

6
A67

U13

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНСКОЙ ССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АРТЕМА

На правах рукописи

Аспирант Н. Н. НЕЧАЕВ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ БУРОСБОЕЧНЫХ МАШИН
В ПРОФИЛЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА**

05.198. Автоматизация производственных процессов
в угольной промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК—1971

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНСКОЙ ССР
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АРТЕМА

На правах рукописи

Аспирант Н. Н. НЕЧЛЕВ

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ
АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ДВИЖЕНИЕМ БУРОСБОЕЧНЫХ МАШИН
В ПРОФИЛЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

05.198. Автоматизация производственных процессов
в угольной промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК—1971



Работа выполнена в Донецком научно-исследовательском угольном институте (ДонУГИ); экспериментальные исследования и проверка разработанного способа управления в производственных условиях проведены на шахтах комбината «Артемуголь».

Научный руководитель — профессор,
доктор технических наук ИВАНОВ А. А.

Официальные оппоненты:

профессор, доктор техн. наук ШОЙХЕТ Л. А.,
доцент, канд. техн. наук. ИВАНОВ А. Б.

Ведущее предприятие — Донецкий научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по автоматизации горных машин.

Автореферат разослан «*27*» *марта* 1971 г.

Защита диссертации состоится «*29*» *апреля* 1971 г. на заседании Совета электротехнического факультета Днепропетровского горного института.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью учреждения, просим направлять в двух экземплярах по адресу:
г. Днепропетровск, 14, проспект К. Маркса, 19.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета —
профессор, доктор технических наук БУНЬКО В. А.

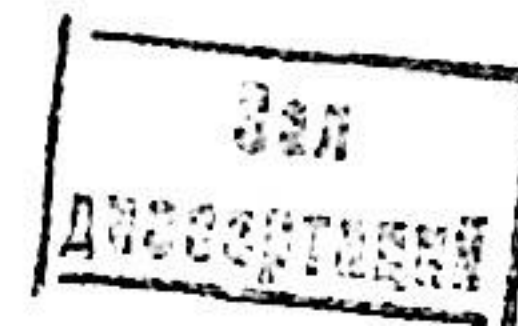
АННОТАЦИЯ

Диссертационная работа посвящена созданию способов управления движением буровых снарядов в профиле пласта, обеспечивающих скоростное проведение без присечки боковых пород нарезных выработок по угольным пластам крутого падения для подготовки полос, обрабатываемых по падению или восстанию без присутствия людей в забое. В диссертации обобщены результаты исследований, ответственным исполнителем которых являлся автор при выполнении ряда этапов комплекса работ по созданию методов и средств автоматического контроля и управления оборудованием для различных способов выемки угля без крепления и без присутствия людей в очистном забое. Указанные работы проведены в ДонУГИ во исполнение постановления № 300 от 26 декабря 1964 г. Государственного комитета Совета Министров СССР по координации научно-исследовательских работ (тема № 1654).

Реферируемая работа изложена на 148 страницах (включая 13 таблиц, 33 рисунка и список литературы из 134 наименований); в приложениях приведены таблицы формул для расчета параметров траектории управляемого бурового снаряда, акт о проверке разработанного способа автоуправления в производственных условиях и справка завода-изготовителя головного образца автоматизированной буровой машины.

Автор защищает:

а) способ автоматического управления движением буровых снарядов в профиле угольного пласта, обеспечивающий проведение скважин без присечки боковых пород;



б) методы улучшения качества управления движением бурового снаряда, основанные на применении опережающих переключений исполнительных органов системы управления и использовании сигналов о знаке угла наклона бурового снаряда к границе раздела угля и породы;

в) методы оптимизации системы «объект управления — регулятор» и расчета уставок системы, основанные на использовании математической модели процесса управляемого движения бурового снаряда в профиле пласта.

ВВЕДЕНИЕ

Решениями Партии и Правительства предусмотрено осуществить в ближайшие годы техническое перевооружение угольной промышленности на базе новой высокопроизводительной техники и прогрессивной технологии выемки угля и значительно увеличить производительность труда при дальнейшем повышении безопасности ведения горных работ. В свете этих решений особое внимание должно быть уделено совершенствованию техники и технологии добычи угля на крутопадающих пластах, обеспечивающих народное хозяйство высококачественными коксующимися углями. Внедрение на пластах крутого падения прогрессивных технологических схем выемки угля полосами по восстанию или падению без присутствия людей в забоях связано со значительным увеличением объема буровых работ по проведению направленных скважин.

