

## Автоматизированная система мониторинга и управления приводом вращателя бурового станка СБШ-250 МНА32

М. П. Сартасов, В. Н. Богатиков, А. В. Маслобоев

*Институт информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, г. Апатиты*

В статье рассматривается информационная система, которая позволяет определять прочность породы на основе анализа режимов работы бурового станка СБШ-250. Приведена схема электропривода вращателя станка, модель переходных процессов в приводе. Предложен способ передачи данных с бурового станка на рабочее место диспетчера. Разработана методика вычисления прочности породы. На ее основе предложен алгоритм вычисления прочности породы. Приведены рекомендации по корректировке сетки скважин.

### 1. Введение

При добыче руды открытым способом на сегодняшний день для отбоя горной массы применяются типовые сетки скважин с размерами от  $6,5 \times 5,5$  до  $7,5 \times 6,5$  м в шахматном порядке. На уступах высотой менее 10 м при взрывании отвалов и смерзшейся взорванной горной массы применяется квадратное расположение скважин. Размеры сетки скважин меняются от  $4 \times 4$  до  $6 \times 6$  (м). Степень взрываемости пород различна, в результате либо получается повышенный выход негабаритов, требующих дополнительных затрат на вторичное взрывание, либо порода переизмельчается и разбрасывается взрывом по берме.

Параметры буро-взрывных работ должны быть адекватны сопротивляемости горных пород разрушению взрывом, что определяется главным образом крепостью пород, трещиноватостью и блочностью.

Разрабатываемая информационная система позволит достичь такой адекватности. Кроме того, внедрение данной системы приведет к сокращению времени и электроэнергии на бурение пород.

Построение такой системы, позволяющей оперативно оценивать состояние породы на основе анализа режимов работы бурового станка, является целью данной работы. Система должна быть в состоянии осуществлять разведочное бурение в опорных скважинах и помогать в решении задачи по коррекции сетки скважин для увеличения эффективности взрыва.

В ходе работы решаются следующие задачи: нахождение электромагнитного момента двигателя постоянного тока по значению тока на якоре двигателя, установление взаимосвязи между электромагнитным моментом и моментом сопротивления вращению, организация процесса передачи данных о значении тока и глубины с бурового станка на рабочее место диспетчера, построение алгоритма вычисления прочности породы, исходя из данных о токе на якоре и глубине бурения.

Информационная система позволит строить прогнозы, которые могут использоваться с целью оптимизации сетки скважин. Оптимизация позволяет сократить время и электроэнергию, затрачиваемую сегодня на бурение пород с высокой степенью взрываемости, энергозатраты на первой стадии измельчения, а также сократить вероятность образования негабаритов. Это в свою очередь поможет сэкономить взрывчатые вещества, необходимые для их ликвидации, а также уменьшить время простой горного транспорта, ожидающего своей очереди в производственной цепи. Данная информационная система разрабатывается для открытых горных работ и служит для увеличения эффективности массовых взрывов.

Для коррекции сетки скважин требуются сведения о прочности породы. Эти сведения могут быть получены путем проведения разведочного бурения. Для этого используются специальные буровые станки, предназначенные для этого. Однако разведочные скважины не предназначены для проведения взрывных работ. В данной работе предлагается информационная система, которая позволит совмещать производственное бурение с разведочным, так как действие информационной системы основано на отслеживании режимов работы бурового станка СБШ-250.

Равенство момента сопротивления и электромагнитного момента достигается благодаря постоянству скорости вращения вала двигателя. Система автоматического регулирования скорости разработана с помощью методов теории оптимального управления. Исследование построенной системы регулирования проведено на модели в среде MatLab.

## 2. Описание работы информационной системы

Работы информационной системы основана на получении и оперативной обработке данных о значении тока на якоре двигателя электропривода вращателя и о глубине бурения. В результате обработки начальных данных, на выходе получают данные о степени сопротивляемости породы взрыванию. Для передачи данных с буровых станков на обработку предполагается использовать радиосвязь.

