

УДК 681.518.2

**ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ  
РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ДОЗИРОВАНИЯ РУДНОГО СЫРЬЯ  
В ДОЗИРОВОЧНО-СМЕСИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ  
АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ФАБРИКИ**

В.И. БОБКОВ<sup>1</sup>, д-р. техн. наук, А.А. БЫКОВ<sup>1</sup>, канд. пед. наук,  
В.А. ОРЕХОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, С.В. НЕЗАМАЕВ<sup>2</sup>, ген. директор

<sup>1</sup>Филиал Национального исследовательского университета «МЭИ» в Смоленске,  
214013, Смоленск, Энергетический проезд, 1, e-mail: alex1by@mail.ru

<sup>2</sup>АО «Первая горнорудная компания»,  
109004, Москва, ул. Николоямская, 40/22, стр. 4, e-mail: pgrk@armz.ru

© Бобков В.И., Быков А.А., Орехов В.А.,  
Незамаев С.В., 2025

В статье представлена математическая модель расчета времени дозирования рудного сырья как основа создания программного комплекса автоматизации работы смесителей дозировочных комплексов отечественных горнорудных предприятий. Применение разработанной модели дает возможность проектировать современные дозировочно-смесительные комплексы для получения необходимого качества рудного сырья при минимальном времени смещивания, что существенно снижает простой технологического оборудования и тем самым повышает энергоэффективность агломерационных фабрик. Отмечено, что представление формы смесителя в виде ячеистой структуры позволило обеспечить неизменность состава рудного материала в процессе смещивания и при этом определить оптимальный закон движения его частиц. При использовании разработанного программного комплекса брак в составе шихты снизился на 11 %, скорость ссыпания сырья увеличилась на 17,4%, а время общего простоя оборудования сократилось в 1,37 раза.

**Ключевые слова:** программный комплекс, математическая модель, рудное сырье, дозировочно-смесительный комплекс, автоматизированные системы управления, численные методы, вычислительный элемент.

**DOI:10.46573/2658-5030-2025-1-77-87**

**ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время для улучшения качества выплавляемого сырья в отечественной горно-обогатительной индустрии необходимо обеспечить производство высококачественной шихты. К основным технологическим операциям, характеризующим протекание процесса на агломерационной машине, относятся окомкованные шихты, подача и загрузка ее на спекательные тележки, зажигание слоя шихты, ее спекание и охлаждение агломерата на охладителе [1].

До сих пор отсутствует возможность проведения анализа рудного сырья для формирования шихты непосредственно перед ее загрузкой в бункер дозатора, при этом на практике загружаемый материал нередко может различаться по химическому составу [2], что существенно усложняет моделирование и автоматизацию данного процесса.

Для большинства автоматизированных систем в качестве объекта управления можно рассматривать технологическое оборудование, реализующее технологический процесс, и основные материальные средства, определяющие химические и физические преобразования производственного объекта [3]. Одной из основных особенностей технологического объекта является поточность выполняемых им операций, что способствует высокому уровню его автоматизации. Другая особенность связана с возможностью декомпозиции процесса на ряд последовательных отдельных технологических операций, характеризующихся определенными задаваемыми критериями [4]. Разработка автоматизированных систем управления требует анализа указанных технологических процессов с целью определения необходимого объема информации для оперативного контроля и выработки наиболее эффективных управляющих воздействий. Технологический процесс загрузки рудного сырья следует рассматривать как последовательность ряда операций по подаче шихты и постели из приемных бункеров, включая укладку их на агломерационную ленту. В результате управления должна быть исключена возможность опорожнения или переполнения бункеров, а при укладке на агломерационную ленту – обеспечено равномерное уплотнение при заданной его высоте. Основные контролируемые параметры в процессе загрузки – это расходы шихтовых материалов, уровень в бункерах и откос шихты верхнего слоя. Наиболее трудоемкой является задача поддержания стабильного уровня в загрузочных бункерах верхнего и нижнего слоев [5]. Эта задача усложняется тем, что время перемещения шихты от приемного бункера до загрузочного составляет около восьми минут и управляющее воздействие на вибрационный питатель поступает с соответствующим запаздыванием.

