

# МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УРАЛЬСКАЯ ГОРНАЯ ШКОЛА – РЕГИОНАМ»

23-24 апреля 2012 года

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ И КОНТРОЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

УДК 004.942

### РАСПОЗНАВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ГЛАВНЫХ ПРИВОДОВ

*ДРУЖИНИНА Е. А., РЫЖКОВ Д. С.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Технические средства должны удовлетворять потребности бизнес-процессов при условии снижения затрат на эксплуатацию и обслуживание. В настоящий момент, говоря о горнодобывающих комплексах и транспортных системах, можно выделить два перспективных направления автоматизации процессов, которые помогают достигнуть поставленную задачу — своевременная диагностика электромеханических узлов оборудования и адаптация систем управления приводами. Для достижения наиболее эффективного результата, данные решения можно объединить в единый программно-аппаратный комплекс (рис. 1).

В рамках единого комплекса для правильной диагностики состояния узлов системы и подбора эффективного метода управления приводами на конкретный момент времени необходимо своевременно получать полную и однозначную информацию о текущем состоянии объекта.



Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

Для определения текущего состояния объекта необходимо определить значимые для каждого конкретного состояния параметры, а также составить список состояний, в которых может находиться объект. По результатам экспериментов на модели объекта, возможно последующее выделение промежуточных режимов работы для наиболее эффективного управления и более точной диагностики состояния.

В качестве объектов управления выбрана система сложных многоуровневых динамических объектов, объединяющих взаимосвязанные электромеханические системы главных приводов, приводящие в движение рабочий орган объекта (например, для экскаватора таким рабочим органом является ковш). Таким образом, технологические состояния объекта можно классифицировать по разным признакам: по технологическим режимам работы электромеханических систем, по технологическим составляющим рабочего цикла и по режимам работы (рис. 2).

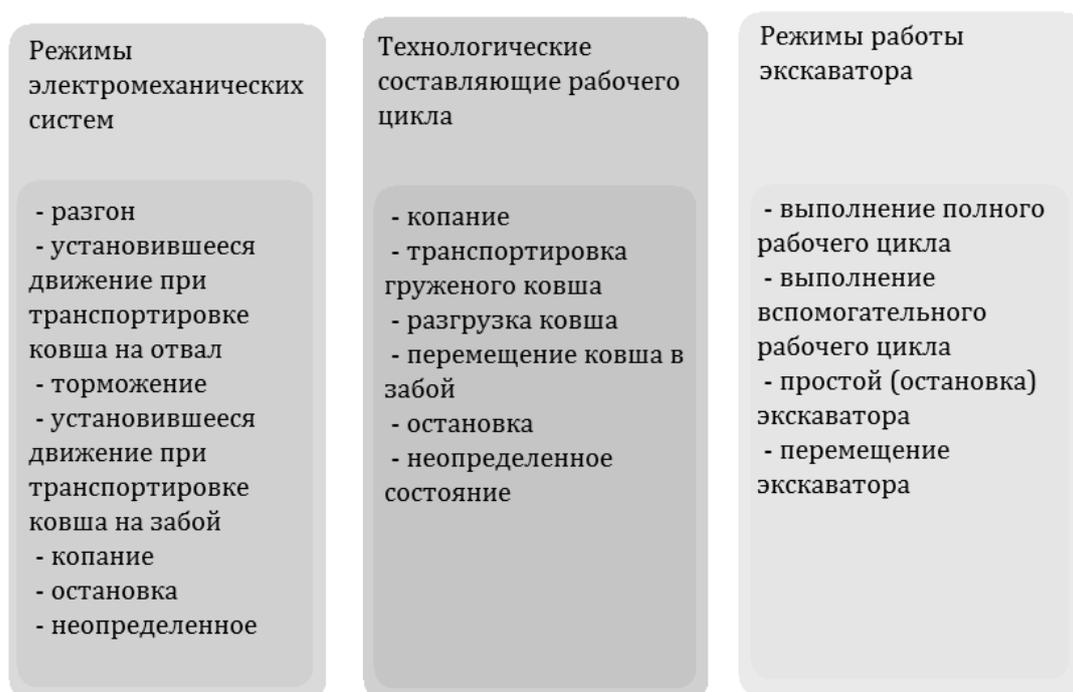


Рис. 2. Классификация состояний электромеханических систем экскаватора

Существует большое количество различных методов идентификации состояний объектов: идентификация с помощью регрессионных методов, методами квазилинеаризации, методом стохастической аппроксимации, методом обучения, методом инвариантного погружения и так далее. Одним из самых распространенных методов является метод распознавания на основе алгоритма вычисления оценок. Однако, появившийся еще в 60-е годы, данный метод нуждается в доработке и объединении с совокупностью других методов идентификации (например, с методами обучения) для определения состояния с определенной точностью. Погрешность при определении состояния объекта может привести к неправильному выбору режима управления и ошибкам в диагностике, в результате чего на объект управления может быть передано неверное возмущение, что может привести к выходу системы из строя. Поэтому выбранный режим управления необходимо многократно проверять на модели объекта.

Таким образом, первоочередными задачами при распознавании технологического состояния горнодобывающих комплексов является моделирование системы главных приводов и выбор метода (или совокупности методов) идентификации состояний электромеханических систем объекта.

## ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВАКУУМ-НАСОСНОЙ СТАНЦИИ НА Ш. КРАСНОГОРСКАЯ

*АБДРАХМАНОВ М. И.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Шахта «Красногорская» введена в эксплуатацию на первом рабочем горизонте +200 метров в 1949 году с сухой технологией добычи угля, проектной мощностью 600 т.т. в год.

Изучение газоносности пластов проводится по наблюдениям за газовыделением непосредственно в шахте и по керновым пробам.

Относительная метанообильность шахты равна 32,4 м<sup>3</sup>/т суточной добычи. Абсолютная газообильность шахты составляет 74,4 м<sup>3</sup>/мин.

Для снижения метанообильности выемочного участка производится дегазация выработанного пространства. Перфорированные трубы устанавливаются в изоляционную перемычку после отработки подэтажа и подключаются к дегазационному трубопроводу на гор. -150 м.

Разрежение в дегазационной системе шахты «Красногорская» создаётся в вакуум-насосной станции (далее ВНС), которая расположена на поверхности, на восточной стороне промплощадки шахты. В ВНС установлено два вакуум-насоса НВ-50: один в работе и один в резерве, один вакуум-насос ВВН2-50 в ремонте.

В общем случае задачи автоматизации ВНС могут быть разделены на следующие группы:

- автоматическое управление агрегатами и средствами коммутации газовых сетей;
- автоматическое регулирование технологического процесса отсоса метано-воздушной смеси;
- автоматический контроль транспортируемой метано-воздушной смеси и технологического оборудования ВНС;
- автоматическая защита.

Из перечисленных выше пунктов на ш. Красногорская не реализовано только автоматическое регулирование.

Комплекс технических средств внедрённой системы автоматизации состоит из стационарных, устанавливаемых на поверхности и в подземных выработках датчиков, средств контроля и управления, каналов связи и средств обработки, отображения и хранения информации на диспетчерском пункте.

Технические средства системы автоматизации разделены: по пространственному положению (находящиеся во взрывоопасной зоне; находящиеся вне взрывоопасной зоны), по выполняемым функциям разделены на уровни (полевой уровень; контроллерный уровень).

Технические средства полевого уровня обеспечивают непосредственное сопряжение системы с технологическим оборудованием и процессом.

В состав полевого уровня входят следующие технические средства:

- датчики технологических параметров;
- дискретные датчики;
- сигнализирующие устройства;
- блоки промежуточного реле.

Технические средства контроллерного уровня системы автоматизации обеспечивают преобразование сигналов, получаемых от дискретных датчиков и датчиков технологических параметров, формирование и реализацию управляющих сигналов для блоков промежуточного реле, сигнализирующих и исполнительных устройств, предоставление данных для диспетчерского уровня.

Система автоматизации выполняет следующие основные функции:

1. Контроль параметров метановоздушной смеси (МВС) в нагнетательном трубопроводе в здании ВНС:

- измерение абсолютного давления МВС (101-125 кПа);
  - измерение дифференциального давления МВС на диафрагме (0-5,9 кПа);
  - измерение концентрации метана в МВС (0-100 %);
  - измерение концентрации кислорода в МВС (0-25 %);
  - измерение температуры МВС (+5-+50 °С);
  - расчёт величины расхода МВС (м<sup>3</sup>/мин);
  - расчёт величины дебита метана (м<sup>3</sup>/мин).
2. Контроль состояния атмосферы в машинном зале здания ВНС:
- измерение концентрации метана (0-5 %).
3. Контроль состояния метановоздушной смеси во всасывающем и в нагнетательном трубопроводах вакуум-насоса:
- измерение абсолютного давления МВС (0...125 кПа);
  - измерение температуры МВС (+5...+50 °С).
4. Контроль состояния огнепреградителя:
- измерение температуры МВС до и после огнепреградителя (-55...125 °С);
  - измерение абсолютного давления МВС до и после огнепреградителя (кПа).
5. Контроль состояния вакуум-насосов:
- измерение температуры подшипников (-55...125 °С);
  - состояние включено/отключено.
6. Контроль системы водоснабжения вакуум-насосов:
- измерение температуры воды перед и после вакуум-насосами (-55...125 °С);
  - измерение давления воды, подаваемой на вакуум-насосы(кПа).
  - состояние водяных насосов: включено/отключено.
7. Контроль параметров в подземном магистральном дегазационном трубопроводе:
- измерение абсолютного давления МВС (53...115 кПа);
  - измерение дифференциального давления МВС на диафрагме (0-5,9 кПа);
  - измерение концентрации метана в МВС (0-100 %);
  - измерение концентрации кислорода в МВС (0-25 %);
  - измерение температуры МВС (+5-+50 °С);
  - расчёт величины расхода МВС (м<sup>3</sup>/мин);
  - расчёт величины дебита метана (м<sup>3</sup>/мин).
8. Управление запорно-регулирующей арматурой на дегазационном трубопроводе.
9. Звуковая и световая предупредительная и аварийная сигнализация о выходе технологических параметров за предельно-допустимые значения и о возникновении аварийных ситуаций на ВНС на вычислительных блоках и мониторах АРМ оператора.
10. Сбор, отображение, обработка и хранение данных о работе ВНС и дегазационной сети на АРМ оператора. Формирование протокола аварийных сообщений с указанием даты, времени и характера аварийной ситуации.