В основе получения данных о породе лежит связь между электромагнитным моментом и моментом сопротивления вращению. Эта взаимосвязь описывается с помощью следующих уравнений:

$$M_{\text{Э}} - M_{\text{С}} = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (1)$$

Скорость  $\omega$  остается постоянной, так как это обеспечивается системой автоматического регулирования.

$$\omega = \text{const}; \quad (2)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = 0; \quad (3)$$

$$M_{\text{Э}} = M_{\text{С}}. \quad (4)$$

Как видно, электромагнитный момент равен моменту сопротивления. Электромагнитный момент, согласно [1], рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{Э}} = Ik\Phi, \quad (5)$$

где  $I$  — ток якоря двигателя,  $\Phi$  — магнитный поток в зазоре,  $k$  — коэффициент, зависящий от конструкции двигателя.

Отсюда момент сопротивления вращению

$$M_{\text{С}} = Ik\Phi. \quad (6)$$

Магнитный поток и коэффициент, учитывающий конструкцию, не представляют сложности в вычислении и являются постоянными величинами. Это означает, что для вычисления момента сопротивления достаточно знать ток на якоре двигателя привода вращателя. Значение тока может быть получено с помощью датчика.

Момент сопротивления вращению напрямую связан с сопротивляемостью породы разрушению при вращательном бурении и может быть рассчитан согласно [2] по формулам (7)–(10).

$$M_{\text{шар}} = N_{\text{шар}} \frac{D_{\text{дол}}}{3} \cdot k_{\text{тр}} \cdot 10^{-2}, \quad (7)$$

где  $M_{\text{шар}}$  — момент, необходимый для вращения бурового става и долота,  $D_{\text{дол}}$  — диаметр бурового долота,  $k_{\text{тр}}$  — коэффициент, учитывающий трение в подшипниках шарошек и бурового става о стенки скважин.

$$N_{\text{шар}} = h_{\text{ст}} \cdot \frac{D_{\text{дол}}}{2} \cdot \sigma_{\text{БУР}} \cdot z_{\text{шар}} \cdot 10^{-4}, \quad (8)$$

где  $N_{\text{шар}}$  — полное сопротивление, преодолеваемое механизмом вращателя,  $\sigma_{\text{БУР}}$  — прочность при вращательном бурении,  $z_{\text{шар}}$  — число шарошек на долоте.

$$h_{\text{ст}} = \frac{V_{\text{БУР}}}{k_{\text{СК}} \cdot z_{\text{шар}} \cdot n_{\text{дол}}}, \quad (9)$$

где  $h_{\text{ст}}$  — глубина внедрения зубьев шарошки в породу (толщина стружки),  $V_{\text{БУР}}$  — скорость бурения.

$$\sigma_{\text{БУР}} = \frac{M_{\text{С.СРЕД}} \cdot 3 \cdot k_{\text{СК}} \cdot n_{\text{ДОЛ}}}{D_{\text{ДОЛ}}^2 \cdot k_{\text{ТР}} \cdot 10^{-6} \cdot V_{\text{БУР}} \cdot 2}, \quad (10)$$

где  $k_{\text{СК}}$  — коэффициент, учитывающий уменьшение скорости бурения из-за неполного скалывания породы между зубьями,  $n_{\text{ДОЛ}}$  — частота вращения долота (об/мин).

На буровых станках СБШ-250 применяется шарошечное бурение, т. е. разрушение породы происходит путем скалывания фрагментов породы, как показано на рис. 1.