На зарубежных аглофабриках, особенно в Японии, где достигнут наиболее высокий уровень техники в области разработки автоматизированных систем управления агломерационным производством, вопрос разработки систем решается в направлении использования микропроцессорной техники, прежде всего для локальных систем управления с дальнейшим их объединением в системы более высокого уровня, выполняющие функции координации и связи со смежными производствами [6]. При этом следует отметить, что изготавливаемые фирмами-поставщиками системы имеют весьма высокую надежность и не требуют специального обслуживания.

В нашей стране первая автоматизированная система, реализующая процесс управления оборудованием для приемки и подготовки рудного сырья в агломерационном производстве, была внедрена на Челябинском металлургическом заводе в 1973 году. В состав объекта управления вошли три агломерационные машины с площадью спекания  $62,5 \text{ м}^2$  каждая. В качестве средств вычислительной техники использована аналоговая вычислительная машина «Шихта». Исходную информацию о составе рудного сырья на основе регламентированного химического анализа технологу приходилось вводить вручную. На основе постоянной индикации и регистрации сверялись данные о расчетных и фактических значениях расхода материалов [7]. При этом многие процессы автоматизации носили условный характер и требования постоянного участия обслуживающего персонала, что во многом было связано с невысокой вычислительной мощностью имевшейся на тот момент микропроцессорной техники.

При наличии достаточного выбора технических средств вычислительной техники до настоящего времени не создано достаточно полное математическое обеспечение, включая математические модели технологических процессов и

разработанные на их основе алгоритмы для реализации в программном обеспечении АСУ ТП.

С целью улучшения однородности шихты и уменьшения времени смешивания необходимо разработать математическую модель исследования функционирования дозаторов дозировочно-смесительных комплексов. Такая модель должна выработать оптимальный закон движения и смешивания частиц сырья в смесителе, что позволит улучшить характеристики уже существующих смесителей, а также определить технические параметры вновь разрабатываемых устройств. На данный момент не существует методов, позволяющих решить указанные задачи.

Математическая модель дозировочно-смесительного процесса должна описывать зависимости между его основными параметрами, существенно важными при рассмотрении его как объекта автоматизации. С этой целью применяют либо статистические методы исследования, основанные на обработке (в основном машиной) большого количества опытных данных, либо аналитические методы [8]. Оба метода одинаково правомерны, причем второй, вероятно, более сложен, однако именно при помощи аналитического подхода могут быть выявлены наиболее общие закономерности процесса и глубоко проанализированы его свойства. Математическое описание дозировочно-смесительного процесса позволяет качественно исследовать основные его показатели и возможные регулирующие воздействия, а в итоге разработать обоснованные алгоритмы управления процессом.

Целью настоящей работы является разработка математической модели расчета времени дозирования рудного сырья, обеспечивающей улучшение функционирования дозировочно-смесительных комплексов и возможности разработки программного комплекса, автоматизирующего исследуемый технологический процесс.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В основе построения данной математической модели лежит представление смесителя в виде вычислительных ячеек, которые занимает смешиаемый рудный материал. Параметры ячеек должны обеспечивать неизменный состав смешиемых материалов в рамках одной ячейки. Диаметр диафрагмы смесителя можно определить на основании соотношения

$$F = \frac{Q}{tV\gamma}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь высыпного отверстия смесителя;  $Q$  – масса дозируемой единицы сырья;  $t$  – время высыпания единицы сырья на агломерационную ленту;  $V$  – средняя скорость высыпания рудного сырья из диафрагмы смесителя.

Из формулы (1) можно выразить время высыпания рудного сырья, представив площадь высыпаемого отверстия  $F$  через допустимую погрешность дозирования сырья  $Q_c$ , высоту падения сырья  $h$ , коэффициент внутреннего трения  $\mu$  и среднюю скорость  $V$ :

$$t = \frac{Q}{Q_c} \frac{\mu}{g} \left( \sqrt{V^2 + 2gh} - V_i \right). \quad (2)$$

Полученное соотношение позволяет определить время высыпания рудного материала при наличии у смесителя одной диафрагмы. Если же диафрагм несколько, то

расчет производится для каждой отдельно, а суммирование полученных времен дозирования дает общий параметр дозировочно-смесительного комплекса.