ГЛАВА I

Анализ состояния вопроса и постановка задач, подлежащих исследованию

В последние годы Институтом горного дела им. А. А. Скочинского, ВНИМИ, ДГИ, ДонУГИ и рядом других организаций проведена значительная работа по созданию агрегатов, осуществляющих на крутопадающих пластах выемку угля полосами по восстанию и падению без присутствия людей в забое. Однако внедрение этих агрегатов сдерживается из-за отсутствия средств скоростного проведения выработок (сква-

жин), оконтуривающих выемочные полосы. Существующие буровые машины не обеспечивают требуемой направленности (в том числе проведения скважин без присечки боковых пород) и необходимых темпов проведения скважин.

В диссертации проведен анализ известных средств контроля положения горных машин относительно кровли и почвы угольного пласта, использующих различные методы (химический, фотометрический, ультразвуковой, радиоволновой, радионизотопный, метод электрокаротажа и др.). Рассмотрены работы по исследованию выемочных, проходческих и буровых машин как объектов управления движением в горном массиве. Приведен обзор работ, посвященных созданию систем автоуправления движением горных машин в вертикальной плоскости, и работ, посвященных теории автоматического управления движением горных машин; рассмотрен ряд работ по теории автоуправления самодвижущимися машинами и аппаратами.

Анализ работ, авторами которых являются Алейников А. А., Бражников И. А., Бырька В. Ф., Васильев М. Г., Глушко В. В., Жуган Л. И., Иванов А. А., Имас А. Д., Капленко И. В., Ким О. В., Кузьмич А. С., Морозов Ю. Т., Некрасовский Я. Э., Носов Г. Р., Рудановский А. А., Сажченко М. М., Серебряков Г. М., Скоробогатов С. В., Смиттен М. К., Снаговский Е. С., Соляник Д. В., Ульшин В. А., Цесаренко Н. П., Черняк З. А., Шойхет Л. А., Шпаковский Р. В., Шраго Л. Г., Юдборовский И. М., Ярыгин Б. Е., и работ ряда зарубежных авторов позволил сделать следующие выводы:

а) внедрение на пластах крутого падения технологических схем выемки угля без присутствия людей в забое возможно лишь при условии применения автоматизированных бурсобоечных машин, обеспечивающих проведение оконтуривающих выемочные блоки (полосы) скважин высокими темпами на заданном расстоянии от поверхности раздела угля и породы;

б) вследствие специфических условий работы буровых снарядов в системе управления их движением может быть использован исполнительный механизм только релейного действия;

в) в качестве чувствительных элементов систем управления движением буровых снарядов в профиле пласта целесообразно использовать прошедшие испытания в шахтных условиях устройства, измеряющие толщину оставляемой угольной пачки радиоволновым или радиоизотопным методом;

г) одной из основных причин того, что задача проведения длинных скважин по углю без присечки боковых пород до настоящего времени не имела удовлетворительного решения, является недостаточное внимание, уделявшееся количественным методам исследования буровых снарядов как объектов управления движением в профиле пласта;

д) наиболее перспективным методом исследования процесса управляемого движения буровых снарядов является опробованный в практике бурения разведочных скважин кинематический метод;

е) попытки создания работающих в функции времени систем управления движением в горном массиве выемочных, проходческих и буровых машин приводят к значительным затруднениям при разработке математического описания процесса управляемого движения и построении САУ вследствие изменений величины транспортного запаздывания, обусловленных вариациями скорости подачи.

В диссертационной работе поставлены и решены следующие основные задачи:

1. Исследовать рабочие органы (буровые снаряды) буровых машин с подающим ставом как объекты управления движением в профиле пласта и разработать инженерную методику определения параметров траекторий их движения в вертикальной плоскости.

2. Используя оценки параметров объекта управления и метрологические характеристики датчиков толщины угольной пачки, построить и исследовать математическую модель процесса управляемого движения бурового снаряда в профиле пласта, что позволит разработать алгоритм управления движением снаряда и определить оптимальные значения параметров системы «объект управления—регулятор».

3. Разработать способ управления движением бурового снаряда, обеспечивающий проведение без присечки боковых

пород скважин, оконтуривающих на крутопадающих пластах выемочные полосы, отрабатываемые без присутствия людей в забое.