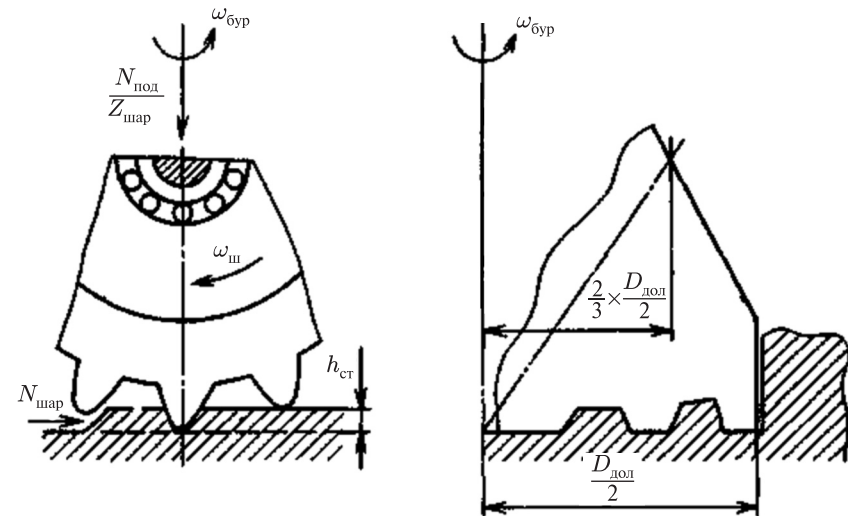


Рис. 1. Схема шарошек на забое скважины

Таблица 1

Стойкость шарошек различных типов

Наименование	Средняя стойкость, метров
ТКЗ-ПВД- $\varnothing$ 250,8	666
ТКЗ-ПВWZ- $\varnothing$ 244,5	425,5
ТКЗ-ПВДМ- $\varnothing$ 250,8	720

Специфика шарошечного бурения позволяет трещиноватости пород также как и крепости влиять на изменение электромагнитного момента. Момент, согласно формуле (10) связан с прочностью при вращательном бурении.

Прочность в свою очередь позволяют судить о способности породы разрушаться под действием взрыва.

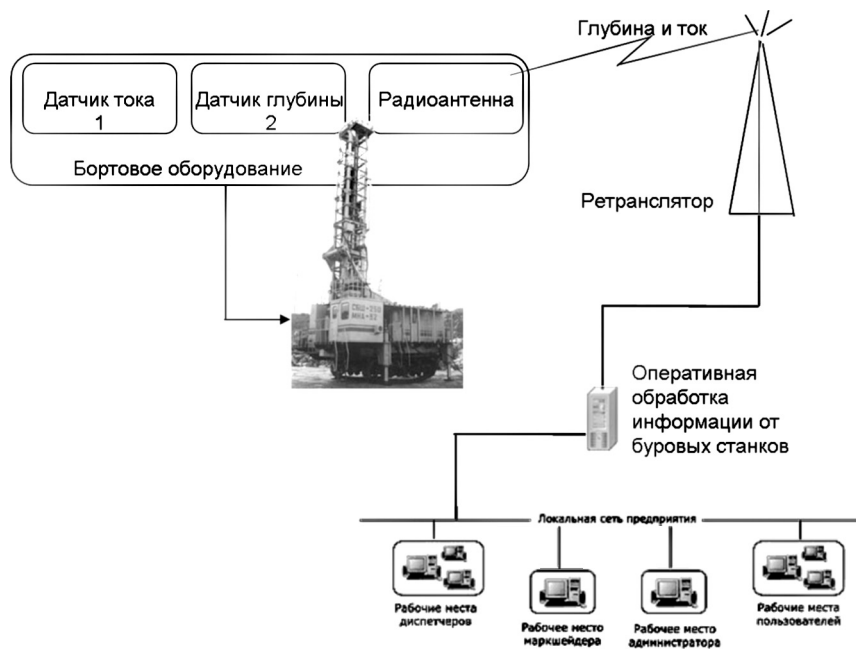


Рис. 2. Система передачи данных

Шарошки имеют ограниченную стойкость, т. е. происходит их постоянное изнашивание, отсюда — естественное увеличение момента сопротивления.

В данное время на Центральном руднике ОАО «Апатит» находят применение три типа шарошек, представленных в табл. 1.

В программе, обрабатывающей данные необходимо дать возможность пользователю задавать тип шарошки. В соответствии с типом, автоматически будет вноситься поправка на стойкость, согласно общему расстоянию, которое прошла шарошка. Эти данные могут быть получены с датчика глубины.