Построение рассматриваемой модели предполагает введение нескольких ограничений, среди которых наиболее важны реализация выгрузки рудного сырья после завершения смещивания, исключение из процесса моделирования влияния окружающей среды и рассмотрение исключительно стабильного состава сырьевых элементов. Базовыми компонентами рассматриваемой модели являются анализ физической системы взаимодействия поля элементов рудного материала, размещаемых в дозировочном смесителе, и поля сил, действующих со стороны механических компонентов смещающего устройства. В результате процесса моделирования можно разделить на несколько стадий, а именно:

- задание исходного поля сил и поля частиц;
- расчет действия поля сил на поле частиц;
- оценка качества смещивания;
- уточнение параметров поля сил и поля частиц на основе полученных оценок;
- повторный расчет с целью определения улучшения или ухудшения первоначальных критериев модели.

Основные виды питателей, используемые в смесительных установках, являются уже готовыми изделиями, поэтому первоначальная задача моделирования сводится к расчету времени дозирования. Управление дозатором определяется неаналитической функцией [9], зависящей от времени и имеет вид:

для разгрузки:

$$U_p(t) = \begin{cases} q_{\max} & \text{при } p_t(t) < 0,8 p_3 \\ (q_{\max} - q_{\min})(1 + \cos 0,57\omega t)/2, & \text{при } 0,8 p_3 \leq p_t(t) \leq 0,9 p_3 \\ q_{\min} & \text{при } 0,9 p_3 < p_t(t) < p_3 \\ 0 & \text{при } p_3 \leq p_t(t) \end{cases}, \quad (3)$$

для загрузки:

$$U_h(t) = \begin{cases} q_{\max} & \text{при } p_3 - p_t(t) > 0 \\ 0 & \text{при } p_3 - p_t(t) \leq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $p_3$  – заданный вес рудного сырья;  $p_t(t)$  – текущий вес сырья в дозаторе;  $q_{\max}$  и  $q_{\min}$  – максимальный и минимальный расход сырья;  $\omega$  – частота колебаний дозатора.

В представленной модели оценка качества смещивания производится на основе следующих критериев.

Для оценки микропараметров смеси введем критерий минимума неоднородных участков, который будем рассчитывать по формуле

$$K = \sum_{i=1}^N b_i n_i \rightarrow \min, \quad (5)$$

где  $N$  – количество частиц наибольшей концентрации  $N = \max_{1 \leq j \leq k} \{N_j\}$ ;  $b_i$  – коэффициент учета размера неоднородностей;  $n_i$  – количество участков неоднородностей.

Предельное значение данного критерия, больше которого полученные результаты расчета считаются заведомо неприемлемыми, будем устанавливать согласно выражению

$$K_{\max} = \sum_{j=1}^m b_{N_j}. \quad (6)$$

Для анализа параметров макрооднородности рационально использовать весьма распространенный энтропийный критерий. При разработке цифровых систем расчета можно воспользоваться опытом других разработчиков при формировании программного кода данного критерия, что существенно облегчает поставленную задачу [10]. Для критерия неоднородных участков необходимо самостоятельно сформировать программный алгоритм, так как использование обоих этих критериев позволит получить достаточно объективный анализ влияния поля частиц на процессы, протекающие внутри дозировочных смесителей.

Определение значений энтропийного критерия будет осуществлять в соответствии с формулой

$$H_j = - \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^{n_l} \frac{n_{lij}}{n_{li}} \log_k \left( \frac{n_{lij}}{n_{li}} \right) \rightarrow \max, \quad (7)$$

где  $m$  – параметр, определяющий размерность поля элементов рудного материала;  $n_l$  – количество контрольных срезов материала;  $n_{lij}$  – число элементов  $j$ -й разновидности рудного сырья в  $i$ -м срезе поля элементов;  $n_{li}$  – суммарное количество элементов сырья в  $i$ -м сечении;  $k$  – количество химически отличающихся компонентов сырья, участвующих в процессе смещивания.