Система автоматизации обладает так же функцией самодиагностики, которая обеспечивает возможность отдельного или группового определения следующих неисправностей технических средств:

- отказы датчиков и вычислительных блоков;
- выход сигнала от датчика за пределы диапазона возможных значений;
- короткое замыкание или обрыв линии питания датчиков и вычислительных блоков;
- короткое замыкание или обрыв линии передачи данных между датчиками и вычислительными блоками.

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт (РД-15-09-2006). Серия 05. Выпуск 14 / Колл. авт. М.: ОАО «Научно-технический центр по безопасности в промышленности», 2007. 256 с.
2. Карпов Е. Ф., Рязанов А. В. Автоматизация и контроль дегазационных систем. М.: Недра, 1983. 190 с.

## МОДЕЛЬ МНОГОКРАТНОЙ КОРРЕКЦИИ ДВИЖЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ СИСТЕМЫ

*КРЕМЛЁВ А. Г.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Совершенствование технологических процессов в горной промышленности в значительной степени направлено на автоматизацию производства, опирается на практику широкого и многоуровневого внедрения вычислительной техники, телекоммуникационных средств и цифровых линий связи в сочетании с использованием высокоточных измерительных технологий, разработкой и применением эффективных специализированных информационных технологий и средств их обеспечения. Автоматизированные системы управления применяются практически на всех горных предприятиях, охватывают целые комплексы рабочих процессов, обеспечивая единый непрерывный поток работ с автоматическим управлением и контролем (угледобывающие комплексы, вентиляционные и водоотливные установки, компрессорные и насосные станции газо- и нефтепроводов, системы контроля состояния скважин, сепарационные установки и др.).

Комплексная автоматизация объектов горного производства требует разработки, проектирования, конструирования, создания и внедрения соответствующих технических средств и технологий. Для этих целей используются методы информационно-математического моделирования (ИММ), включающего аналитическое описание модели (математическая аппроксимация объекта) на основе информационной обработки массивов данных об объекте, определение целевой функции (отражающей критерий оптимальности), выбор управляющих параметров (управлений), решение поставленной оптимизационной задачи (в виде теоретических законов управления, представляемых в функциональной форме или с помощью численных процедур), создание на их основе вычислительных алгоритмов и последующее внедрение в практическую сферу в виде программных продуктов.

Процесс ИММ реального объекта (процесса) необходимо рассматривать с позиций системного анализа, используя различные системные представления, выражающие основные способы понимания системы (взаимосвязанные и взаимодополняющие). Любой горнотехнический объект, технологический процесс определяется как сложная система, обладающая определенной морфологией, функциональной направленностью, системной целостностью, средовой характеристикой и т. д. Поэтому для построения синтетического описания (модели) объекта (как сложной системы) необходимо провести качественный анализ данных, выявление существенных для объекта характеристик, определение структуры, связей, функциональных возможностей и т. д. Далее следует выразить (отразить) выявленные характеристики через параметры (переменные) модели. Изучение таких многоэлементных систем связано с необходимостью учитывать и оценивать множество разнообразных по своей природе факторов в условиях недостаточной информированности (в рамках сконструированной системной модели). Детализация описания динамики управляемого процесса приводит к сложным структурам (часто нелинейным), включающим различные особенности. Это в значительной мере затрудняет использование известных результатов теории оптимального управления, практическую реализацию употребляемых методов и схем решения. Поэтому важным представляется качественное исследование математических моделей, получаемых в результате более адекватного представления управляемой динамической системы, разработка эффективных методов коррекции движения системы [1-3], функционирующей в условиях неполной информации (по начальным данным, неопределенным возмущениям).

Пусть управляемая динамическая система описывается  $n$ -мерным уравнением

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, u, v), \quad t \in [t_0, T], \quad (1)$$

где  $x \in R^n$  – фазовый вектор системы (не доступен для непосредственного измерения),  $u \in R^m$  – управление,  $v \in R^r$  – неопределенное возмущение. Ресурсы управления ограничены:  $u \in P$ .

По ходу процесса доступно измерение вектора

$$y = g(t, x, \xi), \quad y \in R^q, \quad (2)$$

где  $\xi \in R^q$  – неопределенная помеха в канале измерительного устройства. Начальное условие  $x(t_0) = x_0$  и воздействия  $v, \xi$  неизвестны заранее. Информация о реализациях  $v(t), \xi(t)$  ограничивается заданием допустимых областей их изменения:  $v \in V, \xi \in S$ .

Пусть  $W(t) = W(t, y(\cdot|t), u(\cdot|t))$  – информационное множество (ИМ) системы (1), (2) в момент  $t$  [3] при заданном управлении  $u(\cdot|t)$ , т. е. совокупность допустимых состояний объекта  $x = x(t)$ , совместимых с результатами измерений. Чебышевский центр ИМ является оптимальной минимаксной оценкой неизвестного истинного состояния объекта. Здесь и далее для функции  $h(s), s \in [t_0, T]$ , рассматриваемой на  $[t, T]$ , примем обозначение  $h_t(\cdot)$ , рассматриваемой на  $[t_0, t]$  – обозначение  $h(\cdot|t)$ . Пусть  $X(T; u_t(\cdot), x(t))$  – множество достижимости системы (1) в момент  $T$ , полученное при движении из состояния  $x(t)$ , управлении  $u_t(\cdot)$  и всех  $v_t(\cdot)$ , совместимых с реализовавшимся сигналом  $y(\cdot|t)$ . Обозначим  $X(T; u_t(\cdot), W(t)) = \bigcup \{X(T; u_t(\cdot), x(t)) \mid x(t) \in W(t)\}$ .

Результатом оптимального управления ансамблем траекторий системы (1) на  $[t, T]$  является оценка

$$\omega^0(t) = \min \{ \Phi(X(T; u_t(\cdot), W(t))) \mid u_t(\cdot) \in P \}. \quad (3)$$

Целью задачи коррекции является минимизация оценки  $\omega^0(t)$  на  $[t_0, T]$ . Решение задачи основано на совокупной оптимизации процессов управления и наблюдения.

Следующая оценка (для  $t \leq \tau \leq T$ ) характеризует прогноз гарантируемого результата управления на основе информации, полученной лишь к моменту  $t$ :

$$\omega^0(\tau, t) = \sup_{y(\cdot)} \min_{u_\tau(\cdot)} \Phi(X(T; u_\tau(\cdot), W(\tau))), \quad y(\cdot) \in Y(\tau, y(\cdot|t)), \quad u_\tau(\cdot) \in P,$$

где  $Y(\tau, y(\cdot|t))$  – множество допустимых продолжений сигнала  $y(\cdot|t)$  – совокупность  $y_t(\cdot)$ , которые порождаются в силу (1), (2) при назначенном управлении  $u(\cdot|t)$  некоторыми  $x(t) \in W(t), v_t(\cdot) \in V, \xi_t(\cdot) \in S$ , совместимых с реализовавшимся сигналом  $y(\cdot|t)$ .

Процедура построения решения задачи *однократной коррекции* определяется следующим образом [3]: найти наименьший корень  $\tau^*$  (момент коррекции исходного управления) уравнения

$$\omega^0(t) - \omega_t^0 = 0, \quad t \geq t_0, \quad \omega_t^0 = \min \{ \omega^0(\tau, t) \mid t \leq \tau \leq T \}. \quad (4)$$

При этом справедливо неравенство  $\omega^0(\tau^*) \leq \omega_{t_0}^0$ .

Реализация указанной процедуры достигается разбиением отрезка  $[t_0, T]$ , т. е.  $t_0 < t_1 < t_2 < \dots < t_N = T$ , и последовательной проверкой равенства (4) в моменты  $t_j$ . Если  $\omega^0(t_j) - \omega_{t_j}^0 > 0$ , то управление на следующий  $j+1$ -й отрезок не меняется. Если имеем равенство, то назначается управление  $u_{t_j}^0(\cdot)$ , разрешающее (3) при  $t = t_j$ , который есть момент коррекции.

Продолжая проверку равенства (4) в последующие моменты разбиения, приходим к задаче *многократной коррекции* [1]. Итоговый результат процедуры  $\omega^0(T)$  не хуже  $\omega^0(\tau^*)$ .

Алгоритмы решения этих задач (рассматриваемых в минимаксной постановке в отличие от статистических форм описания), допускающие численную реализацию, получены для непрерывных линейных и квазилинейных, нелинейных многошаговых систем.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ананьев Б. И., Гредасова Н. В. Многократная коррекция квазилинейных систем при дискретных наблюдениях // Труды ИММ УрО РАН. 2007. Т. 13. № 4. С. 3-13.
2. Кремлёв А. Г. Задача коррекции движения квазилинейной системой при квадратичных ограничениях // Дифференц. уравнения. 1984. Т. 20, № 8. С. 1384-1359.
3. Куржанский А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. М.: Наука, 1977. 392 с.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИНФОРМАЦИОННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЗАДАЧАХ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

БАБИЧ В. Н., КРЕМЛЁВ А. Г.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Современная практика горного производства характеризуется широкой и комплексной автоматизацией технологических процессов, внедрением АСУ и систем контроля состояния горнотехнических объектов, использованием специализированных автоматизированных информационных систем (ГИС, САПР, пакетов экономико-статистического анализа, систем делопроизводства, бухгалтерского учета и справочных правовых систем, экспертных и консультационных систем) в различных приложениях и для выполнения разнообразных работ (технического, экономического, горно-геометрического, экологического, социального и др. содержания), связанных с функционированием горных предприятий (объектов, процессов). Это достигается компьютеризацией горнотехнических объектов, внедрением новейших мультимедийных комплексов, телекоммуникационных средств и цифровых линий связи в сочетании с использованием высокоточных измерительных технологий (включая глобальные навигационные спутниковые системы). И это потребует совершенствования применяемых информационных технологий, технических средств, программного (математического) обеспечения. Развитая методика их применения позволит формировать соответствующие математические модели с необходимой точностью (подробностью описания реальных объектов). Конструирование достаточно адекватных (точных, надежных) математических моделей объектов горного производства с возможностью их компьютерной обработки позволит оперативно выполнить расчетно-проектные работы, геометризацию месторождений, экономико-математический анализ, информационное сопровождение процессов горных разработок (в т. ч. в режиме мониторинга). Огромная трудоемкость процессов обработки и выявления характеризующих признаков и зависимостей, наличие случайных факторов, влияющих на поведение реального объекта, сложность представления этих зависимостей, связей, функциональных особенностей в математической форме – все это требует значительных усилий при формировании математических моделей объектов инженерной практики. Поэтому формирование математической модели, последующий ее анализ, а также практическая адаптация полученного аналитического решения выполняются в рамках информационно-математического моделирования (ИМ-моделирование) [1].