ГЛАВА II

Исследование бурового снаряда машины 1МБУ как объекта управления движением в профиле пласта

Из числа нашедших применение в угольной промышленности серийных буровых машин лишь одна — машина МБУ Горловского машиностроительного завода — оснащена средствами управления движением в вертикальной плоскости. Опыт эксплуатации этой машины на шахтах Донбасса показал, что она наиболее приспособлена для проведения скважин при неспокойной гипсометрии пласта; эта машина является прототипом разработанной в ДонУГИ автоматизированной буровой машины.

Исследование бурового снаряда машины 1МБУ как объекта управления движением в профиле пласта было проведено в процессе ее нормальной эксплуатации на шахтах комбината Артемуголь по методике, разработанной автором. Известно, что для буровых машин с подающим ставом трасса скважины в вертикальной плоскости при малых (до 0,15 радиана) отклонениях в плоскости пласта может быть однозначно определена углом наклона к горизонту, заданным в функции длины скважины. Непрерывная запись значений угла наклона бурового снаряда в функции длины пройденного пути осуществлялась регистрирующим прибором, разработанным с участием автора. Перемещение диаграммной бумаги в приборе было синхронизировано с перемещением подающего става.

Обработка экспериментальных данных была произведена методами регрессионного анализа с представлением исследуемых зависимостей в виде степенных полиномов. Значения коэффициентов полиномов определялись на ЭЦВМ Минск-2 по методу наименьших квадратов. Для определения значений коэффициентов аппроксимирующих полиномов и их среднеквадратических отклонений от вычисленных значе-

ний был составлен алгоритм и разработана специальная программа обработки экспериментальных данных на ЭЦВА.

Анализом результатов обработки экспериментальных данных установлено, что для всех участков управляемого движения бурового снаряда зависимость угла наклона к горизонту (γ) от длины пути (l) после подачи управляющего воздействия может быть аппроксимирована линейным уравнением, при этом коэффициент корреляции между функцией и аргументом для всех исследовавшихся реализаций был не ниже чем 0,79; была установлена статистическая эквивалентность остаточных дисперсий и коэффициентов аппроксимирующих полиномов, определенных для случаев проведения скважин по одному и тому же пласту и при подаче управляющих воздействий одного и того же знака.

Значения радиусов кривизны (r) траекторий бурового снаряда и их среднеквадратические отклонения (σ_r) были определены статистическим усреднением результатов расчетов, выполненных на ЭЦВМ. Следует отметить, что оценки среднеквадратических отклонений для различных условий проведения скважин имеют значения одного порядка, причем их относительные значения $\left(\frac{\sigma_r}{r}\right)$ еще более близки.

При экспериментальных исследованиях были также определены оценки собственного транспортного запаздывания бурового снаряда при отработке управляющих воздействий. Наибольшее значение собственного транспортного запаздывания снаряда при отработке команды «вниз» оказалось равным 1,3 м, а при отработке команды «вверх» — 0,14 м.

ГЛАВА III

Построение и исследование математической модели процесса управляемого движения бурового снаряда в профиле пласта. Синтез алгоритма управления

Построение математической модели процесса управляемого движения бурового снаряда с релейным трехпозиционным исполнительным механизмом органов управления при использовании дискретных сигналов о толщине оставляемой

угольной пачки произведено методом припасовывания участков траектории, позволяющим по известным значениям координат при любом переключении релейных элементов определить не только момент последующего переключения, но и соответствующие значения всех учитываемых координат. При синтезе математической модели учитывалось как собственное транспортное запаздывание бурового снаряда, так и транспортные запаздывания чувствительных элементов относительно периферийных резцов рабочего органа (образующей точки по терминологии профессора Л. А. Шойхета).

Для определения наибольших значений угла наклона траектории (α_1) бурового снаряда к границе раздела угля и породы и отклонений (u_1) толщины оставляемой пачки от заданного значения были выведены соотношения

$$\alpha_1 = \arccos \left(1 - \frac{u_1 + b}{r_3} \right) + \lambda \quad (1)$$

$$\text{и } u_1 = r_1 (1 - \cos \alpha_0) + \Lambda \sin \alpha_0 + b \quad (2),$$

где b — ширина зоны нечувствительности датчика;
 λ и Λ — значения углового и линейного запаздываний;
 α_0 — начальное значение угла наклона.