Максимальные и минимальные значения данного критерия будем определять по выражениям:

$$H_{j \min} = \min_{1 \leq l \leq m} \left\{ - \sum_{i=1}^{n_l} \frac{N_j}{n_l n_{li}} \log_k \left( \frac{N_j}{n_l n_{li}} \right) \right\};$$

$$H_{j \max} = - \sum_{l=1}^k \sum_{i=1}^{n_l} \frac{N_j}{n_l n_{li}} \log_m \left( \frac{N_j}{n_l n_{li}} \right).$$

Для построения модели функционирования конструкций различных смесителей и прогнозирования качества получаемого рудного сырья возьмем нормированные значения используемых критериев  $H_{H_j}$  и  $K_H$ , которые можно определить согласно приведенным ниже выражениям, так как это позволит не учитывать схему размещения загружаемых материалов в агрегате.

$$H_{H_j} = (H_j - H_{j \min}) / (H_{j \max} - H_{j \min}); \quad K_H = K / K_{\max}. \quad (8)$$

Поле элементов загружаемого сырья устанавливается с указанием конкретных границ контрольных срезов на основе технологических данных реальных конструкций смесителей. При этом поле сил задается либо на основе закона движения рудного сырья в смесителе, либо на основе базисных элементов, позволяющих осуществить процесс моделирования любых законов движения частиц. В первом случае поле сил, действующих на частицу рудного сырья, можно задать согласно формуле

$$F(x, y, z) = \sqrt{F_x^2(x, y, z) + F_y^2(x, y, z) + F_z^2(x, y, z)}, \quad (9)$$

где  $F_x, F_y, F_z$  – результирующие силы, действующие в направлении соответствующих координатных осей. Эти составляющие представим в виде:

$$\begin{aligned} F_x(x, y, z) &= -mg \cos \alpha (\sin \alpha - k(x) \cos \alpha); \\ F_y(x, y, z) &= -mg \sin \alpha (\cos \alpha - k(y) \sin \alpha); \\ F_z(x, y, z) &= -mg (1 - k(z)), \end{aligned}$$

где  $m$  – масса засыпанного материала в смеситель над исследуемым элементом;  $k(x), k(y)$  и  $k(z)$  – коэффициент трения в элементе в соответствующем направлении координатной оси, который определяется на основе коэффициентов трения между элементами сырья и трения о стенки смесителя. Необходимые для задания данного коэффициента значения можно выбрать из базы данных об образцах рудных материалов и существующих моделей смесителей [11].

Такое представление поля сил учитывает только возникающие между элементами системы силы трения и силы тяжести, действующие на рудное сырье. При этом в процессе реального движения частиц рудного сырья возникают и другие виды взаимодействия, например их столкновение. В этом случае поле сил существенно усложняется и требует дополнительных расчетов.

Предлагаемая модель вполне может учитывать дополнительные взаимодействия, если ее применять с учетом определенных условий. Во-первых, движение частиц необходимо рассматривать начиная с центральной части смесителя, где ничто не мешает движению рудного сырья и практически отсутствуют другие воздействия, кроме тех, которые обусловлены силами трения и гравитации. Во-вторых, на основе анализа движения элементов сырья моделируется местоположение частиц на различных этапах процесса смешивания рудного материала. При учете данных условий модель усложняется, так как в этом случае необходимо учесть большое число элементов, и рассматриваемый подход может быть реализован только при использовании современной вычислительной техники. Однако такой способ позволяет осуществить перебор всех элементов и получить оптимальные значения критериев за минимальное время. В случае их получения расчет заканчивается, в противном же случае выбирается новое поле сил и весь расчет повторяется. При этом из предыдущего расчета выбираются элементы, обеспечивающие получение наиболее качественной информации о происходящем процессе. Новый расчет опирается на данные элементы с целью уменьшения затрат машинного времени. На основе предложенной математической модели был разработан алгоритм, блок-схема которого представлена на рис. 1.

Данный алгоритм позволяет учесть основные параметры полей частиц и полей сил при расчете времени смешивания рудного сырья и в дальнейшем использовать его при проектировании современных дозировочно-смесительных комплексов.

