

6
А 67
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УКРАИНСКОЙ ССР

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. АРТЕМА

На правах рукописи

ШУПОВ Виталий Петрович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
РУДНИЧНЫХ МНОГОРЕЖИМНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК
С ПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СРЕДСТВ ДИСКРЕТНОЙ ТЕХНИКИ

(Диссертация на русском языке)

Специальность № 05.13.07 - "Автоматическое управление
технологическими процессами
в горной промышленности"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск
1972

На правах рукописи

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМ. АРТЕМА

ШУПОВ
Виталий Петрович

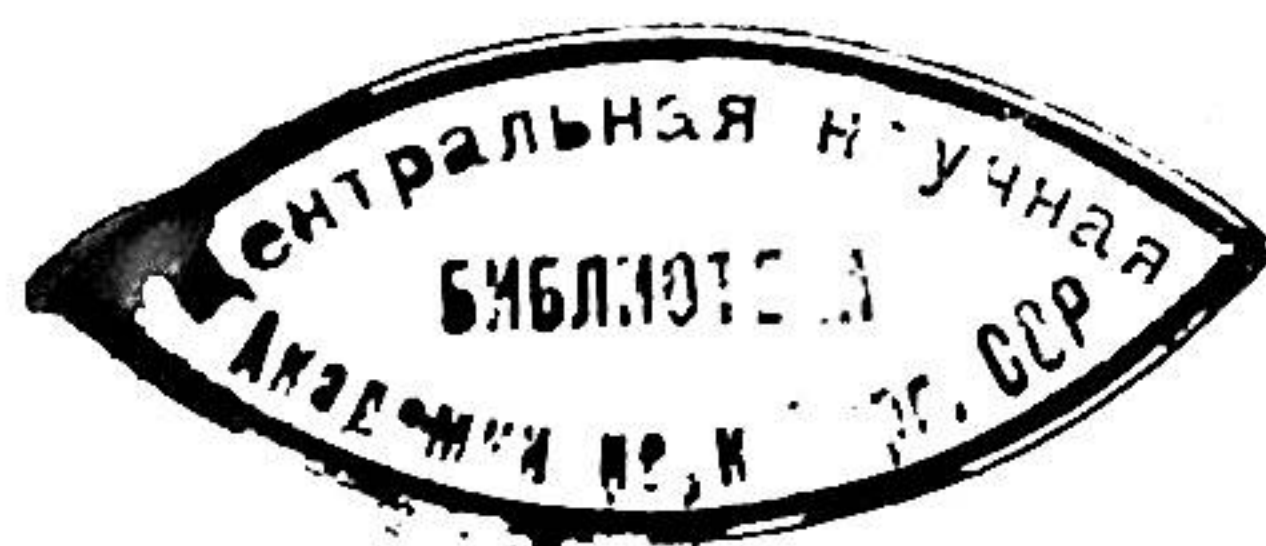
РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТУРЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
РУДНИЧНЫХ МНОГОРЕЖИМНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК
С ПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ
СРЕДСТВ ДИСКРЕТНОЙ ТЕХНИКИ

Специальность № 05.13.07 - "Автоматическое управление
технологическими процессами
в горной промышленности"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск
1972



Работа выполнена на кафедре автоматизации производственных процессов Криворожского горнорудного института. Экспериментальная часть работы выполнена в Научно-исследовательском и опытно-конструкторском институте автоматизации черной металлургии.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ — доктор технических наук,
профессор В.М.ЧЕРМАЛЫХ.

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:

Доктор технических наук, профессор А.А.ИВАНОВ

Кандидат технических наук

В.А.КАМЕНЕВ

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ — Криворожский горнорудный трест
"Дзержинскрудь".

Автореферат разослан " _____ 1972 г.

Защита диссертации состоится " _____ 197 г. в ____ час.
на заседании Совета электротехнического факультета Днепропетров-
ского горного института им.Артема, г.Днепропетровск, пр.К.Маркса, 19,
в аудитории № ____.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДГИ.

Отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью предприятия,
просим направлять по адресу: г.Днепропетровск-14, пр.К.Маркса, 19,
ДГИ, Ученому секретарю.

Ученый секретарь Совета,
доктор технических наук, профессор

В.А.БУНЬКО.

А Н Н О Т А Ц И Я

В диссертационной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных работ в области создания новых методов и средств автоматизации рудничных многорежимных подъемных установок с приводом постоянного тока на основе применения средств дискретной техники. Разработаны методы и аппаратура для контроля местоположения подъемного сосуда в шахтном стволе и многопозиционного задания программы движения, а также исследована система регулирования привода подъема с использованием этой аппаратуры. Внедрение результатов работы повышает степень автоматизации многорежимных подъемных установок и дает значительный технико-экономический и социальный эффект.

Автор защищает :

а) рекомендации по применению дискретных методов для построения эффективной аппаратуры контроля пути и задания хода для многорежимных подъемных установок глубоких шахт и требования к этой аппаратуре ;

б) методы воспроизведения магнитной записи с каната подъемной машины со шкивом трения, использующие импульсный режим возбуждения магнитомодуляционных путевых датчиков ;

в) логические алгоритмы и реализующую эти алгоритмы бесконтактную аппаратуру для контроля местоположения клетки и многопозиционного задания хода подъемной машины ;

г) методику оценки влияния дискретизации задающего воздействия на качество регулирования при использовании цифрового программирующего устройства ;

д) способ повышения качества параметрической системы управления путем введения дополнительного контура регулирования по отклонению действительной тахограммы от заданной в функции пути цифровым программирующим устройством и методику исследования системы ;

е) способ расчета надежности разработанной электронной аппаратуры дискретного действия и использующих эту аппаратуру систем авторегулирования подъемной установки.

В процессе проведения расчетов использовались средства цифровой вычислительной техники.

По результатам проведенных исследований выполнена разработка промышленных образцов аппаратуры, внедренных в производство на шахтах Кривбасса.

Научная новизна работы заключается в разработке метода импульсного возбуждения магнитомодуляционных путевых датчиков, синтеза и минимизации логических алгоритмов дискретной аппаратуры контроля местоположения клетки и многопозиционного задания хода с набираемой и вычисляемой программой, а также в повышении качества регулирования параметрических САР путем введения контура корректировки по пути. В работе приведена методика расчета и исследования предлагаемых решений. Указанные задачи применительно к многорежимному подъему разработаны впервые. Новым является также предложенный метод цифрового моделирования движения каната. Основные решения диссертационной работы выполнены на уровне изобретений.

Практическая ценность. Предложенный метод импульсного возбуждения магнитомодуляционных путевых датчиков значительно повысил чувствительность и надежность устройств считывания магнитной записи с каната, позволив широко использовать метод магнитной привязки для контроля пути в машинах со шкивом трения. Разработанные электронные схемы на логических потенциальных элементах могут найти применение в схемах автоматизации любых горно-металлургических процессов, где требуется высокая надежность функционирования.

Внедрение аппаратуры контроля пути и многорежимного задания программы движения позволяет решить проблему автоматизации клетевых подъемов без применения большого количества путевых датчиков на горизонтах и механических программирующих устройств, ненадежных в эксплуатации. При такой аппаратуре легко реализовать лифто-

вой режим управления движением клетки.