С целью учета стохастического характера отклонений радиусов кривизны траекторий от средних значений и погрешностей измерения толщины оставляемой пачки построение математической модели и синтез алгоритма управления произведены минимаксным методом, гарантирующим необходимый минимум устойчивости системы при максимальных значениях возмущающих воздействий, отклоняющих регулируемую координату от заданных значений и определенных с доверительной вероятностью 0,95. При определении принимаемых к расчету значений радиусов кривизны и уставок срабатывания САУ в выражениях

$$r_{1,3} = r_n \pm K\sigma_r \quad (3)$$

$$\text{и } h = h^* \pm K\sigma_h \quad (4)$$

знак при вторых слагаемых принимался из условия наиболее неблагоприятного влияния случайных возмущений на качество процесса управления.

Для обеспечения режима нерасходящихся колебаний регулируемой координаты предложены и использованы опережающие переключения, при которых в случае отклонения скважины в сторону кровли перестановка исполнительного механизма из положения «вниз» в положение «нейтраль» производится при большей уставке, чем перестановка «нейтраль — вниз». Значения уставок определяются по соотношениям типа (1÷4). Введение в закон управления таких переключений эквивалентно использованию в САУ релейного звена с коэффициентом возврата больше единицы.

С целью ускоренного демпфирования колебаний регулируемой координаты используются форсированные переключения, при которых в области, определяемой соотношениями

$$h_7^* = 2 \left[(r_3 + r_4) \sin^2 \left(\frac{|\alpha|}{2} + \frac{\Lambda}{2r_3} \right) - r_3 \sin^2 \frac{\alpha}{2} \right] \leq h_3 \quad (5)$$

$$\text{и} \quad h_7 = h_7^* - K\tau_h \geq -h_2 \quad (6),$$

производится перестановка сервопривода из положения «вниз» в положение «вверх» (или наоборот) без фиксации в нейтральном положении (τ_h — погрешность измерения толщины пачки, K — коэффициент доверительной вероятности, h_2 и h_3 — порог чувствительности датчика и верхний предел измерения толщины пачки).

Для обеспечения проведения скважины без присечки боковых пород и компенсации погрешностей задания направления при забурировании в закон управления введен дискретный сигнал о знаке угла наклона бурового снаряда к поверхности раздела угля и породы. Для формирования такого сигнала используется элемент, сравнивающий аналоговые сигналы, поступающие от двух разнесенных по длине снаряда датчиков толщины угольной пачки, и передающий в блок логических операций дискретный сигнал о знаке угла наклона, определяемый выражением

$$q = 1 \cdot \operatorname{sgn} (H_1 - H_2) \quad (7).$$

Здесь H_1 и H_2 — толщина пачки, замеренная соответственно головным и хвостовым датчиками. Наибольшее абсолютное значение угла наклона снаряда к поверхности раздела угля и породы при использовании дискретных сигналов о толщине

не оставляемой пачки и знаке угла наклона (при комбинированном управлении) определяется соотношением

$$|\alpha_{\max}| \leq \arcsin \frac{h_d}{L} \quad (8),$$

а доверительный интервал, зависящий от величины погрешности измерения толщины пачки, — по формуле

$$h_d = K\tau_h \arg \left[\Phi \left(\frac{1+p}{2} \right) \right] \quad (9).$$

Здесь $\arg \left[\Phi \left(\frac{1+p}{2} \right) \right]$ — функция, обратная нормальной функции распределения отклонений:

$$\Phi \left(\frac{1+p}{2} \right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{0,5(1+p)} \exp \left(-\frac{1}{2} y^2 \right) dy \quad (10),$$

то есть такое значение аргумента, при котором функция распределения принимает значение $\frac{1}{2}(1+p)$, где p — доверительная вероятность.

Предварительным анализом математической модели процесса, построенной на основе приведенных соотношений, установлено, что показатели качества управления находятся в тесной связи с величиной транспортного запаздывания системы. Для повышения качества управления предложена измененная конструкция опорных поверхностей (лыж) бурового снаряда, уменьшающая его собственное транспортное запаздывание при отработке управляющих воздействий до 400—450 мм по сравнению с 1300 мм у существующих конструкций. Эффективность предложенной конструкции подтверждена стендовыми испытаниями.