Процесс ИМ-моделирования реального объекта (процесса) необходимо рассматривать с позиций системного анализа [2]. При этом изучение (исследование) объекта с целью построения достаточно адекватной модели предполагает сбор данных (информационных массивов) об объекте (его характеристиках, свойствах) в виде разноформатных (табличных, графических (геометрических) и иных) материалов, которые затем обрабатываются и преобразуются в выходную информацию требуемого назначения. Общая схема (представление) ИМ-моделирования включает три опорных составляющих:

– *математическое моделирование*, включающее формализацию описания реального объекта (процесса) с помощью математической символики (в рамках некоторой математической теории), аналитическое решение поставленной (математической) задачи, алгоритмизацию полученного решения;

– *информационное моделирование*, включающее формирование массивов данных, составляющих информационное описание реального объекта (процесса), их обработку (организацию или структурирование) и анализ;

– *геометрическое моделирование*, определяющее геометрическую (графическую) интерпретацию и визуализацию массивов данных (информационного описания), математической модели – в виде геометрических фигур, графических материалов (схем, диаграмм, графов и др.).

Каждая из опорных составляющих характеризует определенный подход к описанию и изучению исследуемого объекта, включает своеобразное его представление, отражая определенным образом различные аспекты системного анализа, обеспечивая полноту исследования совместным дополнением разных системных представлений. Так, математическая модель основывается на результатах компьютерной обработки данных (вычислений, геометрических построений, процедур визуализации). Информационная составляющая моделирования включает:

- сбор данных (передача данных на носителях, ввод данных), актуализацию данных (в соответствии с текущей обстановкой);
- обработку данных, в том числе фильтрацию данных, организацию (инкапсуляцию) данных с целью их архивации, преобразования, спецификации, верификации и структурирования; а также сортировку данных (классификацию, агрегирование, интеграцию);
- анализ данных и получение обобщающих показателей (характеристик) с целью построения математической модели, ее параметризации;
- геометро-графическое представление (компьютерную визуализацию);
- вычислительные операции (для выполнения необходимых расчетов в рамках полученной модели или процесса моделирования).

Геометрическое моделирование включает:

- оцифровку (векторизацию) геометро-графических материалов (на основе обработки изображений, пространственной информации);
- геометризацию информационных массивов, в том числе построение поверхностных и объемных моделей (каркасных, полигональных, сплайн) различными методами (аппроксимационные, итерационные, на основе функций скиннинга, заметания и др.);
- геометрическую интерпретацию аналитического описания модели, аналитического решения (в рамках модели);
- геометрические построения и преобразования (выполнение разрезов, сечений, проекций, а также с помощью операций поворота, изгиба, симметрии и др.);
- компьютерную комбинаторику и технологическую обработку средствами компьютерной визуализации.

Применение компьютерных средств визуализации (машинной графики, компьютерной анимации) предоставляет функциональные возможности интерактивной работы с моделью, выполнение различных геометрических преобразований, внесение конструктивных изменений с последующим просмотром. Решение (в виде формализованных или алгоритмических процедур) необходимых аналитических задач (техничко-технологического, экономического, статистического и иного характера) обеспечивается достаточным уровнем средств исследования (математических и информационных). Предусматривает разработку численных алгоритмов (с целью создания программных продуктов), получение рассчитываемой информации (используемой в процессах горного производства).

Анализ полученной модели с целью практического внедрения потребует проведения необходимых вычислительных экспериментов, опытно-конструкторских работ. Адаптация теоретических результатов (модельных управлений) к реальным техническим (технологическим) условиям приведет к возможным корректировкам (внесению изменений) в сформированную модель и последующему исследованию (по каждой составляющей ИМ-модели). Практическая эффективность итоговых решений существенно зависит от степени изученности объекта исследования (подробности системного описания) в сочетании с достигнутым уровнем используемых средств исследования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабич В. Н., Кремлёв А. Г. Об информационно-математических технологиях в горногеометрических задачах // Изв. вузов. Горный журнал. Екатеринбург: УГГУ. 2010. № 7. С.72-77.
2. Бабич В. Н., Кремлёв А. Г., Холодова Л. П. Методология системного анализа в архитектуре // Архитектон: Изв. вузов. 2011. № 34. – Режим доступа: [http://archvuz.ru/numbers/2011\\_09](http://archvuz.ru/numbers/2011_09).

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

*ЕНДИЯРОВ С. В.\**

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Многолетняя практика показала, что окускование пылеватых руд и концентратов путем спекания и получения офлюсованного агломерата обеспечило значительное снижение удельного расхода кокса на выплавку чугуна и увеличение производительности доменных печей. Это произошло благодаря тому, что по качеству офлюсованный агломерат не уступает кусковой руде.

Сложность проблемы производства высококачественного агломерата заключается в том, что условия для получения тех или иных свойств агломерата часто оказываются противоположными. Кроме того, стремление достичь максимальной производительности агломерационных машин также часто не соответствует условиям получения агломерата высокого качества. Так как применение агломерата в доменных печах способствует улучшению качества чугуна, повышению производительности печей и снижению расхода кокса, то качественная подготовка аглошихты к спеканию является одним из важнейших факторов, определяющих эффективность агломерационного, а следовательно, и доменного производства. Подготовка шихты заключается в обеспечении рациональных значений ее химического, гранулометрического составов и влажности. Конечной задачей процессов подготовки шихты является обеспечение высокого качества агломерата и максимальной производительности агломашин.

Процесс производства агломерата протекает в условиях возмущающих воздействий: изменения химико-минералогического и зернового состава компонентов спекаемой шихты, условий дозирования, транспортирования, смешения и увлажнения шихты, а также укладки шихты на агломерационную машину. Наличие рециклов, длительного времени запаздывания между опробованиями приводит к тому, что управление, основанное на опыте и знаниях персонала, не позволяет достигнуть эффективной работы комплекса производства агломерата. Период дискретности между поступлением результатов опробования некоторых компонентов шихты настолько велик, что данная информация вовсе не может быть использована для управления процессом агломерации.

Для улучшения управления процессом агломерации необходимо осуществлять диагностику состояния процесса с целью снижения уровня неопределенности [1-2], что позволит увеличить эффективность управления процессом производства агломерата. Кроме того, вследствие существенного запаздывания информации о химическом составе компонентов шихты рационально использовать прогнозирование основных качественных показателей агломерата для оперативной выработки управляющих воздействий. Таким образом, разработка комплекса алгоритмов и программ для диагностики и управления процессом агломерации железных руд является актуальной задачей.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Yendiyarov S., Petrushenko S. Robust Probabilistic Online Change detection Algorithm based on the Continuous Wavelet Transform // World Academy of Science, Engineering and Technology, France, Issue 60, December 2011, pp. 1810-1814.
2. Yendiyarov S., Zobnin B., Petrushenko S. Online Change Detection Algorithm Based on the Continuous Wavelet Transform, the CUSUM Algorithm and an Autoregressive Model // Current Trends in Signal Processing, India, vol. 1, Issue 2-3, November 2011, pp. 7-18.

---

\* Научный руководитель профессор Зобнин Б. Б.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ШТАБЕЛЯ ШИХТЫ

*ПЕТРУШЕНКО С. Ю.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Актуальность проблемы совершенствования усреднения сырья на агломерационных фабриках и сокращения колебаний химического и гранулометрического состава агломерата определяется задачами, которые поставлены перед черной металлургией, возрастающей конкуренцией со стороны крупнейших мировых производителей металлопродукции. Кардинальное повышение качества металлопродукции может быть достигнуто лишь при надлежащем повышении качества промежуточных продуктов на всех стадиях металлургического передела, и, в частности, при обеспечении производства агломерата, соответствующего по стабильности состава требованиям мировых стандартов. Совершенствование усреднения сырья на агломерационных фабриках и сокращения колебаний химического и гранулометрического состава агломерата определяется возрастающей конкуренцией со стороны крупнейших мировых производителей металлопродукции. Решение этих задач может быть достигнуто главным образом за счет таких факторов, как развитие промышленной технологии производства агломерата, усовершенствование конструкции металлургических агрегатов, а также повышение качества исходного шихтового сырья [1]. В настоящее время проблема качества сырья приобрела особое значение, поскольку именно подготовка сырья для доменной плавки долгие годы финансировалась по остаточному принципу, в результате чего она стала тем лимитирующим звеном, без усовершенствования которого невозможно радикальное повышение эффективности производства агломерата. В последние годы в мировой практике особое внимание при подготовке доменной шихты уделяется проблеме усреднения железорудного сырья, как одной из важнейших стадий его подготовки к производству [2]. Решение проблемы усреднения позволит существенно улучшить технико-экономические показатели производства металлопродукции. Усреднение железорудных материалов на всем пути их следования от момента добычи руды до загрузки полуфабрикатов в доменные печи за исключением усреднения их в формируемых штабелях, изучено достаточно глубоко. В связи с этим и встает со всей очевидностью необходимость в рассмотрении такого важного вопроса, как диагностика процесса усреднения рудных материалов, а также контроль над процессом формирования штабеля шихты.

Разработанный комплексный подход позволяет получить численные оценки влияния временных перерывов подачи компонентов шихты на сборный конвейер на стабильность режима усреднения, а также произвести выбор значений управляющих воздействий, позволяющих минимизировать потери, обусловленные возмущениями.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зобнин Б. Б., Ендияров С. В., Петрушенко С. Ю. Комплекс адаптивных моделей процесса смешивания потоков сыпучих материалов // Инженерная поддержка инновации и модернизации: сб. науч. тр. 2011. Вып. 1.
2. Петрушенко С. Ю. К вопросу построения автоматизированной системы диагностики сложного технологического комплекса // Перспективы развития информационных технологий: сб. науч. тр. 2011. Вып. 5.

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ФЛОТАЦИИ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕНЫ

*ХАСАНОВ Б. Р.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Применяемые в настоящее время технологии обогащения руд цветных металлов требуют значительного совершенствования, что обусловлено снижающимся содержанием ценных компонентов и усложнением минералогического состава. Повышение эффективности обогащения минерального сырья, снижение материальных затрат на переработку и повышение экологической безопасности горно-обогатительного производства требуют разработки и применения научно обоснованных методов автоматического контроля и регулирования технологического процесса.