Устройство контроля местоположения клетки может использоваться самостоятельно для целей индикации пути и бесконтактного отбора путевых команд.

Предложенный метод повышения качества регулирования параметрических САР путем введения контура корректировки по пути, реализуемого с помощью разработанной аппаратуры, увеличивает точность и стабильность выполнения тахограммы без снижения надежности функционирования.

Реализация работ в промышленности. По результатам работы в институте НИИАчермет сконструированы и изготовлены промышленные образцы аппаратуры, внедренные в производство на шахтах РУ им.Дзержинского и РУ им.К.Либкнехта в Кривбассе.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы докладывались:

1. На VI Всесоюзном научно-техническом совещании по созданию и внедрению систем управления (г.Москва, 1970).
2. На Украинской республиканской конференции по математическим методам исследований и кибернетике (г.Кривой Рог, 1968).
3. На технической конференции Криворожского горнорудного института (г.Кривой Рог, 1971).
4. На совместных технических совещаниях институтов НИИАчермет, Автоматуглерудпром, Кривбасспроект и горнорудных трестов "Дзержинскруда" и "Ленинруда".

Образцы разработанной аппаратуры демонстрировались на ВДНХ СССР и на международной выставке "Автоматизация-69".

Публикация. По результатам диссертационной работы опубликовано 11 статей и получено 8 авторских свидетельств на изобретения.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Она изложена на 174 страницах машинописного текста и содержит 49 рисунков, 19 таблиц и 78 наименований литературы. Приложения на 13 страницах содержат расчет экономической эффективности от использования результатов работы и копии документов, связанных с внедрением этих результатов.

I.

В первой главе проведен анализ состояния автоматизации клетевых подъемных машин с приводом постоянного тока и дается постановка задачи диссертационной работы.

Тенденцией развития шахтного подъема является увеличение глубины стволов, скоростей движения и количества обслуживаемых клетевой машиной горизонтов. Основным типом клетевой подъемной установки, во всяком случае для горнорудной промышленности, на ближайшее время является многоканатная машина со шкивом трения, оснащенная электроприводом постоянного тока. Проведенный анализ технологических режимов работы ряда клетевых подъемов шахт Кривбасса иллюстрирует специфику работы многорежимного подъема. Разнообразие выполняемых технологических операций и непостоянство адреса поездки требует переработки большого количества информации при управлении работой многорежимного подъема.

В результате развития систем управления регулируемым приводом шахтного подъема установлено, что для выполнения с требуемой точностью заданной тахограммы необходимо непрерывное регулирование скорости в функции пути. В связи с этим системы программного регулирования электропривода постоянного тока получили широкое

применение на многорежимном подъеме. В таких системах отклонение фактической тахограммы от расчетной складывается из отклонений, обусловленных неточностью задания программы, и отклонений, обусловленных неточностью выполнения программы системой регулирования. Стремление повысить точность выполнения заданной программы привело к созданию ряда модификаций программной системы регулирования. В то же время точность и надежность применяемых электромеханических программирующих устройств уже не отвечает в полной мере требованиям практики эксплуатации подъемов глубоких шахт. Применение программирующих устройств с механическими носителями программы не может обеспечить автоматизацию многорежимных машин.

Ввиду того, что недостатки существующей аппаратуры контроля пути и задания программы движения не позволяют реализовать в полной мере преимущества подчиненного регулирования скорости в функции пути, в последнее время все шире начинают использоваться системы регулирования подъемной машины в функции времени. Наиболее простыми из них являются так называемые параметрические системы с однократным заданием входного сигнала. Этим системам присуща простота и структурная надежность, однако, на наиболее ответственных участках цикла подъема регулирование осуществляется по разному принципу. Поэтому справедливым будет утверждение, что в настоящее время не существует достаточно эффективной системы автоматизации многорежимного подъема горнорудной шахты большой производительности.

Необходимость переработки большого количества информации требует широкого применения средств электроники для реализации устройств контроля, управления и защиты по кинематическим параметрам. При этом важным является вопрос сохранения высокой надежности электронных схем при работе в шахтных условиях. Высокую

надежность и точность работы аппаратуры контроля и управления можно обеспечить путем применения дискретных способов переработки информации. Широкое развитие средств цифровой полупроводниковой техники и освоение промышленностью достаточного ассортимента логических элементов и блоков позволяют реализовать на их основе надежную аппаратуру для автоматизации рудничных многорежимных подъемных установок. Впервые эффективность применения дискретных методов контроля кинематических параметров на подъемных машинах со шкивом трения была показана О.М.Крыжановским.

Качественным скачком в автоматизации многоканатного подъема явилось исследование метода магнитной привязки аппаратуры контроля пути к подъемному канату, проведенные институтом МакНИИ совместно с Донецким машиностроительным заводом им. 15-летия ЛКСМУ. При наличии эффективной аппаратуры считывания магнитных меток, метод магнитной привязки позволяет решить задачу непрерывного контроля с высокой точностью местоположения клетки в стволе, являющуюся непременным условием разработки аппаратуры контроля и управления по кинематическим параметрам для многорежимного подъема.

В качестве первого этапа работы ставится задача создания надежных методов и средств контроля пути и многопозиционного программирования движения на основе применения методов дискретной техники, а также исследование особенностей регулирования, обусловленных использованием этих средств.

Так как в программных системах управления задающий командоаппарат включен последовательно в цепи передачи сигнала, выход его из строя приведет к отказу всей системы. В связи с этим представляется целесообразным исследовать такую систему подчиненного регулирования скорости, в которой сбой в схеме командоаппарата не приводил бы к аварийным режимам. Такая система синтезируется на

базе обычной параметрической САР введением дополнительного контура корректировки по пути, осуществляющего регулирование по отклонению действительной тахограммы от эталонной, заданной в функции пути цифровым программирующим устройством. Исследование такой системы является вторым этапом работы.

П.

Во второй главе рассматриваются вопросы, связанные с разработкой и исследованием бесконтактной аппаратуры контроля местоположения клетки. На основании обобщения опыта эксплуатации и известных работ в этой области сформулированы основные требования к методу и аппаратуре контроля пути:

- 1) контроль должен осуществляться с помощью цифровой модели системы ствол - подъемный сосуд и быть непрерывным на всем протяжении ствола;
- 2) съем путевой информации должен быть бесконтактным; на машинах со шкивом трения наиболее целесообразно применение магнитной записи на подъемном канате;
- 3) аппаратура должна обеспечивать возможность отбора путевых команд в заданных точках;
- 4) необходимость формирования текущих значений величины и знака рассогласования по пути между заданным горизонтом следования и движущейся клетью;
- 5) высокая надежность и удобство в эксплуатации.

С точки зрения преобразования информации рассматриваемая задача решается при помощи реверсивного накапливающего преобразователя аналоговой величины (углового перемещения вала или линейного перемещения каната) в цифровой эквивалент и комбинационного вычитателя цифровых кодов.