На буровом станке устанавливается два датчика и радиоаппаратура. Схему передачи данных можно проследить на рис. 2.

Значения тока якоря и глубины поступают на рабочее место диспетчера, последний располагает программным обеспечением, позволяющим оперативно обрабатывать информацию.

Программа строит график зависимости момента от времени, и по окончании бурения вычисляет среднюю прочность при вращательном бурении.

### 3. Модель системы автоматического регулирования

Графики переходных процессов смоделированы в среде MatLab. На функциональной схеме, показанной на рис. 3, приведена система привода тиристорного преобразователя-двигателя.

где

Д — двигатель;

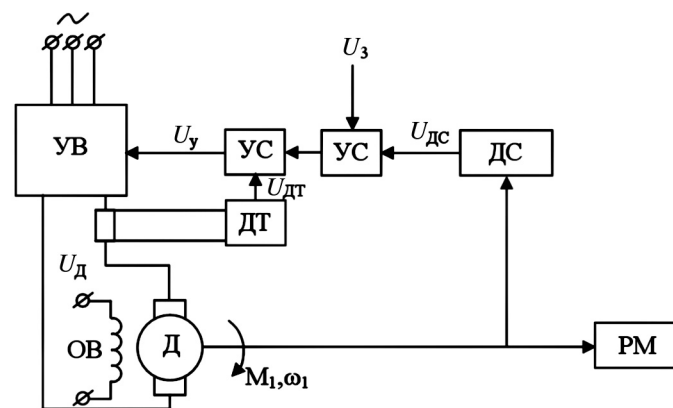


Рис. 3. Функциональная схема управления электроприводом

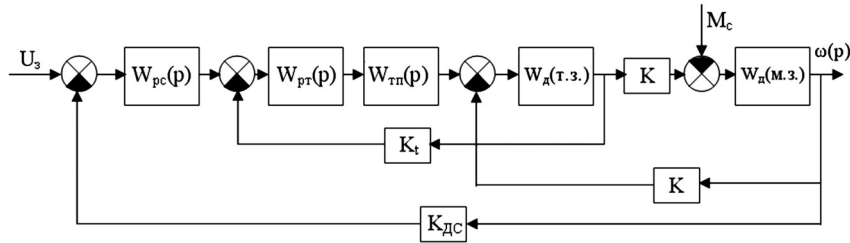


Рис. 4. Структурная схема САР

- ОВ — обмотка возбуждения двигателя;
- $M_1$  и  $\omega_1$  — момент и угловая скорость двигателя;
- РМ — рабочий механизм;
- ДС — датчик скорости;
- ДТ — датчик тока;
- УС — устройство сравнения;
- УВ — управляемый выпрямитель (тиристорный преобразователь);
- $U_d$  — напряжение двигателя;
- $U_u$  — напряжение управления;
- $U_z$  — напряжение задания.

На рис. 4 приведена структурная схема САР — это математическая модель, необходимая для анализа электромеханических процессов протекающих в электроприводе.

Чтобы построить и смоделировать автоматизированную систему управления электроприводом необходимы функции передаточных звеньев, они представлены в табл. 2.

Модель электропривода в среде MatLab представлена на рис. 5.

На рис. 6 и 7 представлены графики переходных процессов в электроприводе. Построение графика скорости программное обеспечение не пре-

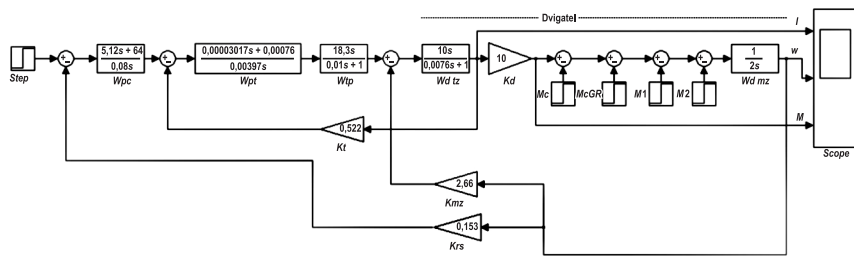


Рис. 5. Схема модели в программе MatLab (Simulink)