Современный уровень развития техники в области автоматического управления флотационным процессом позволяет осуществить самые смелые идеи компьютерного управления технологическими операциями. Сегодня уже надежно освоены системы контроля и регулирования уровня пульпы и расхода воздуха во флотомашинах, контролируются нагрузка на секцию, плотность пульпы, объемные расходы пульпы, параметры ионного состава пульпы. Широко распространена система экспресс-анализа металлов в продуктах обогащения. Однако до настоящего времени вопрос компьютерного управления флотационными операциями остается проблематичным. Причина этого кроется в большой сложности, инерционности и многофакторности процесса флотации, а также существенной нелинейности описывающих его моделей.

На практике хорошо известно, что визуальное наблюдение пенного слоя для флотатора является одним из определяющих факторов при руководстве его последующими действиями, так как характеристики пены зависят от минералогических свойств перерабатываемого сырья и применяемых реагентных режимов и тесно связаны с качеством выходного продукта. Однако мнение даже опытного флотатора является субъективным и он не может осуществлять постоянный контроль по всему периметру комплекса. В традиционных системах управления комплексом флотации не учитываются косвенные параметры, характеризующие процесс (цвет, размеры и форма пузырьков пенного продукта), ввиду отсутствия датчиков, позволяющих следить за этими параметрами. Поэтому особое место в системах управления технологическим процессом занимает развиваемое в последнее время направление технического зрения [1].

В основе принципов построения систем технического зрения лежат математические алгоритмы анализа изображения, результатом такой обработки являются некие выходные параметры, например геометрические размеры, форма и так далее. То есть, такая система имитирующая глаз человека, позволяет формализовать алгоритм принятия решения и значительно минимизировать «человеческий фактор» в управлении технологическим процессом [2].

Система технического зрения предназначена для измерения и регистрации ключевых параметров пенного слоя при флотационной переработке руд. Эти системы, установленные на индивидуальной флотомашине, могут обеспечивать контроль параметров пенного слоя, таких как скорость его движения, размер и распределение пузырей на его поверхности, стабильность схода пенного продукта, степень минерализованности пузырей, цветовые характеристики пенного слоя [3]. Контролируемые системой технического зрения параметры описывают выход с флотомашины пенного продукта и содержание минералов (при наличии цветового различия минералов, содержащихся в питании операции), что позволяет использовать их для построения алгоритмов автоматического управления технологическим процессом. Также системы технического зрения могут использоваться и при ручном управлении, выдавая советы по управлению оператору.

Алгоритмическое программное обеспечение позволяет индивидуально обрабатывать изображение каждого пузырька [4]. Поэтому система позволяет определять текстуру пены

независимо от определения размера пузырьков, благодаря этому формируется дополнительная, но не избыточная информация о свойствах пенного слоя. Например, есть возможность построить систему автоматической идентификации пены, основываясь на ее текстуре. После простого автоматического обучения производится распознавание типов пены на флотомашине в реальном масштабе времени.

Следует обратить внимание в видеосистеме на канал измерения скорости схода пенного слоя в концентратный желоб. Но необходимо отметить существенную нелинейность получаемой модели. Естественно, при снижении скорости пенного продукта улучшается качество концентрата, но резко повышаются потери металла в хвостах. Потери металла в хвостах повышаются также и при большой скорости съема пенного продукта, что связано с увеличением циркуляций в схеме [5]. Высокая плотность пульпы также критична для процесса и приводит к ухудшению технологических показателей.

Немаловажное функциональное технологическое назначение системы технического зрения – настройка оптимальной кинетики процесса по фронту флотации. Какая бы ни была высокая квалификация флотатора, непрерывно вручную по визуальным наблюдениям вести процесс в оптимальном режиме невозможно.

Наиболее важным назначением видеосистемы являются контроль и стабилизация на оптимальном уровне циркуляционных потоков. В практике флотационного обогащения хорошо известно, что циркуляции в технологическом процессе в промышленных условиях имеют приоритетное значение в достижении высоких технологических показателей.

Таким образом, видеосистемы контроля параметров пены являются высокотехнологичным решением для совершенствования действующих режимов обогащения и использования в системах управления флотационными операциями. Результаты изучения промышленной практики эксплуатации классических канонических схем флотации обосновывают перспективность развития нового направления в проектировании обогатительных фабрик.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машевский Г. Н., Хейккинен С., Исокангас А. Новая система компьютерного управления процессом флотации // Обогащение руд. 2007. № 1. С. 45–48.
2. С. Aldrich, D. W. Moolman, F. S. Gouws, and G. P. J. Schmitz. Machine learning strategies for control of flotation plants // Control Engineering Practice, (5):263 – 269, 1997.
3. G. Bonifazi, S. Serrantia, F. Volpe, and R. Zucob. Characterization of flotation froth color and structure by machine vision // Computers & Geosciences, 27:1111–1117, 2001.
4. Хейккинен С., Машевский Г. Н. Алгоритмическая база для управления технологическим процессом флотации // Обогащение руд. 2005. № 6. С. 32–37.
5. Мойланен Я., Тимпери Ю., Кемппинен Х. Принципы компьютерного управления флотационным процессом на базе новой продукции Outotec – видеосистемы Frothmaster // Горный журнал. 2010. № 2. С. 89-92.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСРЕДНЕНИЯ КОНЦЕНТРАТОВ

АЖИПА И. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Ключевым свойством концентрата является химический состав. Химическим составом концентрата напрямую определяется качество выходного продукта. И, соответственно, к рудной смеси предъявляется требование, которое заключается в том, что она должна быть равной по химическому составу, с минимальными отклонениями по массовой доле компонентов (Fe, CaO, SiO<sub>2</sub>, и др.) [2]. Для удовлетворения этого требования применяется технология усреднения концентрата.

Технология усреднения концентрата включает в себя следующие этапы:

1. Приёмка привозного железорудного сырья в одном потоке с местным концентратом в смеси с известью и богатой сернистой рудой, а также смесью концентратов аглоруд. Соотношение компонентов определяется недельным графиком.

2. Послойная закладка формируемого штабеля на его полную длину непрерывным возвратно-поступательным движением разгрузочной тележки сборного конвейера;

3. Поэтапный переход на выборку сформированного штабеля грейферными кранами. На этом этапе производится формирование паспорта штабеля.

Стабилизируемые химические характеристики агломерата  $a_j$  определяются в соответствии с требованиями доменного передела, для них должен быть обеспечен минимум комплексного критерия качества  $J$ , представляющего собой взвешенную сумму квадратов отклонений стабилизируемых химических характеристик агломерата от заданных значений [2]:

$$J = \min_U \left[ \sum_{k=1}^K \left( \sum_{j=1}^m \rho_j \cdot [\alpha_j(Y, Z, U) - \alpha_j^0]^2 \right) \right],$$

где  $U$  – вектор управляющих воздействий по шихтовому и спекательному отделениям;  $P_i$  – положительный весовой коэффициент при  $i$ -й стабилизируемой характеристике от задания, и её значимость;  $a_j$  –  $i$ -я стабилизируемая характеристика;  $\alpha_i^0$  – задание на  $i$ -ю стабилизируемую характеристику;  $Y$  – вектор химического и минералогического состава аглошихты;  $Z$  – вектор состояния оборудования, элементами которого являются частота остановок агломашин.

Достижение минимума комплексного критерия качества  $J$  возможно только при условии выполнения ограничений на расходы компонентов аглошихты [2]:

по основности

$$\sum \left[ \frac{(CaO)_{m_i} \cdot m_i}{(SiO_2)_{m_i} \cdot m_i} \right] = \left[ \frac{(CaO)}{(SiO_2)} \right]_{агл};$$

по железу

$$\sum [(Fe)_{m_i} \cdot m_i] = (Fe)_{агл};$$

и по твёрдому

$$\sum m_i - \Delta_1 \pm \Delta_2 = 1,$$

где  $m_i$  – удельный расход  $i$ -го компонента шихты;

$(CaO)_{агл}, (SiO_2)_{агл}, (Fe)_{агл}, (CaO)_{агл}, (SiO)_{агл}, (Fe)_{агл}$  – содержание соответствующих химических элементов в компонентах аглошихты;

$\Delta_1$  – потери массы шихты в результате выгорания углерода, серы, удаления с газом гидратной влаги, CO<sub>2</sub> карбонатов;

$\Delta_2$  – изменение массы шихты в результате окисления или восстановления окислов железа.

При этом для процесса стабилизации характерны проблемные ситуации, связанные с прекращением подачи одного или нескольких стабилизируемых компонентов, а также со значительным изменением состава подаваемых компонентов. Возникновение таких ситуаций влечёт за собой формирование аномальных зон в штабеле. Тогда при подаче на последующие звенья технологического комплекса концентрата из штабеля, включающего аномальные зоны, необходимо вводить коррекцию работы оборудования для обеспечения прежнего уровня выходного сырья.

Для осуществления такой коррекции, прежде всего, необходимо определить изменения выходных сигналов, сигнализирующие о наличии аномальных зон в штабеле. Что требует изучения характера выходных сигналов в зависимости от условий формирования штабеля, для чего уместно провести имитационное моделирование процесса.

На сегодняшний день разработано множество программных средств, упрощающих имитационное моделирование в разных областях человеческой деятельности. Большинство таких средств основано на мультиагентном подходе, что позволяет создавать имитационные модели сложных систем, состоящих из множества самостоятельных модулей взаимодействующих друг с другом. Можно выделить следующие популярные системы: XJ Technologies AnyLogic [1], Breve [5], Repast [4], NetLogo [3].

Перечисленные системы похожи архитектурной организацией — состоят из следующих модулей [1, 3, 4, 5]:

1. Ядро системы реализующее базовый функционал.
2. Оболочка, обеспечивающая взаимодействие с пользователем: визуализацию модели, визуализацию выходных параметров модели, определение входных параметров модели, управление исполнением модели.
3. Также зачастую в рамках системы реализуется доменно-специфичный язык, позволяющий описать модель с использованием сервисов ядра системы. Например, в системе NetLogo используется язык Logo, в Repast – ReLogo, в Breve – steve. Кроме того, многие системы имеют программный интерфейс(API) для какого-либо популярного языка общего назначения (в основном Java).