Поскольку привязка аппаратуры контроля пути к подъемной установке с барабанной машиной не представляет трудности, особое внимание уделяется привязке к машинам со шкивом трения при помощи магнитной записи на канате. Показано, что применять гармоническое возбуждение магнитомодуляционных путевых датчиков не рационально, так как в этом случае не удастся достичь высокой чувствительности и надежности. Разработан импульсный режим возбуждения датчиков и схемы демодуляторов устройства воспроизведения магнитной записи, обеспечивающих этот режим. При этом наиболее эффективным является демодулятор по схеме управляемого диодно-конденсаторного вентиля.

Необходимость автоматического определения знака приращения пути обуславливает наличие путевых датчиков в количестве $n \geq 2$, сдвинутых пространственно по фазе на угол $\varphi = (1 - \frac{1}{n})$. При $n = 3$ достигается высокая разрушающая способность контроля пути, равная $1/6$ интервала квантования и обеспечивается самоконтроль функционирования входных цепей.

После минимизации логические функции формирования путевых импульсов и определения направления движения в потенциальной структуре приводятся к виду:

$$\left. \begin{aligned} P &= (U_1 \vee U_4) \cdot (U_6 \vee U_3)^{-1} \vee (U_2 \vee U_5) \cdot (U_1 \vee U_4)^{-1} \vee (U_3 \vee U_6) \cdot (U_2 \vee U_5)^{-1}; \\ O &= (U_1 \vee U_4) \cdot (U_2 \vee U_5)^{-1} \vee (U_2 \vee U_5) \cdot (U_6 \vee U_3)^{-1} \vee (U_3 \vee U_6) \cdot (U_1 \vee U_4)^{-1}; \\ H &= (\overline{U_1 \vee U_3 \vee U_5}) \cdot (\overline{U_2 \vee U_4 \vee U_6}); \\ U_1 &= A \cdot \bar{B} \cdot C; & U_4 &= \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C}; \\ U_2 &= A \cdot \bar{B} \cdot \bar{C}; & U_5 &= \bar{A} \cdot B \cdot C; \\ U_3 &= A \cdot B \cdot \bar{C}; & U_6 &= \bar{A} \cdot \bar{B} \cdot C. \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

Здесь: P — сигнал прямого направления движения;
 O — сигнал обратного направления движения;
 H — сигнал нарушения порядка следования путевых сигналов на выходах путевых датчиков;

$A, B, C, \bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$ — прямые и инверсные функции, соответствующие дискретным состояниям трех путевых датчиков.

Индекс $-I$ означает, что значение функции необходимо брать во время предшествующего данному моменту такта. Функции (I) реализуются при помощи схемы, известной под названием сигнум-датчика.

Подсчет путевых импульсов осуществляется потенциальным счетчиком, построенным в десятичной системе счисления. С целью упрощения структуры счетчика триггеры каждой декады рекомендуется соединять по принципу ленты Мебиуса. Счетчиком формируется код S_d местоположения клетки относительно точки начала отсчета.

$$S_d = \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n, \dots, \varphi_m,$$

где $\varphi_n = 0, 1, 2, \dots, 9$;

m — число разрядов, определяемое глубиной ствола и величиной путевого кванта.

Путем индикации кода S_d на цифровых индикаторах реализуется визуальная индикация положения клетки относительно исходного горизонта. Величина и знак пути ΔS от клетки до горизонта следования формируется путем дискретного вычитания кода S_d из кода S_{zod} заданного горизонта следования. Вычитание необходимо проводить в натуральном масштабе времени.

$$\text{Sign } \Delta S = \bar{E} \text{ при } S_{zod} \geq S_d;$$

$$\text{Sign } \Delta S = E \text{ при } S_{zod} < S_d.$$

Вычитатель, как и счетчик, содержит m конструктивно обособленных и снабженных схемой самоконтроля разрядов. Результат ΔS используется как для визуальной индикации, так и для автоматического управления по пути. Алгоритм функционирования разряда вычитателя синтезирован следующим образом. Обозначим код заданного горизонта следования символом M , код счетчика путевых импульсов N , а код их разности P .

$$\left. \begin{aligned} M_K &= i_K^* \\ N_K &= i_N^* \\ P_K &= i_P^* \end{aligned} \right\} i = 0, 1, 2, \dots, 9.$$

Здесь K — произвольный разряд. В общем виде результаты вычитания в K -ом разряде зависят от результатов вычитания всех m разрядов в соответствии со следующими логическими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} i_p^K &= \varphi_1^K \cdot \bar{Z}^m \cdot \bar{Z}^{K-1} \vee \varphi_{i-1}^K \cdot \bar{Z}^m \cdot Z^{K-1} \vee \varphi_{9-i}^K \cdot Z^m \cdot \bar{Z}^{K-1} \cdot \left(\prod_{\psi=1}^{K-1} 0_p^\psi \right) \vee \\ &\vee \varphi_{10-i}^K \cdot Z^m \cdot \left[Z^{K-1} \cdot \left(\prod_{\psi=1}^{K-1} 0_p^\psi \right) \vee \bar{Z}^{K-1} \cdot \left(\prod_{\psi=1}^{K-1} 0_p^\psi \right) \right]; \\ \varphi_0^K &= 0_m^K \cdot 0_N^K \vee 1_m^K \cdot 1_N^K \vee 2_m^K \cdot 2_N^K \vee \dots \vee 9_m^K \cdot 9_N^K; \\ \varphi_1^K &= 0_m^K \cdot 9_N^K \vee 1_m^K \cdot 0_N^K \vee 2_m^K \cdot 1_N^K \vee \dots \vee 9_m^K \cdot 8_N^K; \\ \varphi_2^K &= 0_m^K \cdot 8_N^K \vee 1_m^K \cdot 9_N^K \vee 2_m^K \cdot 0_N^K \vee \dots \vee 9_m^K \cdot 7_N^K; \\ \varphi_9^K &= 0_m^K \cdot 1_N^K \vee 1_m^K \cdot 2_N^K \vee 2_m^K \cdot 3_N^K \vee \dots \vee 9_m^K \cdot 0_N^K. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь: i_p^K — значение K -го разряда разности;
 Z^m — сигнал заема единицы со стороны старшего разряда
 $(Z^m = 0 \text{ при } p \geq 0 \text{ и } Z^m = 1 \text{ при } p < 0)$;
 Z^{K-1} — сигнал заема единицы со стороны соседнего младшего разряда;

$\prod_{\psi=1}^{K-1} 0_p^\psi = 0_p^1 \cdot 0_p^2 \cdot 0_p^3 \cdot \dots \cdot 0_p^{K-1}$ — сигнал, свидетельствующий о том, что во всех разрядах до K -го получились нулевые значения модуля разности.

В свою очередь, сигнал Z^K заема единицы с K -го разряда реализуется с помощью логического алгоритма следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} Z^K &= \varphi_2^K \vee \varphi_0^K \cdot Z^{K-1}; \\ \varphi_2^K &= 0_m^K \cdot (1_N^K \vee 2_N^K \vee \dots \vee 9_N^K) \vee 1_m^K \cdot (2_N^K \vee 3_N^K \vee \dots \vee 9_N^K) \vee \dots \vee 8_m^K \cdot 9_N^K. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Приведенные алгоритмы реализованы при помощи потенциальных полупроводниковых схем. Блок-схема устройства контроля местоположения клетки приведена на рис. I. Во второй главе приводится схема и ее расчет для цифрового моделирования движения каната путем генерирования бегущего магнитного поля, идентичного полю магнитной записи движущегося каната. Источником поля являются катушки Гельмгольца, запитываемые от специального генератора сдвинутых по фазе сигналов.

