забоя, являющееся случайной величиной,

$C_0$  – содержание железа в руде после шихтовки, являющееся случайной величиной,

$$\mu_k = \frac{m_k}{m_0}, \quad \bar{\mu}_k = \frac{\bar{m}_k}{m_0}.$$

Необходимо подчеркнуть, что условия (10) и (12) накладывают дополнительное ограничение

$$\sum_{k=1}^N \bar{\mu}_k \geq 1. \quad (13)$$

Если используется условие (3а) вместо (3), то имеет место неравенство

$$c_{\min} \leq \sum_{k=1}^N \mu_k C_k \leq c_{\max} \quad (11a)$$

где  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – наибольшее и наименьшее содержание железа в руде после шихтовки.

Математическая модель (10), (11), (или (11a)), (12) содержит переменные  $\mu_k$ , которые являются управляющими переменными.

Наличие свободных управляющих переменных дает возможность задать функционал, определяющий условие расчета величин управляющих переменных. Представляется целесообразным в качестве такого функционала выбрать функционал, характеризующий затраты на добычу и транспортировку руды из забоев

$$L = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \mu_k, \quad (14)$$

где  $a_k$  - величины, которые характеризуют величину относительных затрат при добыче и транспортировке руды из  $k$ -ого забоя.

Очевидно, управление должно строиться так, чтобы минимизировать функционал (14)

$$L = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \mu_k \rightarrow \min_{\mu_k} . \quad (15)$$

Запись математической модели можно сделать более компактной для использования, если воспользоваться матричными обозначениями. Если ввести обозначения

$$M = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \cdot \\ \mu_k \\ \cdot \\ \mu_N \end{pmatrix}, \bar{M} = \begin{pmatrix} \bar{\mu}_1 \\ \cdot \\ \bar{\mu}_k \\ \cdot \\ \bar{\mu}_N \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} C_1 \\ \cdot \\ C_k \\ \cdot \\ C_N \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} a_1 \\ \cdot \\ a_k \\ \cdot \\ a_N \end{pmatrix}, E = \begin{pmatrix} 1 \\ \cdot \\ 1 \\ \cdot \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (16)$$

то математическая модель (10), (11), (12) представится в виде

$$E^T M = 1, \quad (17)$$

$$C^T M = C_0, \quad (18)$$

$$M \leq \bar{M}, \quad (19)$$

$$E^T \bar{M} \geq 1, \quad (20)$$

где  $E^T = (1 \ . \ 1 \ . \ 1)$ ,  $C^T = (C_1 \ . \ C_k \ . \ C_N)$ .

В свою очередь, неравенство (11а) запишется в виде

$$c_{\min} \leq C^T M \leq c_{\max}. \quad (18a)$$

Условие (15) примет вид

$$L = A^T M \rightarrow \min_M, \quad (21)$$

где  $A^T = (a_1 \ . \ a_k \ . \ a_N)$ .

Наконец, третьим условием функционирования СУ качеством железной руды является достижимость, которая подразумевает реализацию СУ сформулированной задачи управления (10), (11), (или (11а)), (12), (13), (15) или в матричном виде (17), (18), (или (18а)), (19), (20), (21).

Как показывает анализ управляемости СУ качеством железной руды, возможна ситуация, при которой решение сформулированной выше задачи управления невозможно, то есть формулировка с математической точки зрения некорректна. В этом случае ограничения, формулируемые в математической модели, являются, в целом, нереализуемы, или, как говорят, образуют пустое множество. Если ввести обозначения для множеств, определяемых математической моделью СУ качеством железной руды,

$$\begin{aligned} \Omega_1 &= \{M \mid E^T M = 1\}, \Omega_2 = \{M \mid C^T M = C_0\}, \\ \Omega_3 &= \{M \mid M \leq \bar{M}\}, \Omega_4 = \{\bar{M} \mid E^T \bar{M} \geq 1\} \end{aligned} \quad (22)$$

то условие достижимости для этой СУ запишется в виде



$$\Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3 \cap \Omega_4 \neq \emptyset. \quad (23)$$

Принимая во внимание, что содержание железа, добываемое в забоях, является случайной величиной, естественно воспользоваться числовыми характеристиками этой случайной величины – математическим ожиданием и дисперсией. Тогда задача управления качеством железной руды запишется в виде

$$L = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \mu_k \rightarrow \min_{\mu_k} \quad (24)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k = 1 \quad (25)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k M[C_k] = M[C_0] \quad (26)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k s_k \leq s_0 \quad (27)$$

$$0 \leq \mu_k \leq \bar{\mu}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (28)$$

где  $M[C_k]$ ,  $M[C_0]$  – математические ожидания содержания железа из  $k$ -забоя и после шихтовки, соответственно,

$s_k$ ,  $s_0$  – величины, характеризующие “разброс” содержания железа из  $k$ -забоя и после шихтовки, соответственно.