Для целей построения имитационной модели процесса стабилизации удобнее всего применять средство, позволяющее использовать API ядра в каком-либо популярном языке общего назначения; такой подход допускает в будущем упаковку имитационной модели в библиотеку компонентов. Из перечисленных систем этому требованию удовлетворяют AnyLogic, Repast, Breve.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Киселева М. В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 88 с.
2. Зобнин Б. Б. Структуризация проблем, возникающих при решении задач управления развитием сложных технологических комплексов (на примере процесса агломерации) / Б. Б. Зобнин, С. В. Ендияров, С. Ю. Петрушенко. Екатеринбург: Связь-пром 2010: материалы Междунар. науч.-практ. конф., 2010.
3. Railsback, S. F. Agent-Based and Individual-Based Modeling: A Practical Introduction / V. Grimm Princeton University Press, 2011, 352 с.
4. North, M.J. A Declarative Model Assembly Infrastructure for Verification and Validation / T.R. Howe, N.T. Collier, J.R. Vos, Advancing Social Simulation: The First World Congress, Springer, Heidelberg, FRG, 2007
5. breve: a 3d Simulation Environment for Multi-Agent Simulations and Artificial Life [Электронный ресурс] – <http://www.spiderland.org/>.

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

МЕНЬШИКОВ С. Б.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

При отсутствии достаточно точного задания об объекте управления традиционные методы решения задач управления оказываются неэффективными или могут быть вообще неприменимы. основополагающими элементами структуры нечеткой модели является база правил и число нечетких множеств, соответствующих каждому входу и выходу модели. Одними из основных методов самоорганизации и настройки нечетких моделей являются методы кластеризации.

Кластеризация или кластерный анализ (Data clustering) — задача разбиения заданной выборки объектов (ситуаций) на непересекающиеся подмножества, называемые кластерами, так, чтобы каждый кластер состоял из схожих объектов, а объекты разных кластеров существенно отличались.

При проведении исследования были рассмотрены два метода кластеризации:

1. Алгоритм полноразмерной четкой кластеризации методом  $k$  средних.
2. Алгоритм нечеткой кластеризации FCM-метод (Fuzzy c-means).

**Метод  $k$ -средних.** Наиболее распространен среди неиерархических методов алгоритм  $k$ -средних, также называемый быстрым кластерным анализом. В отличие от иерархических методов, которые не требуют предварительных предположений относительно числа кластеров, для возможности использования этого метода необходимо иметь гипотезу о наиболее вероятном количестве кластеров.

Алгоритм  $k$ -средних строит  $k$  кластеров, расположенных на возможно больших расстояниях друг от друга. Основной тип задач, которые решает алгоритм  $k$ -средних - наличие предположений (гипотез) относительно числа кластеров, при этом они должны быть различны настолько, насколько это возможно. Выбор числа  $k$  может базироваться на результатах предшествующих исследований, теоретических соображениях или интуиции.

Общая идея алгоритма: заданное фиксированное число  $k$  кластеров наблюдения сопоставляются кластерам так, что средние в кластере (для всех переменных) максимально возможно отличаются друг от друга.

Достоинства алгоритма  $k$ -средних:

- простота использования;
- быстрота использования;
- понятность и прозрачность алгоритма.

Недостатки алгоритма  $k$ -средних:

– Алгоритм слишком чувствителен к выбросам, которые могут исказить среднее. Возможным решением этой проблемы является использование модификации алгоритма - алгоритм  $k$ -медианы;

– Алгоритм может медленно работать на больших базах данных. Возможным решением данной проблемы является использование выборки данных.

– Потенциальная возможность возникновения псевдокластеров, которая является следствием раздельной проекции элементов на каждую координатную ось. Также при перекрытии проекций кластеров на одну ось одномерный анализ приводит к выводу о существовании одного кластера, это приводит к неверному заданию нечеткого множества и его центра, который не соответствует ни одному из центров двумерных кластеров.

**FCM-метод.** FCM-алгоритм кластеризации предполагает, что объекты принадлежат всем кластерам с определенной ФП. Степень принадлежности определяется расстоянием от объекта до соответствующих центров кластеров. Данный алгоритм итерационно вычисляет центры кластеров и новые степени принадлежности объектов. Особенностью метода является использование нечеткой матрицы принадлежности определяющими принадлежность каждого элемента исходного множества векторов каждому кластеру.

Достоинства алгоритма FCM-метода

- простота использования;
- быстрота использования;
- понятность и прозрачность алгоритма.

Недостатком алгоритма FCM-метода является его чувствительность к шуму измерений.

В исследовании для сравнения этих двух алгоритмов была сделана выборка данных (см. таблицу).

Выборка данных

$P_j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X=X1$	0,7	1,4	1,2	1,8	2,5	2,3	2,4	3	2,1
$Y=X2$	0,8	0,9	1,3	0,8	0,9	1,6	2,4	2,7	3

Результаты кластеризации, полученные при использовании обоих алгоритмов, см. на рис. 1, 2.

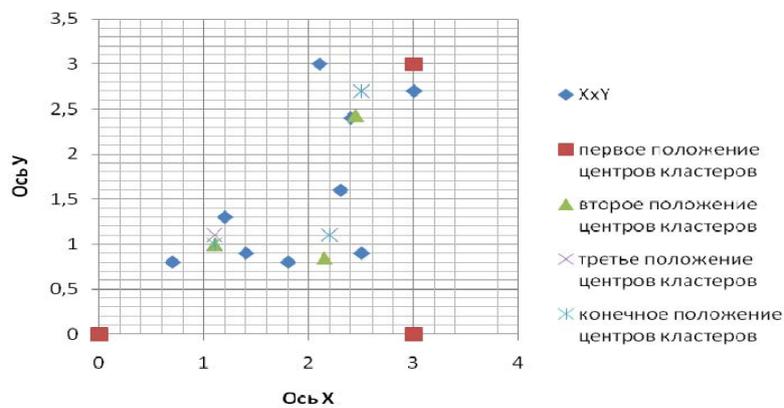


Рис. 1. Определение центров кластеров методом  $k$ -средних

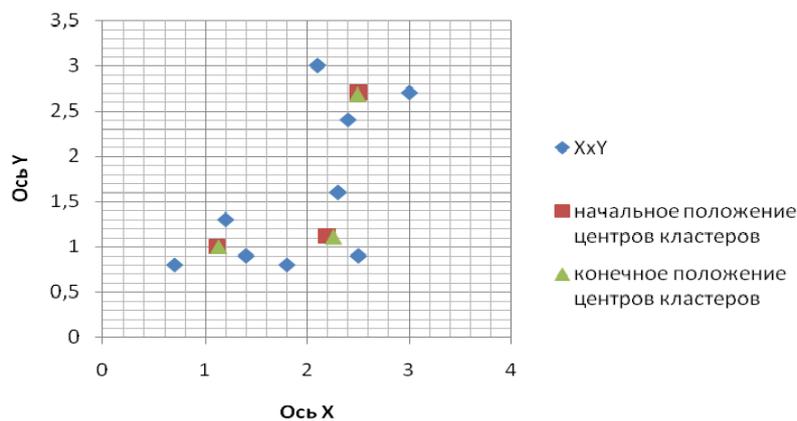


Рис. 2. Определение центров кластеров FCM-методом

При сравнении двух методов кластеризации можно отметить, что FCM-метод является более простым и позволяет за меньшее количество операций получить удовлетворительный результат.

## **ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ГОРНОТРАНСПОРТНЫМ КОМПЛЕКСОМ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА**

*АРЕВКОВ О. В.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Основное производство железорудного сырья сосредоточено на горно-обогатительных комбинатах, которые были введены в эксплуатацию в 60-70 годы прошлого столетия и характеризовались высокими энергетическими и материальными затратами на производство единицы продукции, а также относительно невысокой производительностью труда. Такое положение в условиях современной экономики создало значительные трудности для сбыта продукции, ее конкурентоспособности и заставило искать и внедрять новые инновационные технологии, принимать решения, позволяющие снижать удельные затраты, расширять ассортимент продукции, комплексно осваивать месторождения.

На сегодняшний день любой ГОК насчитывает десятки локомотиво-составов основного грузового ж-д транспорта, сотни вспомогательного, а также несколько станций которые оснащены блочно-релейной маршрутизацией, основанной на релейной логике.

В настоящее время в основе процесса управления транспортными грузопотоками на большинстве горно-обогатительных комбинатах обычно используется традиционная система централизации и блокировки (СЦБ) и голосовая радиосвязь. Такое взаимодействие часто вызывает несогласованность в действиях между автомобильными и поездными диспетчерами, машинистами электровозов, водителями карьерных автосамосвалов, машинистами экскаваторов. Традиционный метод управления уже не только неэффективен, но и очень опасен, так как несогласованность в действиях может привести к несчастным случаям на производстве. Более того, существующий метод не обеспечивает повсеместного и постоянного контроля над работой транспортной сети, что может повлечь за собой учащение случаев хищения материальных ценностей на производстве.

В целом система устарела и морально, и физически и требует замены на более надежную, новую и простую в обслуживании. Поэтому было принято решение о разработке новой информационно-управляющей системы с применением современных компьютерных технологий.

Разработка микропроцессорной системы управления позволит, во-первых, осуществлять управление устройствами электрической сигнализации железнодорожных станций и прилегающих к ним перегонов. Во-вторых, позволит повысить безопасность движения поездов, увеличить пропускную способность станций и снизить затраты на содержание устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ). В то же время данная система должна удовлетворять всем требованиям «Правил технической эксплуатации ж.д. транспорта предприятий металлургии», «Инструкции по движению поездов и маневровых передвижений», «Инструкции по сигнализации».

Конкретные задачи, которые должны быть решены с применением данной системы, выглядят так:

1. Непрерывный контроль напольного оборудования.
2. Ведение дежурным ситуации по станции посредством ввода МСУ данных.
3. Прокладка и контроль маршрутов по станции для принимаемых или отправляемых подвижных единиц.
4. Индикация ситуации по станции.

Проанализировав условия работы и обслуживания оборудования, было принято решение: устройства, непосредственно работающие с напольным оборудованием, такие как блоки управления стрелками, огневые реле оставить те же, что применялись в традиционных системах СЦБ. Остальная же логика была «заменена» микропроцессорным оборудованием. Для сбора информационных и выдачи управляющих сигналов необходимо применить модули так называемого удаленного ввода-вывода (Remote I/O), объединенных общей шиной, например

Profibus-DP. Все оборудование по сбору сигналов необходимо расположить вместе с СБЦ в отдельном шкафу (например, фирмы Rittal). Релейное оборудование, работающее непосредственно с напольным, разместить отдельно.