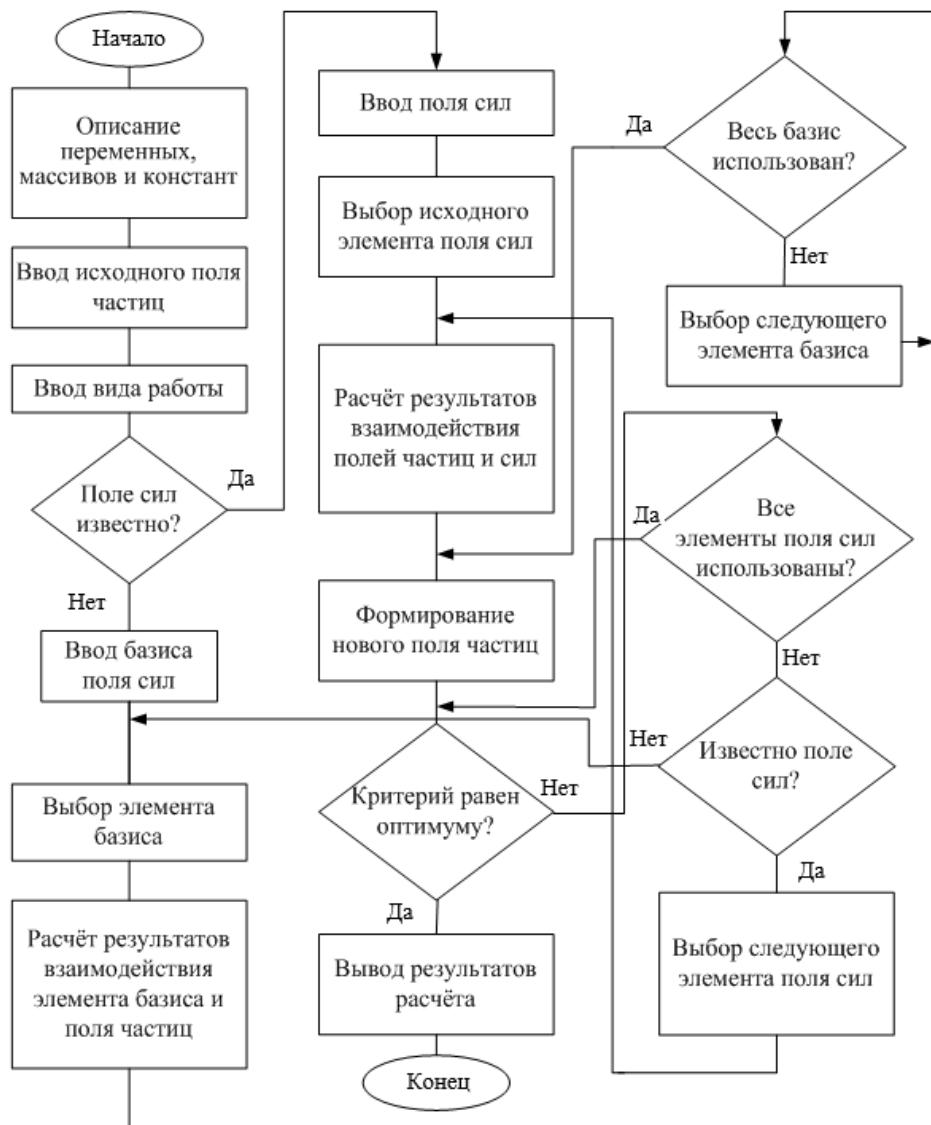


Рис.1. Блок-схема алгоритма смешения рудного сырья

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе разработанной математической модели и представленного алгоритма была создана автоматизированная система расчета времени дозирования рудного сырья и прогнозирования качества смешивания с учетом химического состава рудного материала и технологических характеристик дозировочно-смесительных комплексов. Система была разработана с использованием языка программирования C++, как наиболее популярного при разработке промышленных систем автоматизации. Для реализации возможности функционирования автоматизированной системы расчета под управлением любой операционной системы программный код был сформирован на основе кросс-платформенного модуля Visual Code, с которым активно взаимодействуют многие современные программисты, работающие в области создания промышленных АСУ ТП.

Разработанный автоматизированный расчетный комплекс обладает многофункциональным графическим интерфейсом. Для ввода начальных данных система имеет графическую форму, представленную на рис. 2.