Предварительным анализом математической модели также установлено, что такие параметры, как база измерения L (расстояние между головным и хвостовым датчиками толщины пачки) и средние значения радиусов кривизны траекторий, величина которых зависит от конструктивных разме-

ров бурового снаряда, неоднозначно влияют на величину амплитуды и степень демпфирования колебаний регулируемой координаты (отклонение толщины оставляемой пачки от заданного значения). Указанные свойства процесса целесообразно использовать для оптимизации системы «объект управления — регулятор». Определение оптимальных значений параметров системы произведено на ЭЦВМ Минск-2; программа исследования математической модели на ЭЦВМ составлена под руководством и при участии автора. В качестве результативного признака, экстремум (минимум) которого соответствует оптимальным значениям варьируемых параметров, принято отношение амплитуд регулируемой координаты в смежных периодах ее колебания:

$$Q = \frac{U'_2}{U_2} = f(L, r_n, r_b) \quad (11),$$

где r_n и r_b — радиусы кривизны траектории при отработке команд «вниз» и «вверх».

Так как для функции отклика (11) характерно наличие многих экстремумов, поиск оптимальных значений варьируемых параметров (окрестностей глобального экстремума четырехмерной поверхности отклика) произведен методом сечений: в процессе поиска один из варьируемых параметров изменялся при фиксированных значениях двух других; в дальнейшем эта процедура повторялась с круговой заменой изменяемого и фиксируемых параметров. Шаг изменения параметров (в соответствии с известными методами планирования экстремальных экспериментов) по осям радиусов кривизны был принят равным среднеквадратическим отклонениям радиусов, а по оси базы измерения — равным длине чувствительного элемента датчика толщины оставляемой пачки. Изменение значений аргументов функции отклика производилось автоматически по дополнительной подпрограмме цифрового моделирования процесса управляемого движения. При исследовании близкой к глобальному экстремуму области поиск оптимальных значений параметров производился с учетом таких оценок качества процесса управления, как определяемая в профильном сечении скважины площадь угла (S_y), оставляемого выше заданной угольной пачки, и интегральная квадратичная оценка, характеризую-

щая продолжительность (в рассматриваемом случае — протяженность по пути) ликвидации вызванных возмущающими воздействиями отклонений регулируемой координаты от заданного значения:

$$W = \sum_{i=1}^4 W_i \quad (12),$$

$$\text{где } W_i = \int_0^{\varepsilon_i} r_i^3 (\cos \alpha_i - \cos \varepsilon_i)^2 d\alpha_i \quad (13);$$

здесь ε_i — значения угла, определяемые по соотношению типа (I) для каждой четверти периода колебаний. Для сопоставления траекторий с различной длиной периода колебаний регулируемой координаты путем деления оценок S_y и W на длину периода вычислялись относительные значения оценок качества (s'_y и w').

В результате исследования процесса управляемого движения на ЭЦВМ определены оптимальные значения изменяемых параметров (L, r_n, r_b) и уставок (h_9^* и h_{10}^*) системы, приведенные в таблице 1 (исследование проведено

Таблица 1
Значения оптимизированных параметров и уставок системы

Наименование пласта	L	r_n	r_b	h_9^*	h_{10}^*	Коэф. демпфиро- вания колебаний при начальных отклонениях	
	м	м	м	мм	мм	к кровле	к почве
Аршинка	1,2	130	170	12	14	0,90	0,84
Известнячка	1,1	170	150	10	14	0,56	0,88
Кулага	1,5	165	160	10	18	0,77	0,84

для случая использования в качестве датчиков толщины пачки радиоволновых устройств ПНБ, разработанных Днепропетровским горным институтом). В ходе исследования были определены параметры движения системы на фазовой плоскости, по осям координат которой откладываются значения отклонений толщины оставляемой пачки от заданного уровня и значения угла наклона бурового снаряда к поверхности раздела угля и породы. Отметим, что амплитудные значения

отклонений толщины пачки от заданного уровня (12—18 мм) соизмеримы с утроенной среднеквадратической погрешностью ее измерения, и что выход оптимизированной системы на устойчивый предельный цикл фазовой траектории происходит в течение 2—3 периодов колебаний регулируемой координаты. Оптимизация параметров системы при комбинированном управлении, помимо исключения присечки боковых пород, позволила сократить общее число используемых при управлении дискретных уровней контролируемых координат с девяти до пяти, что дало возможность существенно упростить алгоритм (и, следовательно, систему) управления движением бурового снаряда.