Промышленный контроллер на базе компьютера было решено взять за ядро данной системы. В качестве программного обеспечения был выбран пакет Wonderware Factory Suite в составе InControl и InTouch. InControl по промышленной шине (в данном случае Profibus) реализует следующие функции:

- сбор и первичную обработку сигналов от напольного оборудования,
- выдачу управляющих сигналов напольному оборудованию,
- осуществление «низовых» элементов маршрутной логики – блокировка, контроль взреза, неисправностей стрелок, контроль неисправностей светофоров и т.д.

InTouch является системой человеко-машинного интерфейса. В системе СЦБ ему отводятся такие функции, как:

- Реализация всех задач, возлагаемых в традиционной СЦБ на мнемосхему станции. Это – отображение занятости секций, состояний стрелок, визуализация маршрутов и т.п.
- Реализация задач, возлагаемых в традиционной СЦБ на пульт станции.
- Прокладка маршрутов по станции. То, что раньше реализовывалось с помощью промышленного протокола SuiteLink.

В результате внедрения программного обеспечения в МСУ, мы, для примера, получаем следующие возможности:

- дежурный может «мышкой» занимать или освобождать секции, «вешая» на них позывной поезда или признак занятия участка пути ремонтной бригадой,

- дежурный может устанавливать или снимать предупреждения по ограничению движения на секцию или стрелку, причем, при прокладке маршрута по этим участкам, МСУ напомнит дежурному о необходимости сообщить бригаде поезда о них;

- МСУ не только «молча» блокирует прокладку встречных и лобовых маршрутов, но и аккуратно сообщает причины, по которым она это делает;

- МСУ навсегда запоминает все события, которые происходили на станции с момента своего запуска и позволяет в любой момент «восстановить» транспортную ситуацию за любой отрезок прошедшего времени;

- МСУ по запросу может печатать на принтере всю информацию по движению составов.

Создание информационно-управляющей системы горнотранспортным комплексом принесет экономию комбинату за счет более низкой, по сравнению с традиционной СЦБ, стоимостью оборудования, а в перспективе ожидается большой экономический эффект от увеличения производительности среднесписочной единицы парка подвижного состава и объема ежегодно перевозимой горной массы без увеличения парка локомотиво-составов. Также данная система сможет минимизировать количество простоя оборудования, а то и вовсе свести его к нулю.

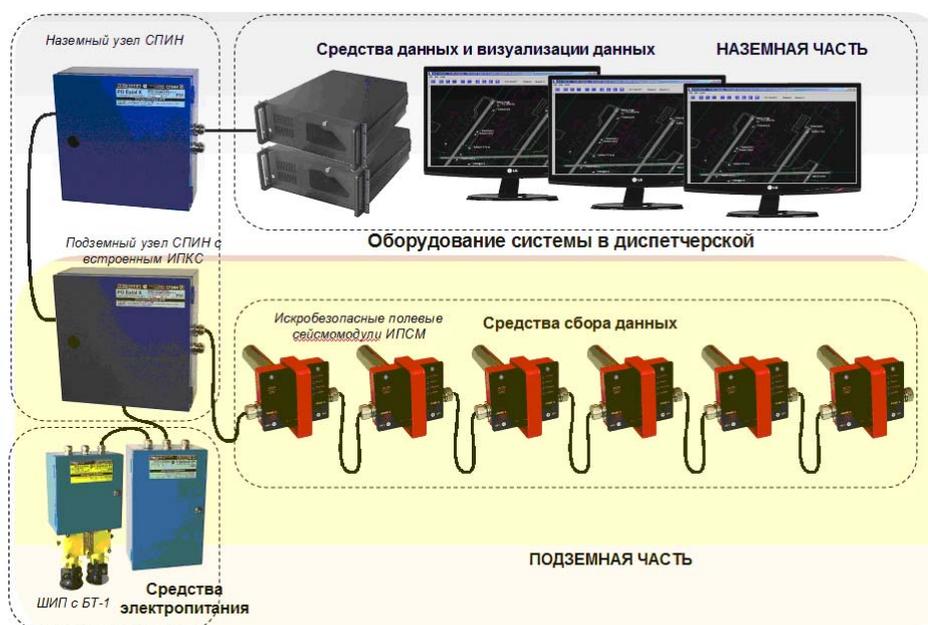
## СИСТЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА «МИКОН-ГЕО»

АЛЕКСАНДРОВА А. В., ГОРИН П. Н.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В связи с необходимостью реализации изменений и дополнений к п. 41 ПБ 05-618-03, касающихся создания и обеспечения функционирования на угольных шахтах многофункциональных систем безопасности, обеспечивающих, в том числе контроль за состоянием горного массива, контроль и прогноз внезапных выбросов и горных ударов (система геофизических и сейсмических наблюдений) Уральским государственным горным университетом совместно с научно-производственным предприятием ООО «Информационные горные технологии» (далее «Ингортех») была разработана Система локального и текущего контроля состояния массива «МИКОН-ГЕО» для обнаружения зон развития опасных геогазодинамических явлений в процессах подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Система «МИКОН-ГЕО» представляет собой программно-технический комплекс, к техническим средствам которого относятся: шесть искробезопасных полевых сейсмических модулей (ИПСМ), искробезопасный полевой контроллер синхронизации (ИПКС), шахтные источники питания ШИП с трансформаторными блоками (БТ-1), система передачи информации (СПИН), комплексные кабели питания и связи. К программным средствам системы относятся: инструментальное программное обеспечение ПО ИПСМ, инструментальное ПО ИПКС, ПО СПИН, специальное программное обеспечение геоинформационной системы ПО ГИС, ПО связи между инструментальным ПО ИПСМ и специальным ПО ГИС.



Структурная схема системы «Микон-Гео»

ИПСМ представляет из себя модуль, состоящий из сенсора со встроенным 3С-геофоном, монтируемым в отверстия, пробуренные в массив, и измерительного преобразователя, принимающего сигнал от сенсора, преобразующего и передающего его далее в ИПКС.

ИПСМ обеспечивают: прием внешней команды синхронизации по цифровому каналу связи и от внешнего источника синхроимпульса типа «сухой контакт»; надежный сейсмоакустический контакт ИПСМ с массивом; преобразование сейсмосигналов в

электрические сигналы; фильтрацию и усиление электрических сигналов от геофонов в соответствии с настроечными параметрами (НП); аналого-цифровое преобразование электрических сигналов; запись сейсмической трассы – накопление результатов измерений во внутреннем буфере в соответствии с НП; определение пространственной ориентации ИПСМ (с использованием внутренних инклинометров); передачу накопленных трасс из внутреннего буфера по цифровому каналу связи техническим средствам уровня передачи данных; формирование и передачу по цифровому каналу связи параметров, характеризующих ориентацию ИПСМ и состояние технических средств полевого уровня; прием настроечных параметров по цифровому каналу связи и их хранение в энергонезависимой памяти; индикацию наличия напряжения питания, общего количества и порядкового номера ИПСМ в шлейфе, процесса приёма/передачи данных по цифровому каналу связи, получения и генерации синхрои импульса; автоматическое обеспечение соответствия идентификационного номера по цифровому каналу связи и положения ИПСМ на горно-технологическом объекте (порядковый номер в цепочке ИПСМ, соединенных по шинной топологии).

Технические средства полевого уровня обеспечивают возможность дистанционного (по цифровому интерфейсу) задание настроечных параметров.

Главная функция ИПКС - разделение цифровой шины на быстрый сегмент для средств сбора данных и медленный сегмент для подключения объектовой системы (системы сейсмического контроля одного участка контроля) к системе передачи информации СПИН, а также буферизации, т. е. временного хранения данных от ИПСМ при переходе от быстрой цифровой шины к медленной.

Система передачи информации СПИН состоит из подземного и наземного узла связи. СПИН является шлюзом для передачи сейсмических данных от ИПСМ на уровень обработки данных.

На уровне обработки данных и представления информации используется серийно выпускаемый компьютер с главным (системным) ПО ГИС и серийно выпускаемые устройства для получения «твердых» копий результатов контроля и прогноза.

Технические средства уровня обработки данных и представления информации с главным (системным) ПО обеспечивают: конфигурирование ПО – геоинформационное описание контролируемых горно-технологических объектов (ГТО); пространственную привязку шлейфа ИПСМ к контролируемому ГТО; обмен данными с техническими средствами полевого уровня (ИПСМ, ИПКС) через технические средства уровня передачи данных (СПИН); сохранение данных в долговременных электронных архивах; ручную, автоматизированную, автоматическую обработку данных (автоматическое выделение режимов «тишина» / «добыча»; «проходка»; автоматическое управление работой ИПСМ (запуск); определение координат добычного комбайна в лаве при его работе (задача «ПЕЛЕНГ»)); определение работы добычного комбайна «под нагрузкой» (т.е. при воздействии рабочего органа комбайна на горный массив); определение сейсмоэнергетического состояния горного массива в режиме «тишина» (задача «ТРЕСКИ»); локация структурных элементов горного массива (блоков) и оценка его напряженно-деформированного состояния в режиме «добыча» («проходка») по атрибутам проходящих и отраженных волн различной поляризации (задача «СТРУКТУРА МАССИВА»); отображение матрицы плотности сейсмической энергии в задаче «ТРЕСКИ»; отображение структурных элементов массива в цветовой гамме, соответствующей относительной оценке горизонтальной компоненты напряжений (задача «СТРУКТУРА МАССИВА»); представление результатов обработки данных в виде 2-х мерного (плоского) или 3D изображения ГТО с выделением блоков, составляющих горный массив, и их характеристик с оценкой достоверности; отображение положения комбайна на схеме участка в задаче «ПЕЛЕНГ»; предоставление информации о положении добычного комбайна в лаве в систему диспетчерского управления; контроль динамики изменения состояния горного массива по данным в режимах «ТРЕСКИ» и «СТРУКТУРА МАССИВА» и определение степени опасности развития аварийных ситуаций (задача «ПРОГНОЗ»); формирование прогноза изменения во времени структуры и состояния блоков, составляющих горный массив и их границ; сохранение результатов контроля и прогноза в долговременные электронные архивы; предоставление удаленного доступа к долговременным электронным архивам.

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ КОНТРОЛЯ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ

МАТВЕЕВ В. В., ЧАКИН Д. А.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

В системах автоматизации для контроля состояния объекта управления используют дискретные (логические) сигналы. Они поступают на модули ввода логических сигналов (далее, модуль) управляющего устройства. На практике часто применяют модули для работы с сигналами двух типов: сигнал типа «сухой» контакт, сигнал в виде высокого или низкого уровня напряжения (потенциальный). «Сухим» контактом является источник информации, не имеющий встроенного источника энергии (рис. 1, а), например, контакт реле. Второй тип сигналов формируется с помощью встроенного источника энергии  $U$  (см. рис. 1, а).