III.

Третья глава посвящена разработке и исследованию бесконтактной аппаратуры формирования задающего воздействия в функции пути для многорежимных подъемных установок. Указанная проблема может быть расчленена на ряд задач, имеющих самостоятельное значение: автоматический выбор направления движения клетки, программирование движения с настраиваемой или автоматически вычисляемой программой, преобразование сигнала программы из импульсного вида в аналоговый и анализ особенностей регулирования, обусловленных наличием дискретизации этого сигнала.

Алгоритм автоматического выбора направления движения можно реализовать при помощи схемы, построенной исключительно на пассивных логических элементах, обладающих высокой надежностью. Работа схемы основана на сравнении адреса следования клетки и координаты точки её нахождения:

$$\left. \begin{aligned} B &= D_2 \cdot S_1 \vee D_3 \cdot (S_1 \vee S_2) \vee D_4 \cdot (S_1 \vee S_2 \vee S_3) \vee \dots \vee D_N \cdot (S_1 \vee S_2 \vee \dots \vee S_{N-1}); \\ H &= D_1 \cdot (S_2 \vee S_3 \vee \dots \vee S_N) \vee D_2 \cdot (S_3 \vee S_4 \vee \dots \vee S_N) \vee \dots \vee D_{N-1} \cdot S_N, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