Проверка разработанного алгоритма управления и результатов теоретических исследований, на основе которых построена математическая модель управляемого процесса, проведена в производственных условиях на шахте имени Ф. Э. Дзержинского при бурении скважины машиной ИМБУ по пласту l_2 (Кулага) и оформлена актом ведомственной комиссии. Толщина оставляемой угольной пачки измерялась прибором ПНБ (диапазон измеряемой пачки — от 0 до 90 мм); чувствительный элемент прибора встраивался в верхнюю лыжу бурового снаряда. Испытания проводились при недостаточных полных сведениях о буровом снаряде как объекте управления движением в профиле указанного пласта, поэтому замыкание главной обратной связи осуществлялось машинистом-оператором, наблюдавшим за показаниями стрелочного прибора. Переключения органов управления осуществлялись в соответствии с алгоритмом комбинированного управления при использовании дискретных сигналов. Следует отметить, что управление движением снаряда по показаниям стрелочного прибора требовало весьма напряженного внимания оператора, которому одновременно с наблюдениями за показаниями прибора приходилось запоминать (или записывать) результаты наблюдений для сопоставления текущих значений отсчетов по прибору с последующими.

Сравнение результатов натурных замеров трасс скважины с результатами цифрового моделирования, выполненного на ЭЦВМ для тех же условий процесса управления движением бурового снаряда, показало удовлетворительную сходимость теоретических и практических параметров траекторий

(см. таблицу 2) и целесообразность применения минимаксного метода при анализе процесса управляемого движения и синтезе алгоритма управления.

Таблица 2

Сравнение расчетных параметров траектории управляемого движения с результатами натурных замеров

Наименование параметров траектории	Расчетные значения	Результаты натурных замеров по участкам скважины		
		№ 1	№ 2	№ 3
1. Наибольшее отклонение толщины оставляемой пачки от заданного значения (в миллиметрах)				
а) в сторону кровли	102,9	75	65	60
б) в сторону почвы	62,6	40	менее 10	45
2. Длина полного периода колебаний регулируемой координаты (в метрах)	15,33	12,7	16,1	не окончен

Примечание. Начало участка № 1 находилось на расстоянии 13 м от входного устья скважины, а участков № 2 и № 3 — соответственно на расстоянии 48 м и 69 м.

ГЛАВА IV

Разработка релейно-логической системы управления движением бурового снаряда в профиле пласта и испытание основных узлов системы в производственных условиях

Выходной сигнал релейно-логической системы, реализующей алгоритм комбинированного управления движением бурового снаряда с оптимизированными параметрами при использовании дискретных сигналов о толщине оставляемой пачки и знаке угла наклона снаряда к поверхности раздела угля и породы, описывается соотношениями:

$$\Phi_1 = +1 \text{ при } \begin{cases} H_1 - H_2 \leq -K\sigma_n, & H_1 \leq h_n \\ H_1 \leq -h_2, & H_1 - H_2 \leq -K\sigma_n \end{cases} \quad (14a);$$

$$(14b);$$

$$\Phi_1 = 0 \text{ при } \begin{cases} |H_1 - H_2| < K\varepsilon_h, & -h_2 < H_1 < h_1 & (14в); \\ H_1 - H_2 < -K\varepsilon_h, & h_2 < H_1 & (14г); \\ K\varepsilon_h < H_1 - H_2, & H_1 < h_{10} & (14д); \end{cases}$$

$$\Phi_1 = -1 \text{ при } \begin{cases} K\varepsilon_h \leq H_1 - H_2, & h_{10} \leq H_1 & (14е); \\ h_1 \leq H_1, & K\varepsilon_h \leq H_1 - H_2 & (14ж). \end{cases}$$

Такая система характеризуется следующими особенностями:

а) взаимосвязанное изменение обеих контролируемых координат осуществляется единым исполнительным органом;

б) состояние выходных цепей системы, воздействующих на сервопривод органов управления, зависит от значений и последовательности подачи входных сигналов, поступающих от головного датчика толщины оставляемой пачки и элемента сравнения.

Синтез функциональной схемы системы, реализующей алгоритм (14), произведен табличным методом, учитывающим возможные состояния логических элементов схемы. Выбор технических средств, на основе которых может быть построена система автоуправления движением бурового снаряда, произведен с позиций общности требований, предъявляемых автоматизируемому объекту и системе управления источником энергии (сжатый воздух) для забойного оборудования на крутопадающих пластах, и выполнения действующих правил безопасности. В качестве таких средств приняты серийно выпускаемые отечественной промышленностью элементы универсальной системы промышленной пневмоавтоматики.