Модули для работы с сигналами первого типа должны осуществлять контроль состояния контакта «замкнут» или «разомкнут», определение короткого замыкания на линии, неправильное подключение сигнальной линии. Для решения данных задач в датчиках последовательно с контактом устанавливают диод (см. рис. 1, а). Установка диода позволяет определить замыкание контакта датчика, правильность подключения сигнальной линии и наличие короткого замыкания на линии.

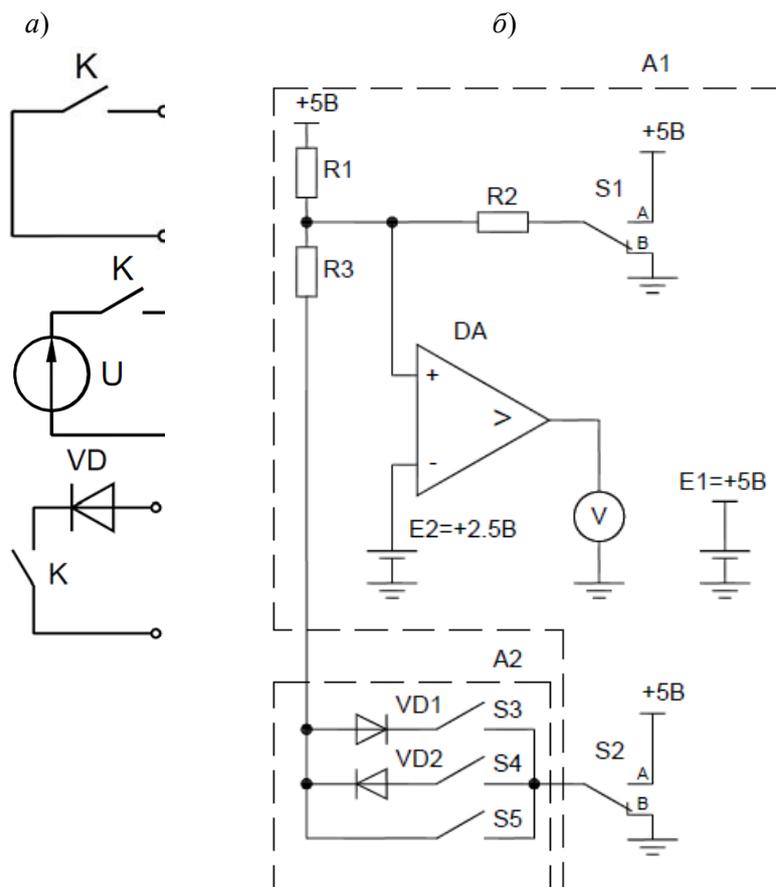


Рис. 1. Источники дискретных сигналов

Для исследования алгоритмов работы модуля дискретных (логических) сигналов типа «сухой контакт» в программе моделирования электронных схем WorkBench было составлено схемотехническое решение (рис. 1, б). Схема состоит из двух функциональных частей *A1*, *A2*. Часть *A1* предназначена для управления контролем за состоянием контакта датчика, сигнальной линии (контакты *S1*, *S2*, источник питания *E1*) и преобразования аналогового сигнала в двухуровневый сигнал (компаратор *DA*, источник опорного напряжения *E2*, *R1*, *R2*, *R3*). Часть *A2* позволяет имитировать состояние контакта датчика и сигнальной линии. Результаты исследований приведены в таблице.

Результаты моделирования

Конт. <i>A</i>	Конт. <i>B</i>	Конт. <i>C</i>	Выход компаратора, В		Описание состояний датчика и сигнальной линии
			<i>S1=A</i> , <i>S2=B</i>	<i>S1=B</i> , <i>S2=A</i>	
Разомкнут	Разомкнут	Разомкнут	5	0	Контакт датчика разомкнут
Разомкнут	Разомкнут	Замкнут	0	5	Короткое замыкание на сигнальной линии
Разомкнут	Замкнут	Разомкнут	5	5	Сигнальная линия подключена неправильно
Замкнут	Разомкнут	Разомкнут	0	0	Контакт датчика замкнут

На основе результатов исследований при разработке модуля дискретных входов на базе системы на кристалле (*PSoC3*) была разработана функциональная структура аппаратной и программной частей системы управления модулем с 8-ю входами (рис. 2).



Рис. 2. Структура системы управления модулем дискретных входов:

ИОН – источник опорного напряжения, CAN – шина передачи данных

Результаты работы планируется использовать при модернизации модуля дискретных входов вычислительного блока. Он используется в составе комплекса технических средств автоматизации производственных процессов.

## РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МОДУЛЕМ РЕЛЕЙНЫХ ВЫХОДОВ

МАТВЕЕВ В. В., КУЗНЕЦОВ Г. Э.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Дискретные выходные сигналы программируемых логических контроллеров служат для управления различными внешними исполнительными устройствами. Эти сигналы формируются модулями дискретных выходов. Выходные сигналы могут быть сформированы с помощью контакта реле или внутреннего источника энергии. Сигналы поступают в цепи управления исполнительных устройств.

При использовании в качестве выходного элемента контакта реле в модулях применяют схемы источников тока, которые с помощью небольшого управляющего тока создают ток значительно большей величины (рис. 1).

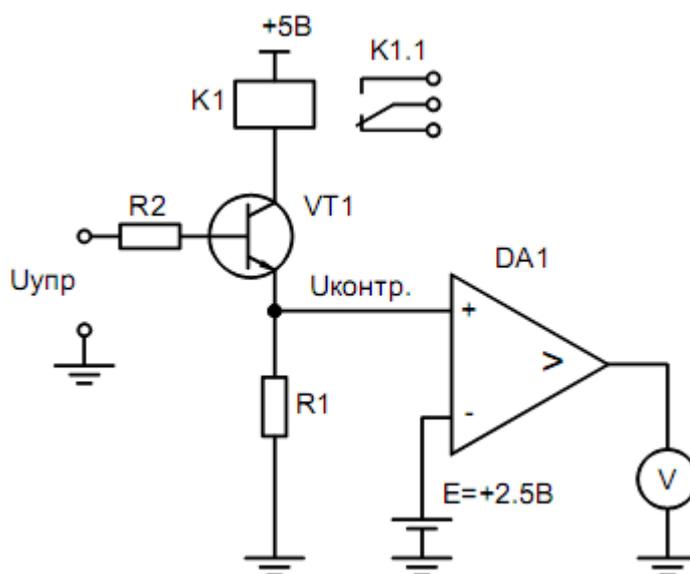


Рис. 1. Упрощенная схема релейного выхода

Для исследования алгоритмов работы модуля релейных выходов в программе моделирования электронных схем WorkBench было составлено схемотехническое решение (рис. 1). Схема состоит из транзисторного источника тока, собранного на биполярном транзисторе *VT1*. В цепь коллектора транзистора включена катушка реле *K1*. Контроль за состоянием транзисторного ключа осуществляется компаратором *DA1*.

В качестве управляющего устройства релейными выходами была выбрана система на кристалле (PSoC3). Она содержит две части аналоговую и цифровую. В состав аналоговой части входят аналоговые блоки: мультиплексоры и компараторы, источники опорного напряжения. Цифровая часть состоит из микропроцессорного ядра 8051 и цифровых блоков. Программа для управляющего устройства разрабатывается с помощью среды программирования PSoC Creator с применением функциональных блоков и языков программирования Си и Assembler.

В результате анализа требований к системе управления модулем релейных выходов и возможностей PSoC3 была сформирована структура аппаратной и программной частей (рис. 2), разработан алгоритм для управления четырьмя релейными выходами с функцией контроля выполнения команд. В структуре для управления релейными выходами задействован порт *P2*.

По интерфейсу CAN от процессорного модуля вычислительного устройства команды поступают в систему управления модулем. Затем сигналы  $U_{упр}$  в виде сигналов напряжения высокого или низкого уровня поступают на входы транзисторных источников тока (см. рис. 1). После срабатывания реле в эмиттерных цепях транзисторных ключей формируются сигналы  $U_{контр}$ . Они поступают на входы порта P0. Внутри PSoC сигналы через аналоговые мультиплексоры поступают на компараторы (см. рис. 2). С выходов компараторов информация поступает в регистр данных порта P0. Из этого регистра данные считываются подпрограммой сбора и обработки данных. После обработки сообщения о выполнении модулем команды управления через интерфейс CAN поступают в процессорный модуль вычислительного устройства.



Рис. 2. Структура системы управления модулем дискретных входов

ИОН – источник опорного напряжения, CAN – шина передачи данных

Результаты работы планируется использовать при модернизации модуля релейных выходов вычислительного блока, применяемого в системах автоматизации технологических комплексов отвода метана.

## МОНИТОРИНГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА УЧАСТКЕ УСРЕДНЕНИЯ КОНЦЕНТРАТА

*ЗИНГЕР И. О.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Темой моего исследования является мониторинг технологического процесса на участке усреднения концентрата. Мое исследование основано на примере работы Магнитогорского металлургического комбината.

Объектом исследования является непрерывный технологический комплекс, предназначенный для формирования шихты заданного качества.

Цель работы: повышение стабильности качества ЖРЧШ посредством мониторинга технологического процесса усреднения компонентов шихты для повышения эффективности производственной и экономической деятельности горного предприятия.

Одним из наиболее эффективных способов стабилизации железорудного сырья является усреднение на складах. Усреднение производится в штабелях большой емкости, отсыпаемых штабелеукладчиком, автостеллой или грейферами. Параметры усреднительных емкостей выбираются таким образом, чтобы при соблюдении режима подачи железорудного сырья на усреднительный склад и технологии формирования штабеля получить рудную смесь требуемого качества. Однако на практике это не всегда достижимо. В случае нарушения технологии усреднения в штабеле образуются аномальные зоны, резко отличающиеся по качеству от заданных значений. При выборке штабеля наличие этих аномалий приводит к существенному увеличению колебаний качественных характеристик рудной смеси, отгружаемой в шихтовые отделения аглофабрик. Ситуация усугубляется тем, что шихта формируется из компонентов, существенно отличающихся по своему химическому составу, а информация о состоянии процесса усреднения поступает с большим запаздыванием.