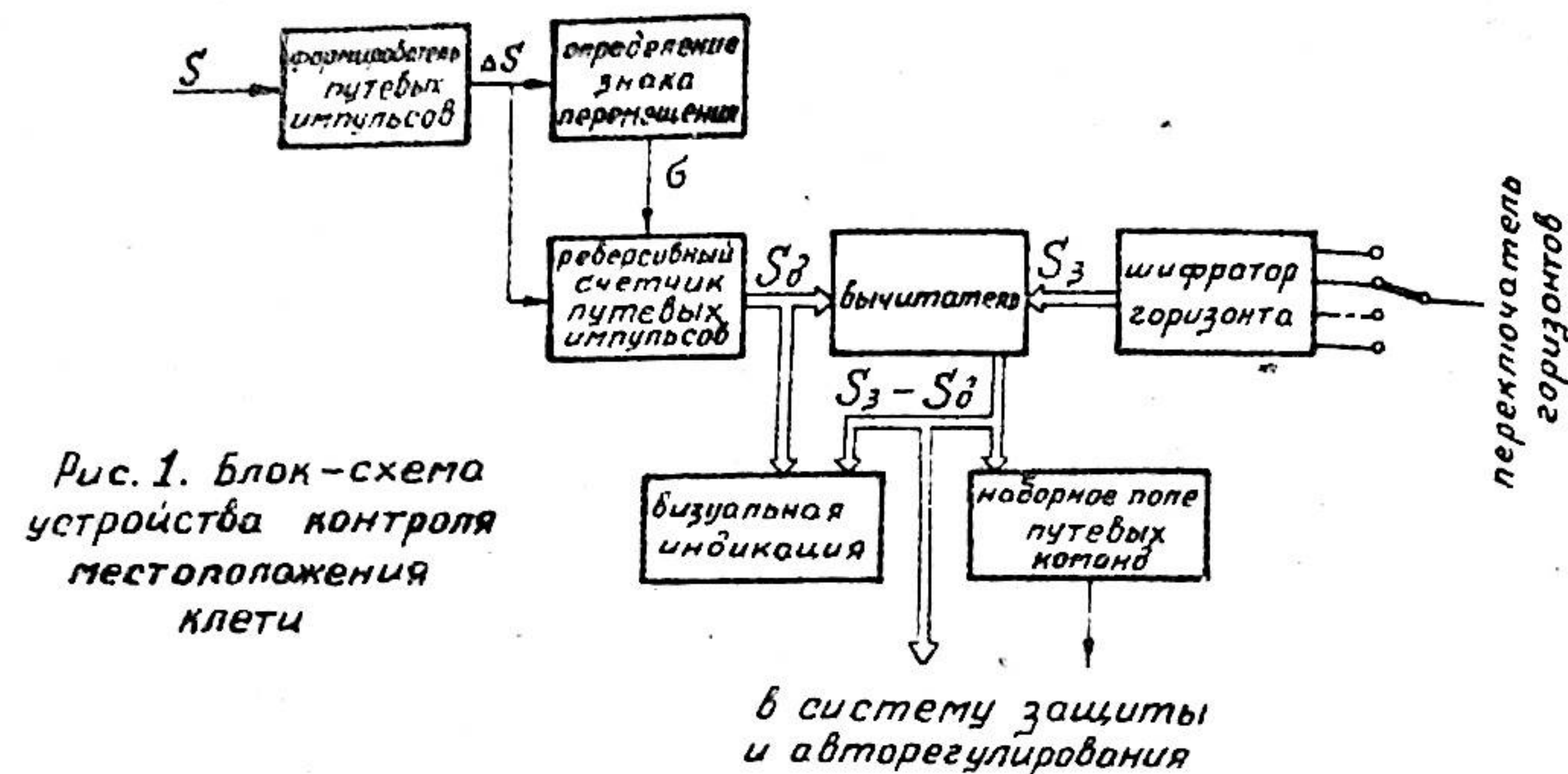


Рис. 1. Блок-схема устройства контроля местоположения клетки

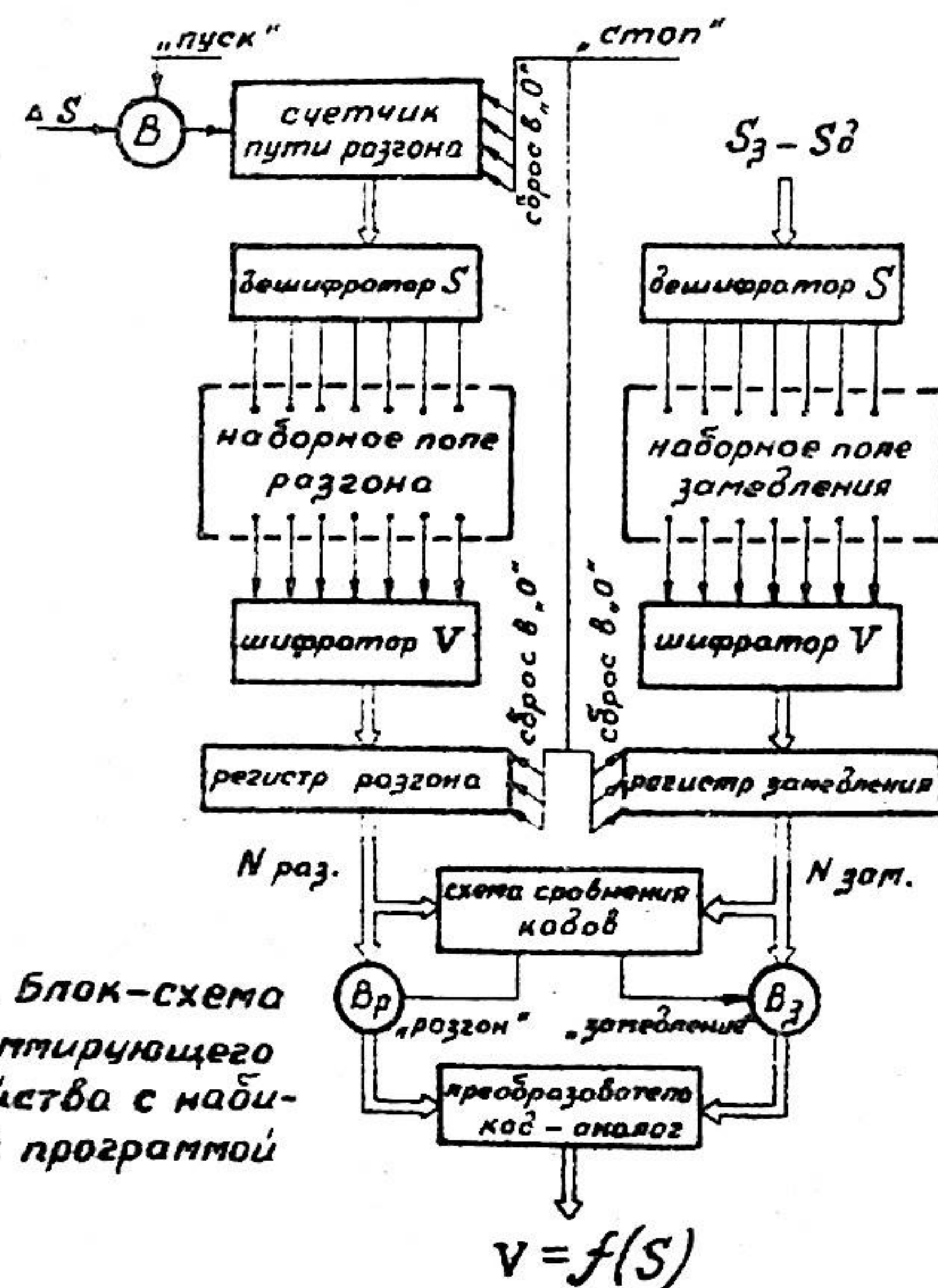


Рис. 2. Блок-схема программирующего устройства с набираемой программой

где B - сигнал движения вперед; H - сигнал движения назад;
 N - число горизонтов ствола; D - сигнал местоположения клетки; S - сигнал пункта следования.

Устройство программирования движения рассматривается как функциональный нелинейный преобразователь кода пути в код заданной скорости. Функция преобразования может быть реализована как путем искусственного набора ее на наборном поле устройства, так и путем автоматического ее вычисления самим устройством. Анализируется структура и свойства разработанной аппаратуры задания программы с набираемой программой. При этом возможны два метода реализации многопозиционности программирования движения: сравнение кодов регистра скорости разгона и регистра скорости замедления и подключение к выходу устройства регистра с большим значением кода, а также метод последовательного включения цифро-аналоговых преобразователей этих кодов. Код регистра разгона является функцией пути, отсчитываемого с момента пуска машины, а код регистра замедления - функцией расстояния от клетки до точки назначения. Блок-схема программирующего устройства с набираемой программой приведена на рис. 2.

Устройство программирования движения с вычисляемой программой формирует выходной сигнал v по закону $v = \sqrt{2aS_p}$ при разгоне и $v = v_m - \sqrt{2aS_3}$ при замедлении, где v_m - максимальная скорость; a - величина ускорения; S_p - путь, отсчитываемый от начала движения; S_3 - путь, отсчитываемый от начала замедления.

При анализе цифро-аналогового преобразователя программирующего устройства как элемента САП выведено выражение для определения передаточного коэффициента K и постоянной времени T преобразователя как функций заданной скорости:

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{UJ}{R_o J(N-2^{m-1}) + U}; \\ \tau &= \frac{L J N}{R_o J(N-2^{m-1}) + U}. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Здесь U - напряжение питания весовых резисторов преобразователя;
 J - ток младшего разряда; N - код заданной скорости;
 m - число двоичных разрядов; R_o и L - активное сопротивление и индуктивность нагрузки преобразователя.

С учетом дискретизации сигнала заданной скорости передаточная функция цифрового программирующего устройства как элемента системы регулирования описывается выражением

$$W(p) = \frac{K}{1+Tp} \cdot \frac{4}{\pi n^2} \sum_{i=1}^n \sqrt{n^2 - i^2}. \quad (6)$$

Здесь n - число уровней квантования задающего сигнала.

При постоянном кванте скорости ΔV интервал квантования ΔS программы $V=f(S)$ по пути будет переменным. Для случая трапециoidalной тахограммы $\Delta S_i = (2i-1) \frac{\Delta V^2}{2\alpha}$, где $i = 1, 2, 3, \dots, V_m/\Delta V$.

Методом гармонической линеаризации получено выражение для определения относительной величины ошибки, вносимой цифровым программирующим устройством в процессе регулирования, осуществляемый аналоговой системой программного регулирования:

$$\lambda = 1 - \frac{4}{\pi A^2 \alpha} \sum_{i=1}^n \sqrt{A^2 \alpha^2 - i^2}, \quad (7)$$

где α - интенсивность разгона; A - амплитуда задающего воздействия. Влиянием дискретизации можно пренебречь, если величина кванта по уровню ΔV не превосходит $0,1 V_{\text{макс}}$, а интервал квантования по времени не будет превышать величины π/ω_c .

где ω_c - круговая частота среза частотной характеристики системы авторегулирования.

IV.

В четвертой главе изложены результаты исследования параметрической системы регулирования с контуром корректировки по пути. Предварительно рассматривается система без корректировки. Наличие входного нелинейного элемента приводит к изменению структуры системы. Большая часть переходных процессов осуществляется системой с разомкнутой главной обратной связью по скорости. В дальнейшем такая структура будет именоваться "параметрия I" в отличие от замкнутой структуры, именуемой "параметрия II". "Параметрия II" характерна для регулирования в установившемся режиме. Выяснено, что коэффициент форсировки в реальных системах незначительно влияет на устойчивость регулирования и более существенно влияет на характер переходного процесса.