Таблица 2

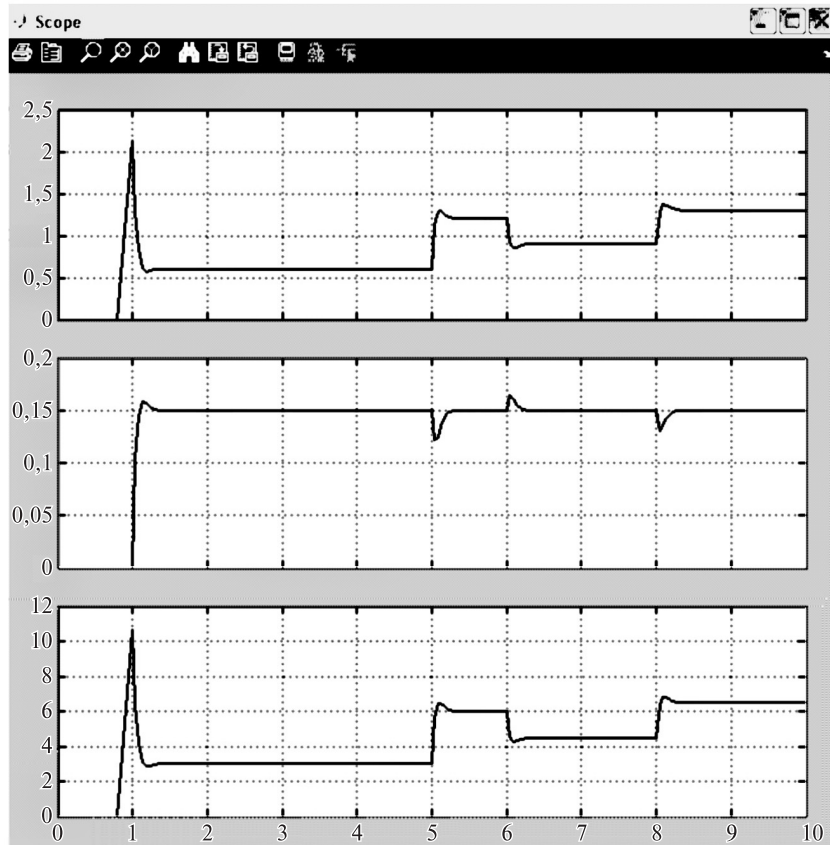
Передаточные функции звеньев

Передаточные функции	Названия
$W_{PC}(p) = \frac{5,12p + 64}{0,08p}$	Передаточная функция регулятора скорости
$W_{PT}(p) = \frac{0,00003017p + 0,0076}{0,00397p}$	Передаточная функция регулятора тока
$W_{TP}(p) = \frac{18,3}{1 + 0,01p}$	Передаточная функция тиристорного преобразователя
$W_{ДПТ.т.з.}(p) = \frac{10}{1 + 0,0076p}$	Передаточная функция токового звена двигателя постоянного тока
$W_{ДПТ.м.з.}(p) = \frac{1}{2p}$	Передаточная функция механического звена двигателя постоянного тока
$K_d = 10$	Коэффициент усиления
$K_i = 0,522$	Коэффициент усиления обратной связи по току
$k_{mz} = 2,66$	Коэффициент передачи механического звена
$K_{ДС} = 0,153$	Коэффициент передачи датчика скорости

дусматривает, смоделировано с целью отслеживания качества регулирования этого параметра. Случайные нагрузки смоделированы в моменты времени  $t = 6$ ,  $t = 8$ . Они имитируют изменение прочности породы при вращательном бурении, в зависимости от глубины. Прослеживаются устойчивые отклонения тока якоря и электромагнитного момента, угловая скорость в течение периода времени, включающего время реакции системы управления и время, учитывающее инерцию движущихся частей, возвращается к заданному значению. Время внезапных внешних воздействий выбрано случайно, так как факторы, влияющие на процесс бурения носят случайный характер.