Основные требования к усреднённой железорудной смеси, отгружаемой на аглофабрику:

– Усреднённая рудная смесь УУК должна быть ровной по химическому составу, с минимальными отклонениями по массовой доле компонентов (Fe, CaO, SiO<sub>2</sub> и др.).

– Усреднённая смесь, отгружаемая на аглофабрику, должна быть идентичной по составу. При одновременной выборке рудной смеси из двух штабелей (период планового перехода и при работе 4-мя кранами), рудная смесь, отгружаемая с усреднённого штабеля, должна пропорционально делиться на все аглофабрики.

Проблемной ситуацией в данном случае является невозможность обеспечения требуемой однородности по химическому составу железорудной шихты в штабеле из-за нарушения графика подачи сырья на УУК, всевозможных нарушений работы оборудования и ручной регулировки расходов компонентов шихты.

Для решения данной проблемы на ММК разработана система верхнего уровня АСУТП рудоподготовительного комплекса. Работа верхнего уровня АСУТП поддерживается комплексом математических моделей, в частности, имитационной моделью формирования штабеля на усреднительном складе, позволяющей наглядно представить возникающую технологическую ситуацию и принять необходимые меры по ее исправлению.

Оценка влияния образовавшихся аномальных зон в штабеле усреднительного склада осуществляется при помощи имитационной модели. Модель позволяет исследовать влияния режимов формирования и отгрузки штабеля на характеристики потока шихты, отгружаемого из штабеля. Для циклических усреднительных складов важнейшими факторами, определяющими спектр колебаний качественных характеристик выходных переменных, кроме возмущающего воздействия, обусловленного изменениями свойств компонентов шихты и их соотношений, являются: способ перемешивания, геометрические и режимные параметры, продолжительность цикла гомогенизации.

Разработанная модель позволяет оценить различные виды выгрузки рудной смеси из сформированного штабеля (выгрузка сверху – грейферами, торцевая выгрузка – экскаваторами или рудозаборными машинами, выгрузка снизу – через точки).

Примеры результатов работы компьютерной имитационной модели в виде графиков изменения содержания железа в потоке железорудной части шихты при загрузке и отгрузке, представлены на рис. 1, 2. В качестве нарушения регламента загрузки штабеля имитировалась неравномерная подача концентрата в течение смены. Это вызвало увеличение в пять раз дисперсии содержания железа в отгружаемом потоке.

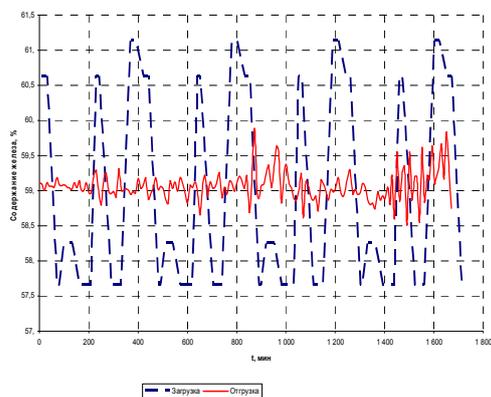


Рис. 1. Изменение содержания Fe при соблюдении регламента работы

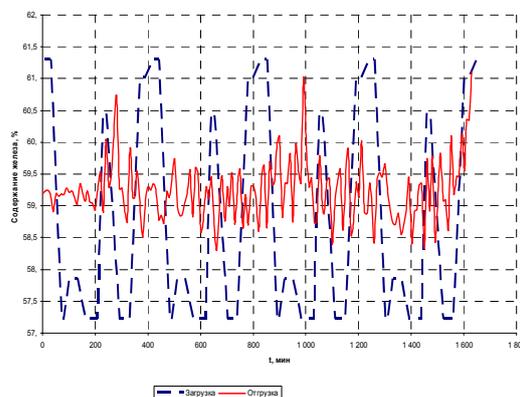


Рис. 2. Изменение содержания Fe при нарушении регламента загрузки штабеля

Проблемой данной системы является отсутствие позиционирования положения автостеллы и нарушение по отношению к плану графика подачи компонентов шихты. При помощи позиционирования можно определить местоположение аномальной по средневзвешенному содержанию железа зоны и предпринять меры по ее устранению. Решение данной проблемы позволяет предупреждать появление аномальных по химическому составу зон в усреднительном штабеле.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зобнин Б. Б., Сурин А. А. Моделирование систем Конспект лекций. Екатеринбург: УГГУ, 2011. 102 с.
2. Рабочая документация КС-03319.00.01-АСУ ОАО «Магнитогорский Metallургический комбинат».
3. ГОП. Аглоцех. Учет поступления и движения сырья на УУК. MES система. Том 3 информационное обеспечение. 2007.
4. Автоматизация технологических процессов на горнорудных предприятиях // под ред. В. С. Виноградова. М.: Недра, 1984. 167 с.
5. Зобнин Б. Б. Задания и методические указания по выполнению курсовой работы. Екатеринбург: УГГГА, 2003. 46 с.
6. Зобнин Б. Б., Сурин А. А. Информационные технологии. Конспект лекций. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 96 с.
7. Зобнин Б. Б. Моделирование систем: конспект лекций. Екатеринбург: УГГУ, 2001. 128 с.

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

*МОКАН А. С., ПРОКОФЬЕВ Е. В.*

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Проблема обеспечения экологической безопасности при эксплуатации трубопроводов в нефтегазодобывающей (НГД) отрасли остается очень острой. Количественная оценка риска в настоящее время рассматривается в качестве главного механизма разработки и критерия управленческих решений.

Проведение анализа риска, включающего идентификацию опасностей, оценку риска и выработку обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасности, связано с необходимостью оценки возможности реализации опасностей и их последствий.

В настоящее время с целью установления единых подходов к анализу риска создана система нормативно-методических документов. Наиболее важные из них, достоверно описывающие все многообразие аварийных процессов и позволяющие с достаточной точностью оценивать опасности эксплуатации магистральных трубопроводов (МТ), представлены в табл. 1.

Таблица 1

Перечень моделей и методов расчета, применяемых при анализе риска аварий МТ

№	Наименование использованных методов	Предназначение
1	Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов	Методология анализа риска, включая терминологию, описание основных методов, процедур анализа риска
2	Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах	Определение частоты и массы утечек, определение массы безвозвратных потерь нефти и ущерба на линейной части
3	Методика определения ущерба окружающей природной среде при авариях на магистральных нефтепроводах	Определение плат за загрязнение окружающей среды нефтью и нефтепродуктами
4	Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»	Методология количественного анализа риска. Определение зон поражения при горении пролива и образовании «огненного шара»
5	Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей»	Определение зон поражения при горении и взрыве облаков топливно-воздушных смесей
6	Методика оценки последствий химических аварий (методика «ТОКСИ»)	Оценка последствий аварий с выбросом опасных химических веществ
7	Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля	Определение зон поражения при горении пролива и образовании «огненного шара»

Основной задачей анализа риска аварий на опасных производственных объектах является предоставление лицам, принимающим решения, достоверной информации [1]:

- о состоянии промышленной безопасности объекта,
- о наиболее опасных, «слабых» местах с точки зрения безопасности,
- обоснованных рекомендаций по снижению риска.

Наиболее эффективен анализ риска при [1]:

- обосновании технических (проектных) решений;
- определении масштабов воздействия поражающих факторов аварий и безопасных расстояний;
- выборе вариантов размещения объекта, сооружений и технических устройств по критериям риска;

- обеспечении безопасности персонала, населения, окружающей природной среды;
- учете экономических вопросов при выполнении требований безопасности.

Так, с помощью Методического руководства по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах можно рассчитать интегральные (по всей длине трассы нефтепровода) и удельные (на единицу длины нефтепровода) значения частоты утечки нефти в год, ожидаемых потерь нефти от аварий, ожидаемого ущерба и других показателей риска [2].

В основе расчета частоты аварий используется принцип балльной оценки риска и технического состояния линейной части МТ, который основан на количественной оценке значимости факторов, влияющих на риск аварий (внешние антропогенные воздействия, коррозия, качество производства (применяемых или существующих) труб, качество строительно-монтажных работ, конструктивно-технологические факторы, природные воздействия, эксплуатационные факторы, дефекты металла трубы и сварных швов) [4].

Количество нефти, которая может вытечь при аварии, является вероятностной функцией, зависящей от места расположения и площади дефектного отверстия, интервала времени с момента возникновения аварии до остановки перекачки, продолжительности истечения нефти с момента остановки перекачки до закрытия задвижек, времени прибытия аварийно-восстановительных бригад. Остальные параметры и условия перекачки (диаметр нефтепровода, профиль трассы, характеристики насосов, установка на защиту и т.п.) могут считаться постоянными и использоваться в качестве исходных данных [3].

Основной задачей при оценке экологического риска является определение ущерба, причиненного природной среде и здоровью человека при возможной аварии на объекте и ее последствиями. Анализ экологического риска включает также экономическую оценку мероприятий, ведущих к минимизации экологического ущерба и программу восстановительных мероприятий [1].

На основании результатов исследования аварий выделено 3 категории возможного распространения нефтепродуктов по поверхности земли и соответствующие категории риска загрязнения поверхности: I – всегда загрязненная, II – значительный риск загрязнения, III – малая вероятность загрязнения [4].

Таблица 2

Частота и вероятность превышения масштаба загрязнения

Площадь загрязнения, м <sup>2</sup>	<10	10 – 10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> – 10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> – 10 <sup>4</sup>	10 <sup>4</sup> – 10 <sup>5</sup>	>10 <sup>6</sup>
Встречаемость, %	11	19	31	27	11	1
Вероятность превышения, %	89	70	39	12	1	<1
Категории риска загрязнения	I		II		III	

Таким образом, процедура оценки риска аварии может считаться основополагающей при оценке состояния экологической безопасности нефтяных и газовых трубопроводов, а так же для выявления приоритетов в мероприятиях обеспечения безопасности, в том числе выбора оптимальной стратегии технического обслуживания, диагностики и ремонта трубопровода.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных производственных объектов» (Утв. постановлением Госгортехнадзора России №30 от 01.09.01).
2. РД «Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах» (утв. ОАО «АК «Транснефть» 30.12.99 пр. №152, согл. Госгортехнадзором России № 10-03/418 от 07.07.99)
3. РД 03-409-01, ПБ 09-170-97, ПБ 03-182-98, ТОКСИ-2 «Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах» / Колл. авт. М: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность» Госгортехнадзора России, 2001.
4. Огняник Н.С., Парамонова Н. К. [и др.]. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: АПН, 2006.