Наличие безынерционного устройства программирования движения по пути позволяет повысить точность и стабильность регулирования в параметрических системах, введя дополнительный контур регулирования по отклонению действительной тахограммы от заданной в функции пути - рис.3. При этом на вход интегратора параметрической САР поступает два сигнала: основной релейный сигнал $U_{\text{зад}}$ и сигнал $\Delta \omega'(p)$ превышения действительной скоростью заданного в функции пути значения $\omega_j(p)$. Наличие нелинейного элемента с диодной характеристикой в цепи контура корректировки по пути, кроме повышения устойчивости регулирования, имеет целью образовать удобную в эксплуатации структуру, в которой сигнал корректировки воздействует только в направлении уменьшения интенсивности процесса. Сигнал корректировки $\Delta \omega'(p)$ может быть использован для защиты от

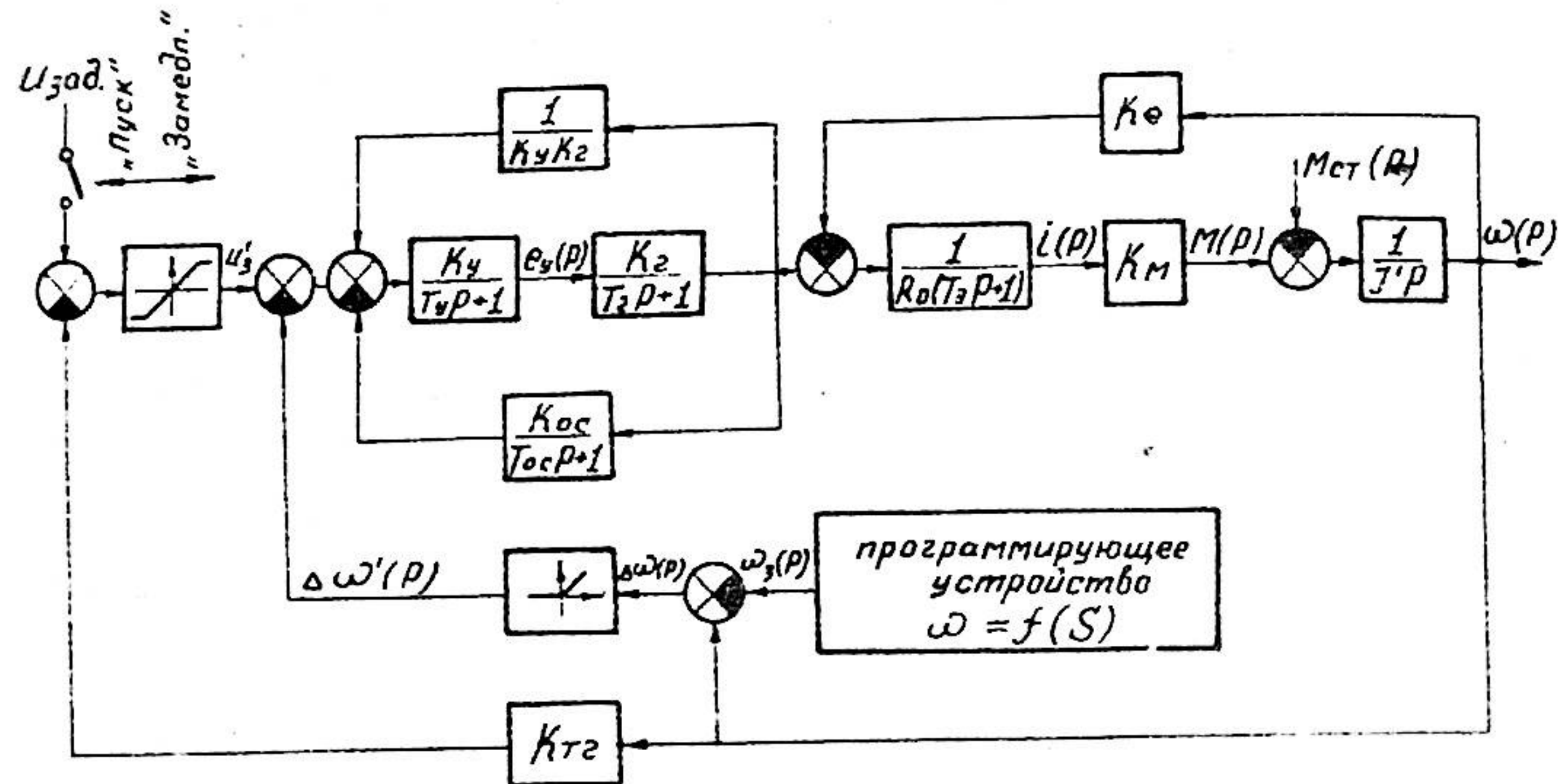


Рис. 3. Структурная схема параметрической системы с коррекцией по пути

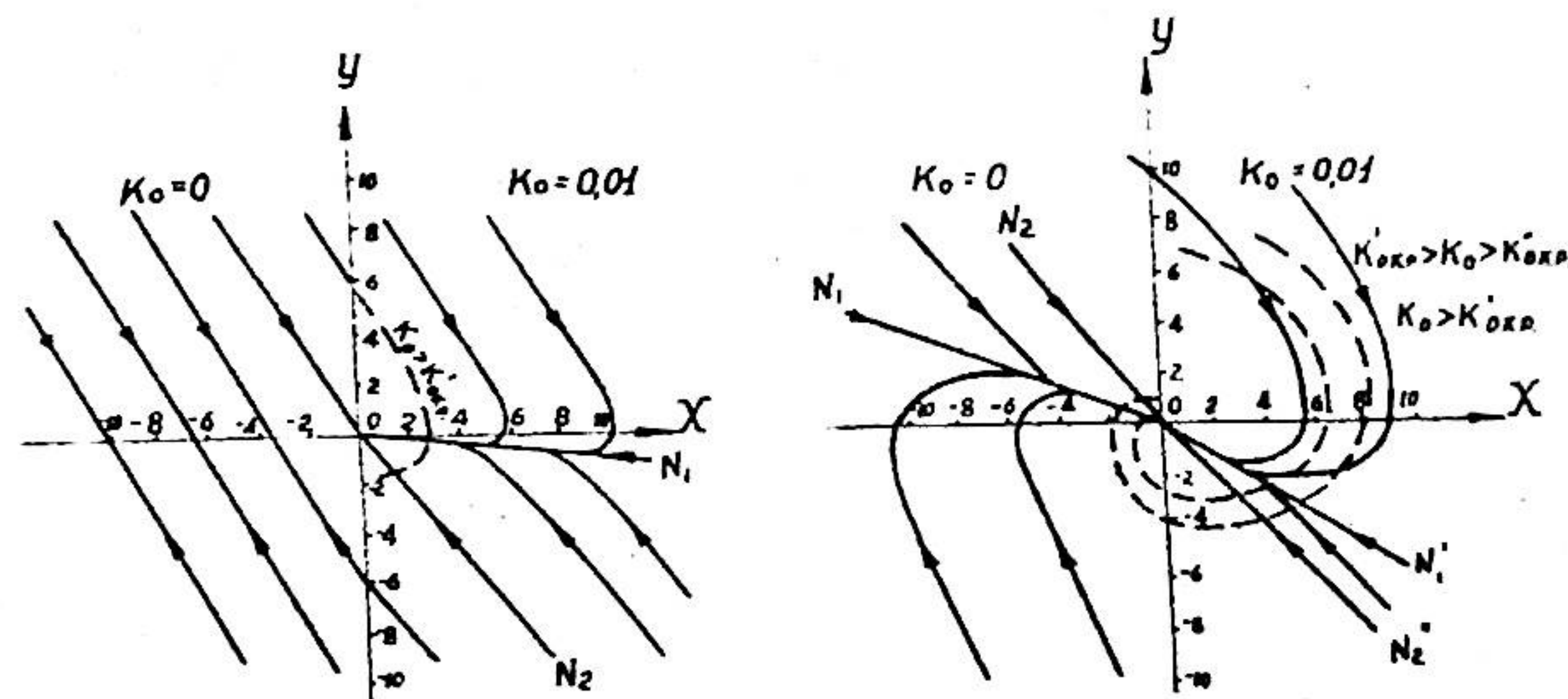


Рис. 4. Фазовые портреты системы с коррекцией по пути

превышения скорости. При снятии коррективной по пути например, из-за сбоя программирующей аппаратуры аварийный режим не возникает, а продолжается процесс регулирования обычной параметрической системой.