Вследствие ограничений, налагаемых условиями обеспечения искробезопасности, требуемой продолжительностью работы системы без замены (перезарядки) блока автономного питания электронных цепей датчиков толщины пачки и допустимыми габаритами размещаемой на буровом снаряде аппаратуры, работа выходных электропневмопреобразователей датчиков и элемента сравнения возможна только в режиме кратковременных включений. Указанные обстоятельства обуславливают необходимость введения в САУ блоков памяти, преобразующих импульсные сигналы, поступающие от выходных преобразователей датчиков и элемента срав-

нения, в длительные пневмосигналы на входе логической части САУ. В качестве таких блоков в системе использованы ячейки памяти, не требующие высокой степени герметизации пневмокоммуникаций и малочувствительные к износу клапанов пневмореле. Ячейки собираются из серийных элементов пневмоавтоматики по схеме, предложенной и разработанной автором.

Релейно-логическая САУ, реализующая алгоритм (14), собирается из универсальных пневмоэлементов на плате из оргстекла. Габариты системы в сборе — 270×225×80 мм, вес — 6,2 кг.

Для защиты элементов размещаемой на буровом снаряде системы от влияния ударов, вибрации и от загрязнения пылью и буровой мелочью, изготовлен герметический корпус с амортизирующим креплением и выхлопным устройством. Последнее обеспечивает сброс отработанного воздуха в окружающее пространство (в скважину) и предотвращает попадание внутрь корпуса пыли и штыба. Блок воздухоподготовки, построенный на серийно выпускаемой аппаратуре, производит очистку поступающего из общешахтной пневмосети сжатого воздуха от пыли и влаги до требуемых кондиций и обеспечивает необходимую стабильность ($1,4 \text{ кгс/см}^2 \pm \pm 10\%$) давления сжатого воздуха для питания логических цепей САУ.

Проверка устойчивости работы и надежности узлов пневматической системы управления в специфических условиях при установке на буровом снаряде произведена в процессе бурения скважин машиной ИМБУ на шахте имени Ф. Э. Дзержинского. Испытания проводились в тяжелых условиях: относительная влажность воздуха на штреке — близкая к 100%, температура — $303 \div 305^\circ \text{ К}$. Для получения представительных сведений о надежности элементов САУ частота их срабатывания была задана примерно в 20—30 раз большей, чем ожидаемая при нормальной работе. Продолжительность работы блоков системы составила 160 часов; испытывавшиеся узлы находились в шахте более двух месяцев, из них около 33 суток — в скважине. Нарботка блоков за время испытаний составила 71422 цикла, что в пересчете на ожидаемую частоту срабатываний САУ при управлении движением бурового снаряда соответствует не менее чем

300000 метрам пробуренных скважин. Сбоев в прохождении сигналов по системе не наблюдалось. Проверка всех испытывавшихся блоков системы после испытаний показала их полную работоспособность и стабильность заданных уставок, несмотря на то, что некоторые элементы по числу срабатываний имели наработку, превышающую гарантированную заводом-изготовителем.

Теоретические результаты работы

1. Разработан алгоритм управления движением бурового снаряда в профиле угольного пласта, обеспечивающий проведение скважин без присечки боковых пород.

2. Предложен метод опережающих переключений исполнительных органов, эквивалентный введению в систему управления движением бурового снаряда релейного звена с коэффициентом возврата больше единицы и обеспечивающий устойчивость процесса управления.

Разработана функциональная схема САУ, реализующей алгоритм управления, и получены соотношения для расчета уставок срабатывания САУ.

3. Для определения оптимальных значений параметров системы «объект управления — регулятор» построена математическая модель процесса управляемого движения бурового снаряда и разработаны методика и алгоритм ее исследования на ЭЦВМ.

4. Установлено, что наилучшее качество процесса обеспечивается при использовании сигналов о знаке угла наклона бурового снаряда к поверхности раздела угля и породы (способ формирования таких сигналов предложен автором). Определены оптимальные значения параметров и уставок системы «объект управления — регулятор», при которых гарантируется проведение скважин без присечки боковых пород.

5. Подтверждена проверкой алгоритма управления в производственных условиях при проведении скважин серийной машиной ИМБУ правильность теоретических выводов, использованных при синтезе математической модели и разработке алгоритма управления.