В качестве величин, характеризующих “разброс” содержания железа в руде, могут быть выбраны такие числовые характеристики случайных величин, как среднее квадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение, максимально абсолютное отклонение и т. п.

Рассматриваемая задача управления (24), ..., (28) является линейной задачей программирования, и может быть решена, например, симплекс-методом.

Решение вопроса о достижимости СУ, прежде всего, связано с заданием величины математического ожидания содержания железа и величины, характеризующей “разброс” содержания железа в руде, после шихтовки.

Результатом решения задачи (24), ..., (28) являются оптимальные объемы руд, добываемых в забоях

$$\mu_1^0, \mu_2^0, \dots, \mu_N^0. \quad (29)$$

Действительные объемы руды, доставляемые из забоев карьера, находятся по формулам

$$m_k = \mu_k^0 \cdot m_0, \quad (k = 1, 2, \dots, N). \quad (30)$$

Если полученные объемы руды (30) не удовлетворяют требованиям, связанным с добычей руды в карьере, то для решения вопроса достижимости СУ качеством железной руды необходимо привлечение дополнительных условий, которые являются неформальными и могут быть решены только с помощью технологов, выступающих в роли экспертов.

В качестве примера рассмотрим решение задачу управления качеством железной руды для четырех забоев с целью формирования рудопотока с заданными характеристиками.

Задача управления для добычи руды из четырех забоев была также рассмотрена не для абсолютных, а для относительных объемов добываемых руд в виде:

$$L = a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + a_3\mu_3 + a_4\mu_4 \rightarrow \min_{\mu_k} \quad (31)$$

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1, \quad (32)$$

$$M[C_1]\mu_1 + M[C_2]\mu_2 + M[C_3]\mu_3 + M[C_4]\mu_4 = M[C_0], \quad (33)$$

$$s_1\mu_1 + s_2\mu_2 + s_3\mu_3 + s_4\mu_4 \leq s_0, \quad (35)$$

$$\mu_k \leq \bar{\mu}_k, (k = 1,2,3,4). \quad (36)$$

Для конкретного решения зададим численные значения, представленные в табл. 1. При этом среднее содержание железа в руде было выбрано равным 0,35, а среднеквадратическое отклонение 0,04.

Таблица 1

*Основные показатели системы управления качеством*

№ забоя	Среднее содержание железа в руде, отн. ед.	СКО содержания железа в руде	Ограничение по массе руды, доставляемой из забоев	Относительные затраты при доставке руды из забоев	Оптимальные массы руды, доставляемые из забоев в пункт шихтовки
1	0,2	0,02	0,3	1	0,3
2	0,3	0,03	0,6	2	0,1
3	0,4	0,04	0,2	1	0,2
4	0,45	0,05	0,4	3	0,4

Подставляя в (31),..., (36) данные табл. 1, получаем задачу управления

$$L = \mu_1 + 2\mu_2 + \mu_3 + 3\mu_4 \rightarrow \min_{\mu_k} \quad (37)$$

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1, \quad (38)$$

$$0,2\mu_1 + 0,3\mu_2 + 0,4\mu_3 + 0,45\mu_4 = 0,35, \quad (39)$$

$$0,02\mu_1 + 0,03\mu_2 + 0,04\mu_3 + 0,05\mu_4 \leq 0,04, \quad (40)$$

$$\mu_1 \leq 0,3, \mu_2 \leq 0,6, \mu_3 \leq 0,2, \mu_4 \leq 0,4 \quad (41)$$

Решение задачи (37),..., (41) численным методом дает оптимальные массы руд

$$\mu_1^0 = 0,3, \mu_2^0 = 0,1, \mu_3^0 = 0,2, \mu_4^0 = 0,4.$$

При этом среднеквадратическое отклонение составляет  $\sigma = 0,037$ .