Среднее значение момента сопротивления может быть получено путем его интегрирования по времени:

$$M_{С.СРЕД} = \frac{\int_{t1}^{t2} M dt}{t} \tag{11}$$

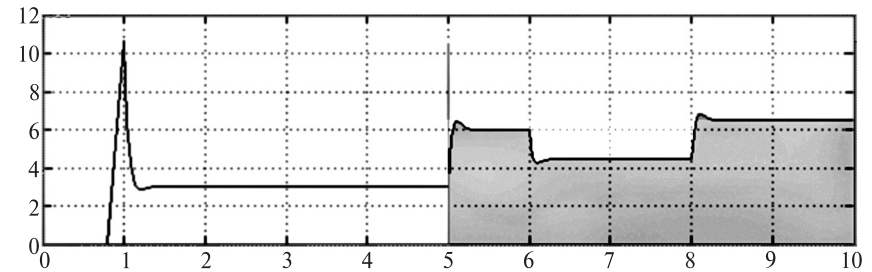


**Рис. 6.** Переходные процессы при пуске двигателя ( $t = 1$ ) и при набросе нагрузки ( $t = 5$ ) для тока якоря, угловой скорости двигателя и момента (сверху вниз)

Далее по формуле (10) вычисляется среднее значение сопротивления при бурении.

Возможен другой вариант обработки потока данных о значении тока. Он заключается в дискретизации потока данных, и записи его в массив. Из массива можно найти среднее значение момента по формуле (12) и вычислить прочность (10)

$$M_{с.сред} = \frac{\sum_{i=1}^n i}{n}. \quad (12)$$



**Рис. 7.** Переходные процессы для величины  $M_c$

В данной работе предложен алгоритм вычисления средней прочности при вращательном бурении путем дискретизации, он представлен на рис. 8.

Фактически отслеживание момента выступает неким механизмом обратной связи, формируя исходные данные для этапа планирования буровзрывных работ и, в частности, коррекции сетки скважин. Любое планирование начинается с оценки предыдущей статистики (предыстории). Информация, собранная за предыдущие периоды, является главной отправной точкой для правильной организации процесса в будущем. Увидеть ошибки, определить риски в организационных моментах можно, если выполнить работу по анализу накопленных статистических данных, их сравнению по определенным критериям оценки эффективности. Установление взаимосвязи между моментом сопротивления вращению при бурении и взрываемостью породы предполагается произвести опытным путем.

#### 4. Корректировка сетки скважин

В опыте необходимо произвести бурение станками СБШ-250 с введенными на них информационными системами по сетке, установленной в типовом проекте и провести массовый взрыв. Установить места образования негабаритов, и сопоставить с данными о прочности породы при бурении, также сопоставить с полученными данными места использования неоправданно большого количества буровых скважин. Соответственно, в местах первой группы требуется уплотнение сетки скважин, второй группы — уменьшение плотности сетки по сравнению с типовой (рис. 9 и рис. 10).

Прочность породы, исходя из опыта, можно использовать для оценки ее взрываемости и корректировки сетки. Для трудно взрывааемых пород необходима более плотная сетка, для легко взрывааемых — менее плотная. Размеры сетки буровых скважин для каждого последующего массового взрыва можно корректировать на некоторое нефиксированное число процентов. Корректировка сетки осуществляется с помощью опорных