Практические результаты работы

1. Построена на элементах пневмоавтоматики с использованием разработанных автором ячеек дискретной памяти релейно-логическая система управления движением бурового снаряда.

Разработаны устройства защиты элементов монтируемой на буровом снаряде пневматической САУ от воздействий ударов и вибраций и попадания пыли и влаги при питании сжатым воздухом от общешахтной пневмосети.

2. Устойчивость и надежность работы всех блоков системы автоуправления и защитных устройств при установке на буровом снаряде подтверждены испытаниями в производственных условиях.

3. Предложена конструкция опорных поверхностей (лыж) бурового снаряда, позволяющая уменьшить его собственное транспортное запаздывание при отработке управляющих воздействий до 400—450 мм (при 1300 мм у существующих конструкций).

4. Разработанные методика исследования буровых снарядов с подающим ставом как объектов управления движением и инженерные методы построения алгоритма и системы управления найдут применение при разработке автоматизированных машин, предназначенных для проведения выработки «по проводнику» (эквидистантно поверхности раздела угля и породы или эквидистантно ранее пройденной выработке), а также при автоматизации ряда существующих буровых, нарезных, проходческих и выемочных агрегатов.

5. На основе проведенных исследований разработаны эксплуатационно-технические требования на создание автоматизированной буровой машины, применение которой позволит внедрить прогрессивные технологические схемы выемки угля на крутопадающих пластах без присутствия людей в забое. Головной образец машины по проекту, разработанному в соответствии с утвержденными эксплуатационно-техническими требованиями, изготавливается заводом.

Внедрение одного комплекса, состоящего из угольной пилы и автоматизированной буровой машины для нарезки выемочных полос, обеспечит годовой экономический эффект в размере 400 тыс. рублей. Автоматизированная машина мо-

жет быть применена для проведения разрезных, вентиляционных и водоспускных скважин и при существующей технологии угледобычи.

* * *

Основные этапы диссертационной работы были доложены и получили положительную оценку на совещании по применению средств пневмоавтоматики в горной промышленности (Донецк, 1967 г.), на Украинской республиканской научно-технической конференции по проблемам угольной промышленности (1969 г.), на семинаре по проблемам автоматического управления движением угледобывающих машин, комплексов и агрегатов (Москва, 1969 г.) и на X Всесоюзном совещании по пневмоавтоматике (1969 г.); диссертация рассмотрена и одобрена Ученым Советом ДОНУГИ.

По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ.

Основные положения диссертации освещены в следующих работах:

1. Иванов А. А., Нечаев Н. Н. Управление движением в профиле пласта буросбоек машин с подающим ставом. В сборнике «Электрификация и автоматизация горных и металлургических предприятий», Днепропетровск, «Промінь», 1970.
2. Нечаев Н. Н. Исследование буросбоек машины как объекта автоматического управления. В сборнике «Горные машины и автоматика», выпуск 4 (121), М., 1970.
3. Нечаев Н. Н. Автоматическое управление движением нарезных и буровых машин в профиле пласта. В сборнике «Автоматическое управление движением угледобывающих машин, комплексов и агрегатов», М., изд. ИГД им. А. А. Скочинского, 1970.
4. Нечаев Н. Н. Пневматическая дискретная ячейка памяти. В сборнике «Горные машины и автоматика», выпуск 10 (103), М., «Недра», 1968.
5. Нечаев Н. Н., Сачко Н. И. Управление направленным движением буровой машины. В сборнике «Пневматические средства автоматизации горных машин», Донецк, «Донбасс», 1969.
6. Бойцов А. А., Нечаев Н. Н., Резников Б. С., Успенский С. В. Результаты испытаний аппаратуры контроля направления движения буросбоек машин МБУ на шахтах Донбасса. В сборнике «Тезисы докладов на республиканской научно-технической конференции по проблемам угольной промышленности». Часть II, Донецк, 1969.
7. Нечаев Н. Н. Логическая система управления движением буросбоек машины в профиле пласта на элементах пневмоавтоматики. В сборнике «X Всесоюзное совещание по пневмоавтоматике (тезисы докладов)», Донецк, 1969.

БП 03582 Подписано к печати 5 3 71 Формат бумаги 60×84¹/₁₆

Печатных листов 1,25 Заказ 716 Тираж 150

Тип. № 2 Облуправления по печати, г. Донецк, пр. Б. Хмельницкого, 32