Знание закона распределения содержания железа в руде после шихтовки позволяет вычислить вероятность того, что содержание железа в руде будет находиться в заданных границах  $(\underline{c}, \bar{c})$

$$P(\underline{c} < C < \bar{c}) = F(\bar{c}) - F(\underline{c}), \quad (42)$$

где  $F(c)$  – интегральная функция распределения содержания железа в руде после шихтовки.

Если закон распределения содержания железа в руде после шихтовки является нормальным с параметрами математическим ожиданием  $M[C] = c_0$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ , формула (42) принимает вид

$$P(\underline{c} < C < \bar{c}) = \Phi\left(\frac{\bar{c} - c_0}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\underline{c} - c_0}{\sigma}\right), \quad (43)$$

где  $\Phi(x)$  – функция Лапласа.

Для примера, рассмотренного выше, имеем  $c_0 = 0,35$ ,  $\sigma = 0,037$ .

Принимая, что необходимый разброс содержания железа задается величинами  $\underline{c} = 0,3$ ,  $\bar{c} = 0,4$ , по формуле (43) находим

$$P(0,3 < C < 0,4) = \Phi\left(\frac{0,4 - 0,35}{0,037}\right) - \Phi\left(\frac{0,3 - 0,35}{0,037}\right) = 2\Phi(1,35) = 2 \cdot 0,4115 = 0,823. \quad (44)$$

### **Выводы.**

1. Современная теория управления позволяет создать модель системы управления качеством в рудопотоке карьера.

2. Пример решения задачи формирования рудопотока карьера показал, что при нормальном законе распределения, который определяется содержанием железа в руде после усреднения при добыче из четырех забоев, равным 0,35 и среднеквадратическим отклонением 0,037, вероятность того, что содержание железа в руде после шихтовки будет находиться в пределах (0,3-0,4) составляет  $P = 0,823$ .

### *Список литературы*

1. Арсеньев С.Я., Прудовский А.Д. Внутрикарьерное усреднение железных руд. – М.: Недра, 1980.

2. Бастан П.П., Костина Н.К. Смешивание и сортировка руд. – М.: Недра, 1990.

3. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров. – М.: Недра, 1991.

4. Кац М.Д. Математические основы теории управления: учебное пособие для практической и самостоятельной работы / М.Д. Кац –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. -107 с.

УДК 622.751

В.В. ДРИГА, к.т.н.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАКЛАДНОГО ИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗОРУДНОГО СЫРЬЯ**

*Работа посвящена повышению точности контроля качества ферромагнитных руд с применением индуктивных датчиков за счет компенсации влияния изменения уровня руды на конвейерной ленте.*

*Робота присвячена підвищенню точності контролю якості ферромагнітних руд із застосуванням індуктивних датчиків за рахунок компенсації впливу зміни рівня руди на конвеєрній стрічці.*

*The work is dedicated to improving the accuracy of the quality control of ferromagnetic ores using inductive sensors due to the compensation effect of changes in the level of ore on the conveyor belt.*

### **Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.**

Разработка индуктивных датчиков для определения содержания ферромагнитной фракции в рудах титаномагнетитовых и магнетитовых месторождений началась еще в 40-х годах прошлого столетия. При этом контроль качества железных руд необходимо производить во время всего производственного цикла – от разведочных и взрывных скважин до получения продуктов обогащения и концентрата. Это обеспечивает возможность автоматического управления всем производственным процессом получения железорудного концентрата. Кроме того применение этих датчиков в устройствах автоматики поможет выделить некондиционную руду из общего потока, что повышает эффективность процесса обогащения.

**Анализ исследований и публикаций.** Теоретическими исследованиями характеристик индуктивных датчиков и разработкой их конструкций занимались научные сотрудники Днепропетровского горного института – А.Н. Марюта, Н.И.Твердоступ; Криворожского горнорудного института - В.П. Хорольский; Ленинградского горного института – Ю.И.Кудрявцев; Свердловского горного института – О.Н. Молчанов и др. [1-3]. В основном эти исследования были направлены на повышение точности измерения параметров индуктивного датчика при