Величина коэффициента передачи K_0 контура коррективной должна быть ограничена значением $K'_{окр} = K_e T_0 / 4 K_y K_r T_m$ для "параметрии I" и значением $K''_{окр} = \frac{K_e T_0}{4 K_y K_r T_m} - K_{тг} K_{нз}$ для "параметрии II". Здесь K_e - приводной коэффициент скорости; $K_y, K_r, K_{тг}, K_{нз}$ - передаточные коэффициенты соответственно усилительных звеньев, генератора, тахогенератора и входного нелинейного элемента; T_0, T_m - соответственно постоянная времени интегратора параметрической системы и электрохимической постоянная времени привода.

Исследования показали, что в системе "параметрия I" без коррективной по пути компенсация изменений нагрузки осуществляется только за счет внутренней обратной связи двигателя постоянного тока. При этом добротность по скорости изменения нагрузки равна нулю. При ведении линейного контура коррективной по пути передаточная функция по возмущению с учетом общепринятых допущений примет вид

$$W_{вз}(p) = \frac{R_0 (T_0 - T_{ос}) (T_3 p + 1) p}{R_0 (T_0 - T_{ос}) T_3 p^2 + [R_0 (T_0 - T_{ос}) + K_e K_0 K_y K_r T_{ос} + K_e K_m (T_0 - T_{ос})] p + K_e K_0 K_y K_r} \quad (8)$$

где R_0 - активное сопротивление силовой цепи привода;

T_3 - электромагнитная постоянная времени привода;

T_0 - постоянная времени интегратора параметрической САР;

$T_{ос}$ - постоянная времени гибкой обратной связи по э.д.с. генератора;

K_e, K_m - приводные коэффициенты.

Выражение (8) показывает, что коррективная приводит к астатизму системы по нагрузке.

Введение корректировки по пути увеличивает добротность "параметри II" по скорости изменения нагрузки в соответствии с выражением:

$$\frac{D^*}{D} = 1 + \frac{K_0}{K_{\Gamma\Gamma} K_{\text{из}}}$$

Здесь D^* и D - соответственно добротности системы с контуром корректировки и без него.

Показано, что наличие корректировки уменьшает динамическую ошибку регулирования и практически не влияет на запас устойчивости по модулю и фазе.

Для сравнения чувствительности исходной параметрической системы и системы с корректировкой по пути вычислены значения чувствительности переходной функции $\omega(t)$. Аналитическое выражение этой функции при разгоне с постоянным ускорением имеет вид:

$$\omega(t) = R_1 e^{p_1 t} + R_2 e^{p_2 t} + R_3 e^{p_3 t} - R_4 t - R_5, \quad (9)$$

где p_1, p_2, p_3 - полюсы передаточной функции, а $R_1 \div R_5$ коэффициенты, зависящие от параметров системы. Расчет числовых значений проводился на ЭВМ.

Из анализа полученных результатов следует, что исходная параметрическая система обладает высокой чувствительностью к колебаниям задающего сигнала и коэффициента усиления прямой цепи. Изменение этих параметров вызывает количественно такие же относительные изменения выходной величины. Изменение чувствительности исходной системы во времени практически незначительно. Введение контура корректировки уменьшает чувствительность системы, особенно по параметру K_y . Причем, степень изменения чувствительности пропорциональна величине коэффициента K_0 . Характерно, что чувствительность системы с корректировкой по пути уменьшается со временем переходного процесса и тем сильнее, чем больше жесткость коррек-

ровки.

Моделирование параметрической системы регулирования с нелинейным контуром обратной связи по заданной в функции пути скорости, проведенное на аналоговой вычислительной машине типа МПТ-9, подтверждает результаты аналитических исследований.

Фазовые портреты системы (при уменьшении порядка характеристического уравнения) приведены на рис. 4. При номинальных значениях коэффициента K_0 фазовый портрет соответствует монотонно затухающему аperiodическому переходному процессу. При $K_0 > K'_{0кр}$ переходный процесс в "параметрии I" становится колебательным с большим логарифмическим декрементом затухания $d' = \pi / \sqrt{\frac{K_0 K_{\Gamma} K_0 T_m}{K_e T_0}}$.

Нелинейность в цепи контура корректировки приводит к фиксации изображающей точки на левой полуоси абсцисс. Колебательность в "параметрии II" возникает при $K_0 > K''_{0кр}$. Логарифмический декремент затухания этих колебаний равен $d'' = \pi / \sqrt{\frac{K_y K_{\Gamma} T_m (K_{\text{из}} K_{\Gamma\Gamma} + K_0)}{K_e T_0}}$.

При $K'_{0кр} < K_0 < K''_{0кр}$ переходный процесс ограничится одним колебанием. При любых K_0 особой точкой является устойчивый узел в начале координат.

У.

Пятая глава содержит результаты исследования надежности системы автоматического управления подъемной установки с электронным устройством задания хода. В результате расчета времени безотказной работы бесконтактной аппаратуры задания скорости получено значение среднего времени наработки на отказ T_0 ср, равное 836 часам. При этом значение коэффициента готовности, учитывающего долю времени, затрачиваемого на нахождение и устранение неисправности, в общем времени эксплуатации, равно 0,9994. Вероятность безотказной работы

$P(t)$ и вероятность сбоя $Q(t)$ аппаратуры за время t можно вычислить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= 1 - \frac{t}{T_{0cp}} + \frac{t^2}{2!T_{0cp}^2} - \frac{t^3}{3!T_{0cp}^3} + \dots \\ Q(t) &= \frac{t}{T_{0cp}} - \frac{t^2}{2!T_{0cp}^2} + \frac{t^3}{3!T_{0cp}^3} - \dots \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Число членов ряда, принимаемых во внимание, выбирается в зависимости от интервала времени t . Так, вероятности безотказной работы цифрового программирующего устройства в течение I часа и в течение I смены соответственно равны 0,998 и 0,988, а вероятности сбоя за эти же промежутки времени — 0,002 и 0,012.

Среднее расчетное время $T_{0'cp}$ наработки на отказ схемы управления приводом постоянного тока подъемной машины составляет 445 часов. При использовании цифрового программирующего устройства в программной системе авторегулирования среднее время её безотказной работы T_0^* может быть вычислено по формуле

$$T_0^* = \frac{T_{0cp} \cdot T_{0'cp}}{T_{0cp} + T_{0'cp}} \quad (11)$$

Это время будет меньше времени $T_{0'cp}$. При использовании программирующего устройства в качестве источника сигнала корректировки по пути в параметрической САР время безотказной работы не уменьшается, а вероятность потери точности регулирования из-за сбоя командоаппарата равна вероятности полного отказа программной САР с последовательным включением задатчика хода. При этом выражение для определения вероятности работы параметрической системы с контуром корректировки по пути без потери точности регулирования имеет вид

$$P_k(t) = e^{-t(\frac{1}{T_{0cp}} + \frac{1}{T_{0'cp}})}$$

ВЫВОДЫ

1. В настоящее время горнорудное производство характеризуется высокой концентрацией горных работ. На предприятиях с подземной технологией добычи полезных ископаемых происходит увеличение глубины шахтных стволов, количества горизонтов и пропускной способности подъема. В этих условиях возрастает значимость многорежимного клетового подъема. В железорудной промышленности основным типом клетовой машины глубоких шахт большой производительности принята многоканатная машина со шкивом трения, оснащенная электроприводом постоянного тока.