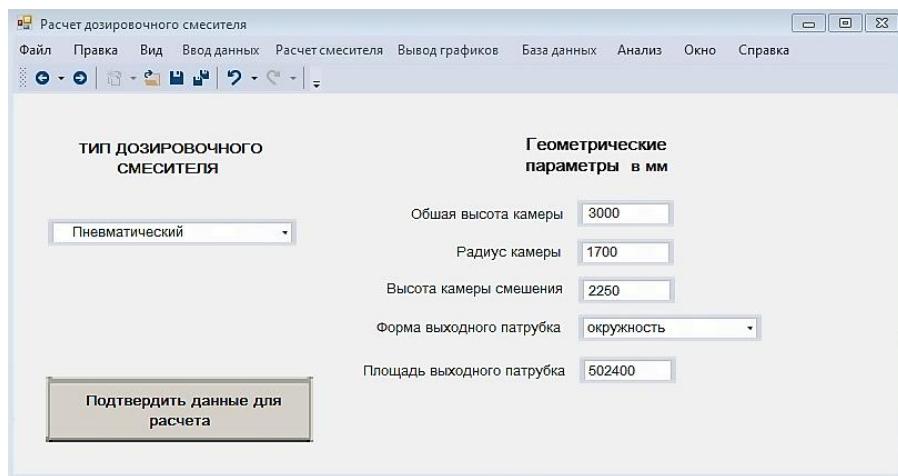


Рис. 2. Форма ввода первоначальных данных смесителя

Данная форма позволяет пользователю выбрать тип смесителя, и в зависимости от выбранного типа появляются поля внесения его технологических параметров. После введения эти характеристики необходимо подтвердить, чтобы система запомнила их, а пользователь мог перейти к указанию химического состава сырья. При выборе рудного сырья можно воспользоваться сведениями из встроенной в систему базы данных. Пример выбора необходимого сырья фосфоритной группы приведен на рис. 3.

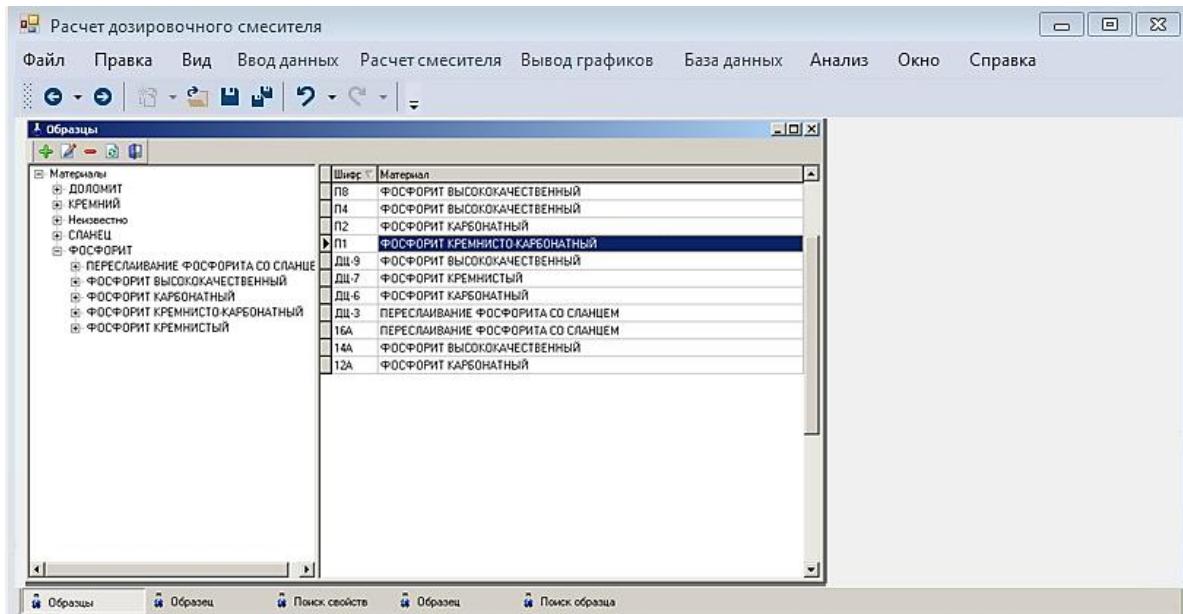


Рис. 3. Форма ввода образца рудного сырья

Программный комплекс позволяет пользователю расширять имеющуюся базу данных, внося в нее сведения о различном рудном сырье и современных моделях

смесителей, а также добавлять данные, полученные в результате расчета пользовательских экспериментальных моделей дозировочных смесителей.