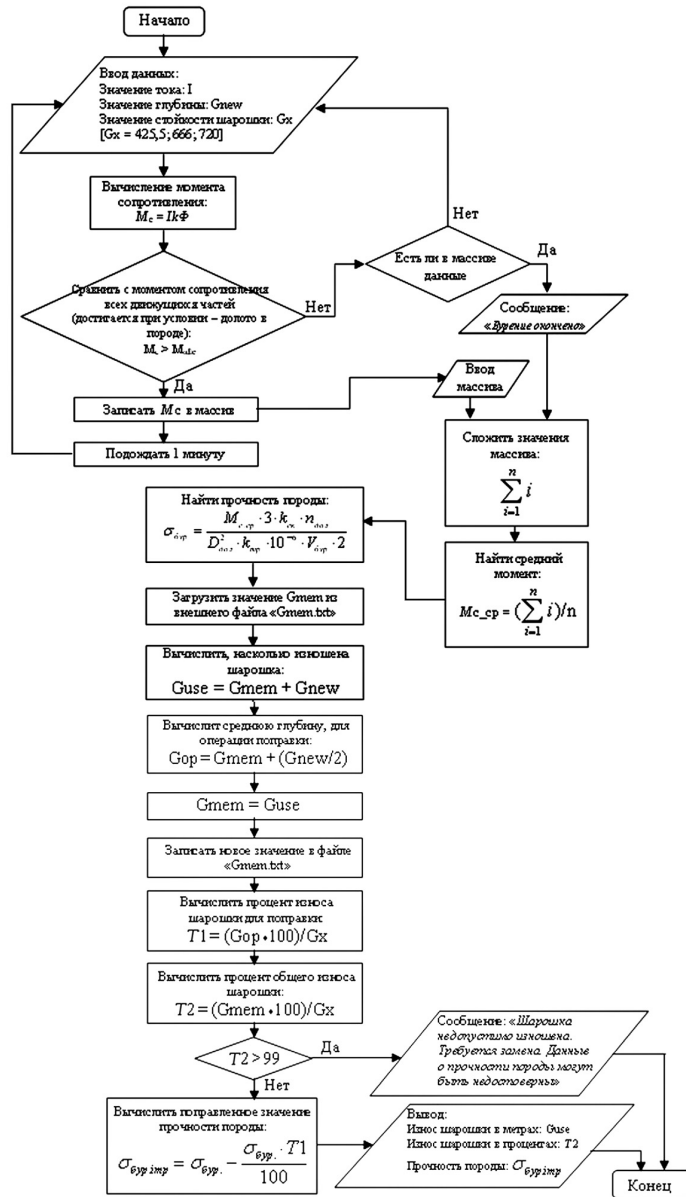


Рис. 8. Алгоритм вычисления прочности породы

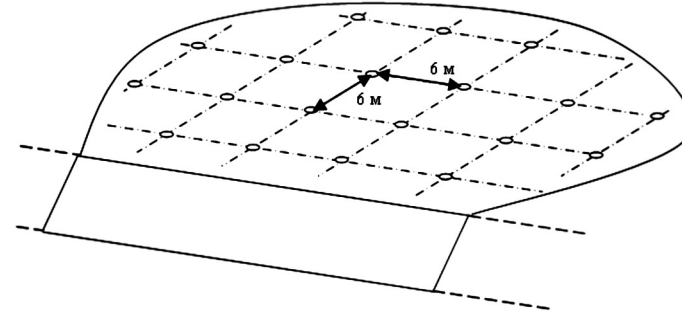


Рис. 9. Пример типовой сетки скважин, схема

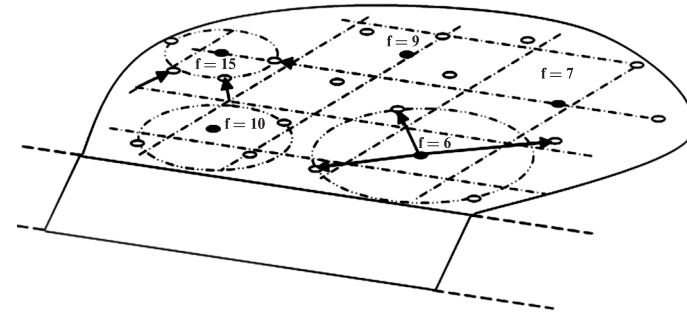


Рис. 10. Корректировка сетки скважин. Опорные скважины показаны черным цветом

скважин. Исходя из прочности породы в опорной скважине, принимается решение об увеличении или уменьшении плотности в районе той или иной скважины. Число опорных скважин зависит от размеров участка, предназначенного для разработки. Результаты изменения эффективности взрыва анализируются, как в первом опыте. С каждым массовым взрывом объем обработанных данных будет расти, и расчет сетки будет все более точным.