2. Вопросы автоматизации многорежимных подъемных машин разработаны значительно хуже, чем скиповых. Это объясняется сложностью и нестабильностью алгоритмов управления такими машинами и отсутствием достаточно эффективной аппаратуры контроля, управления и защиты. Недостатки существующей электромеханической аппаратуры контроля пути и задания программы движения не позволяют реализовать в полной мере преимущества способа управления подъемной машиной в функции пути. В связи с этим применяются системы регулирования в функции времени, наиболее простой и надежной из которых является параметрическая система с постоянным входным сигналом. Ввиду того, что на наиболее ответственных участках цикла подъема регулирование в параметрических системах осуществляется по разомкнутой схеме, точность выполнения тахограммы в таких системах недостаточна.

3. Обеспечение высокой точности и надежности работы аппаратуры контроля и управления многорежимным подъемом можно лишь с привлечением дискретных методов переработки информации в сочетании с использованием бесконтактных датчиков пути и логических схем, разработанных с учетом работы в шахтных условиях. Для машин со шкивом трения наиболее рациональным методом контроля пути является метод

магнитной записи на головном канате.

4. Наличие эффективной аппаратуры задания программы движения в функции пути позволяет значительно улучшить качество регулирования параметрических систем путем введения дополнительного контура корректировки по пути. При этом образуется удобная в эксплуатации система, в которой выход из строя узла контроля местоположения клетки относительно точки останова не вызывает появления аварийного режима.

5. Высокая надежность и чувствительность воспроизведения магнитной записи с подъемного каната могут быть обеспечены использованием импульсного режима возбуждения магнитомодуляционных путевых датчиков. Разработаны схемы, реализующие этот метод.

6. В работе проведен логический синтез и минимизация алгоритмов процессов контроля местоположения объемного сосуда в стволе и многопозиционного задания скорости. На основе этих алгоритмов разработана бесконтактная полупроводниковая аппаратура контроля пути и программирования движения для многорежимных подъемов.

7. На основании анализа цифрового задатчика хода как элемента системы автоматического регулирования определена зависимость передаточного коэффициента цифроаналогового преобразователя командопарата от степени квантования. Показано, что влиянием дискретизации задающего сигнала можно пренебречь если величина кванта по уровню не превосходит $0,1 \sqrt{U_{\max}}$, а интервал квантования не более величины π/ω_c , где ω_c — частота среза частотной характеристики системы. В противном случае систему надо рассчитывать как импульсную.

8. Введение в параметрическую систему дополнительного контура регулирования по отклонению действительной скорости от заданного в функции пути значения уменьшает динамическую ошибку регулирования и ослабляет влияние изменения нагрузки. При этом уменьшается чувст-

вительность системы изменению её параметров. Степень уменьшения чувствительности пропорциональна жесткости корректировки. Определены допустимые значения коэффициента передачи контура корректировки.

9. Аналитические исследования иллюстрируются фазовыми портретами системы, построенными с учетом нелинейности и изменений структуры, и подтверждаются исследованиями на моделирующей установке.

10. Получены численные значения показателей надежности электронной программирующей аппаратуры и построенной на ее основе системы регулирования подъема.

11. Результаты работы внедрены на шахтах Криворожского железорудного бассейна. Общий экономический эффект от внедрения составляет 151,2 тыс.рублей в год.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Анализ режимов работы многоканатных подъемных установок. Информация ЦНИИЧМ, серия 2, вып.8, 1969.

2. Бесконтактное устройство контроля местоположения подъемного сосуда. "Горный журнал", №6, 1968. (Соавторы Бизин И.В., Скобелев В.С., Паденко Ю.А.).

3. Логика дискретного сравнения заданного и действительного значений контролируемого параметра. Сб. "Математические методы исследования и кибернетика в обогащении и окисловании железных и марганцевых руд", изд-во "Металлургия", М., 1971.

4. О некоторых особенностях регулирования шахтного подъема с цифровым задатчиком хода. Сб. "Автоматизация горнорудного и

металлургического производства", вып.8, Днепропетровск, 1970.

5. Моделирование движения каната для цифрового устройства контроля местоположения клетки. Сб. "Автоматизация горнорудного и металлургического производства", вып.8, Днепропетровск, 1970. (Соавтор Скобелев В.С.).

6. Десятичный вычислитель для устройства контроля местоположения клетки. Сб. "Автоматизация горнорудного и металлургического производства", вып.6, Днепропетровск, 1969. (Соавтор Бизин И.В.).

7. Пересчетные устройства для аппаратуры автоматизации горно-металлургических процессов. (Сб. "Автоматизация горнорудного и металлургического производства", вып.6, Днепропетровск, 1969. (Соавтор Бизин И.В.).

8. Устройство считывания магнитной записи с шахтных подъемных канатов. Бюллетень ЦНИИЧМ, №8, 1969.

9. Автоматический регулятор скорости шахтных подъемных машин с программным управлением и применением средств вычислительной техники. Тезисы доклада на VI Всесоюзном совещании по созданию и внедрению систем управления, М., 1969. (Соавтор Бизин И.В.).

10. Проектирование накапливающих реверсивных аналого-цифровых преобразователей угла и линейного перемещения. "Автоматика и вычислительная техника", №1, 1969, (Соавтор Бизин И.В.).

11. Устройство сравнения десятичных кодов по логике равно-больше-меньше. "Приборы и системы управления", №3, 1969. (Соавтор Бизин И.В.).

12. Трехфазный цифровой сигнал-датчик. Авторское свидетельство на изобретение № 231221. (Соавтор Бизин И.В., Скобелев В.С., Пашенко Ю.А.).

13. Устройство для программирования движения позиционных транспортных устройств с регулируемым приводом. Авторское свидетельство на изобретение № 306481. (Соавтор Бизин И.В.).

14. Преобразователь цифрового кода в последовательность импульсов. Авторское свидетельство на изобретение № 285346.

15. Реверсивная пересчетная декада. Авторское свидетельство на изобретение № 238249. (Соавторы Барабанова Л.С., Бизин И.В., Скобелев В.С.).

16. Управляемый трехфазный генератор сигналов прямоугольной формы. Авторское свидетельство на изобретение № 284021. (Соавторы Бизин И.В., Скобелев В.С.).

17. Устройство для формирования управляющего сигнала для систем автоматического регулирования скорости перестановочных механизмов. Авторское свидетельство на изобретение по заявке № 1458863. (Соавтор Бизин И.В.).

18. Система автоматического регулирования шахтной подъемной машины с приводом постоянного тока. Авторское свидетельство на изобретение по заявке № 1703055. (Соавтор Чермалых В.М.).

19. Устройство извлечения квадратного корня из параллельного кода. Авторское свидетельство на изобретение по заявке № 1438733. (Соавтор Бизин И.В.).