Для обеспечения наглядности и возможности оценки математических зависимостей цифровая система обладает возможностью графического представления результатов расчета.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью разработанного программного комплекса был осуществлен процесс моделирования и расчета функционирования промышленного пневматического смесителя С-95I. Поле частиц было задано на основе технических параметров данной модели. Сопоставление имеющихся технологических данных и данных, полученных в результате работы цифровой системы, показало, что они отличались всего на 1,2 %. Это свидетельствует об адекватности предложенного метода. Кроме того, из расчета следует, что достижение приемлемой скорости смещивания возможно при наличии в смесителе четырех сопел, при этом качество получаемого материала соответствует значению эмпирического критерия  $1,4 \cdot 10^{-4}$ , а критерий минимума неоднородных участков принимает значение 0,975. Время смещивания автоматизированной системой оказалось равным 3,4 мин, что соответствует технической документации данного смесителя, согласно которой этот показатель составляет 3–4 мин в зависимости от типа рудного сырья. Внедрение разработанной автоматизированной системы расчета продолжительности процесса смещивания рудных материалов на одном из пред-приятий АО «Первая горнорудная компания» позволило выявить конструктивные недостатки имеющихся смесителей. На основе полученных данных усилиями инженерного состава предприятия были произведены соответствующие технолого-генные доработки одного из смесителей, представленного в качестве экспериментального образца. В результате скорость смещивания увеличилась на 24,56 % в сравнении со штатными агрегатами, при этом брак в составе шихты снизился на 11 % в модифицированном образце. Кроме того, применение представленной автоматизированной системы обеспечило значительное ускорение необходимых расчетов с уменьшением их погрешности, а также сократило долю ручного труда и снизило продолжительность интервалов внутрицикловых простоев оборудования.

Разработанный программный комплекс может быть положен в основу современных автоматизированных систем управления дозировочно-смесительных линий металлургический предприятий.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2023-0012.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Shvydkii V.S., Fatkhutdinov A.R., Devyatikh E.A., Devyatikh T.O., Spirit N.A. On Mathematical Modeling of Layer Metallurgical Furnaces and Aggregates. Report 2 // *Izvestiya Ferrous Metallurgy*. 2017. V. 60. № 1. P. 19–23.
2. Tesser R., Santacesaria E. Revisiting the Role of Mass and Heat Transfer in Gas-solid Catalytic Reactions // *Processes*. 2020. V. 8. № 12. P. 1599.
3. Дли М.И., Черновалова М.В., Соколов А.М., Моргунова Э.В. Нечеткая динамическая онтологическая модель для поддержки принятия решений по управлению энергоемкими системами на основе прецедентов // *Прикладная информатика*. 2023. Т. 18. № 5. С. 59–76.

4. Бобков В.И., Орехов В.А. Особенности методики определения теплофизических свойств фосфоритового агломерата // *Современные научноемкие технологии*. 2022. № 10-1. С. 59–63.
5. Tian H., Pan J., Zhu D., Wang D., Xue Y. Utilization of Ground Sinter Feed for Oxidized Pellet Production and its Effect on Pellet Consolidation and Metallurgical Properties // *11th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing*, 2020. P. 857–866.
6. Vereykina E.K., Orekhov V.A. Study of Thermal Deformations in Iron ore Raw Materials at high Temperature Roasting // *AIP Conference Proceedings*. 2023. V. 2999. № 1. P. 020050.
7. Лопатина Т.Д., Тихонов М.Р., Чудинова М.А. Сравнительный анализ методов управления временем для целей автоматизации технологических процессов // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки*. 2023. №4. С. 82–85.
8. Пучков А.Ю., Прокимнов Н.Н., Рысина Е.И., Шутова Д.Ю. Нейрорегулятор комплексной технологической системы переработки рудных отходов // *Прикладная информатика*. 2023. Т. 18. № 5. С. 91–105.
9. Hannemann F., Bradfield M., Mahdi M., So L.L.C., Metcalfe D. Impact of Air Granulation on the Ferrochrome Value Chain in Metallurgical Smelter Complexes // *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2018. V. 118. № 6. P. 625–630.
10. Borisov V., Bulygina O., Vereikina E. The Use of Coevolutionary Algorithms for Optimizing the Operating Regimes of the Roasting Conveyor Machine // *Journal of Applied Informatics*. 2023. V.18.№ 3.Р. 52–60.
11. Орехов В.А., Бобков В.И., Панченко С.В. Разработка информационной системы расчета, накопления информации и паспортизации теплофизических свойств фосфоритов // *Программные продукты и системы*. 2022. Т. 35. № 3. С. 502–508.