## 5. Заключение

В ходе работы получены следующие результаты:

1. Построена система автоматического регулирования (САР) скорости привода вращателя бурового станка СБШ-250.
2. С целью получения сведений о переходных процессах в электроприводе построена модель САР.

3. Разработана структура информационной системы определения состояния породы на основе анализа режимов работы станка.
4. Синтезирован алгоритм вычисления прочности породы.

Информационная система позволит строить прогнозы, которые могут использоваться с целью оптимизации сетки скважин. Оптимизация позволяет сократить время и электроэнергию, затрачиваемую сегодня на бурение пород с высокой степенью взрываемости, энергозатраты на первой стадии измельчения, а также сократить вероятность образования негабаритов, это в свою очередь уменьшает время простоя горного транспорта, ожидающего своей очереди в производственной цепи.

На данном этапе разработки работа по коррекции сетки скважин остается маркшейдерской задачей. В дальнейшем планируется разработка алгоритма коррекции сетки скважин, где входными данными будут: величина разрабатываемого участка, прочность породы, высота и угол наклона разрабатываемого участка относительно горизонта и изменения этого угла (высоту позволяет определить GPS), число опорных скважин и место их расположения. На выходе будет новая сетка скважин. На борту станка можно установить навигационную систему на основе GPS и в эту систему также передавать данные о новой сетке, т. е. о том, куда и насколько нужно двигаться, чтобы пробурить следующую скважину, в результате устраняется необходимость в немалых затратах времени, идущих сегодня на разметку сетки.

При получении соответствующего разрешения, предполагается провести эксперимент с информационной системой, после разработки ее окончательного варианта. Для проведения эксперимента система внедряется на буровой станок СБШ-250, и производится бурение породы с известной прочностью, далее сравниваются известные данные о прочности с данными, полученными с помощью системы.

В случае разработки алгоритма коррекции сетки и удачного эксперимента можно начинать работу по внедрению данной информационной системы на предприятия.

## Литература

1. Копылов И. П. Электрические машины: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2002. 607 с.
2. Чулков Н. Н. Расчет приводов карьерных машин. М.: Недра, 1987. 196 с.

## Структура распределенной системы информационной поддержки образования

Р. Р. Середина-Эррера, А. А. Рыженко

*Институт информатики и математического моделирования технологических процессов КНЦ РАН, Апатиты*

Одним из наиболее значимых аспектов современного Российского образования, безусловно, является информатизация, включающая, в числе прочего, процесс освоения средств и возможностей информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) субъектами образования в качестве средств собственной деятельности.

Широко распространенная в практике недооценка процессуального характера функционирования любого метода часто приводит к тому, что новшество сразу же отторгается из-за того, что оно не вписывается в уже устоявшийся процесс.

В нашей стране уже давно ощущается потребность в научно обоснованных методах объективного автоматизированного контроля и информационной поддержки образовательной деятельности, но традиционно сложившееся неположительное отношение педагогической науки к нестандартным методам не дает достаточных надежд на удовлетворение этой потребности. Широкие возможности современных технологий в решении ряда важных для образования и общественной жизни задач у нас почти не задействованы, а там где их пытаются задействовать, делают это неудовлетворительно, без опоры на имеющиеся в мировой науке достижения, самодеятельно.

На сегодняшний день в области информационного обеспечения образовательной деятельности создано множество электронных хранилищ данных, содержащих большие объемы разнородной фактографической информации. Однако, комплексное использование этих информационных ресурсов значительно затруднено по причине их значительной разнородности, географической распределенности, и отсутствием налаженных