**Для цитирования:** Бобков В.И., Быков А.А., Орехов В.А., Незамаев С.В. Программная реализация математической модели расчета времени дозирования рудного сырья в дозировочно-смесительном комплексе агломерационной фабрики// Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2025. № 1 (25). С. 77–87.

## **SOFTWARE IMPLEMENTATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATING THE DOSING TIME OF ORE RAW MATERIALS IN THE DOSING AND MIXING COMPLEX OF AN AGGLOMERATION FACTORY**

V.I. BOBKOV<sup>1</sup>, Dr. Sc., A.A. BYKOV<sup>1</sup>, Cand. Sc.,  
V.A. OREKHOV<sup>1</sup>, Cand. Sc., S.V. NEZAMAEV<sup>2</sup>, DG

<sup>1</sup>Branch of the National Research University «MEI» in Smolensk,  
1, Energeticheskiy proezd, Smolensk, 214013, e-mail: alex1by@mail.ru

<sup>2</sup>JSC «First Mining Company»,  
40/22, bild. 4, Nikoloyamskaya str., Moscow, 109004, e-mail: pgrk@armz.ru

The paper presents a mathematical model for calculating the dosing time of ore raw materials, which is the basis for creating a software package for automating the operation of mixers of dosing complexes of domestic mining enterprises. The application of the

developed model makes it possible to design modern dosing and mixing complexes that ensure the necessary quality of ore raw materials with minimal mixing time, which significantly reduces the downtime of technological equipment and thereby increases the energy efficiency of sintering plants. It is noted that the representation of the mixer shape in the form of a cellular structure made it possible to ensure the immutability of the composition of the ore material during mixing and at the same time determine the optimal law of motion of its particles. The use of the developed software package reduced the scrap in the composition of the charge by 11%, increased the rate of pouring of raw materials by 17.4 % and reduced the total downtime of the equipment by 1.37 times.

*Keywords:* software package, mathematical model, ore raw materials, dosing and mixing complex, automated control systems, numerical methods, computational element.

Поступила в редакцию/received: 11.11.2024; после рецензирования/revised: 25.11.2024;  
принята/accepted: 27.11.2024

УДК 004.89

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТВЕРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ МЕДИЦИНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

Л.В. ЧИЧАНОВСКАЯ, д-р мед. наук, О.Н. БАХАРЕВА, канд. мед. наук

Тверской государственный медицинский университет,  
170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: bakharevaon@tvgmu.ru

© Чичановская Л.В., Бахарева О.Н., 2025

Цифровые технологии не только являются устойчивой платформой для диагностического поиска многих заболеваний, но и помогают реализовать конкретные терапевтические и хирургические стратегии. Распространение новых инфекционных вызовов заставило медицинское сообщество задуматься о дистанционных формах диагностики, обработки данных и принятия врачебных решений. Благодаря современным возможностям применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) на базе Тверского государственного медицинского университета активно используются разные его направления: генеративный ИИ в работе с текстом, генеративный ИИ для работы с изображениями, обработка больших массивов информации, решения без заранее заданного алгоритма, распознавание образов, звуков, симптомов.

*Ключевые слова:* цифровые технологии, медицина, искусственный интеллект.

**DOI:10.46573/2658-5030-2025-1-87-92**

### **ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире невозможно проведение лечебно-реабилитационных мероприятий без цифровых технологий, которые применяются для диагностического поиска многих заболеваний, а также помогают в реализации конкретных терапевтических и