

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**На правах рукописи**

**ДУБИНИН Сергей Васильевич**

**СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ПОВЫШЕНИЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫНЕСЕННОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ОЧИСТНОГО  
КОМБАЙНА**

**Специальности :**

**05.05.06 - "Горные машины"**

**05.09.03 - "Электротехнические комплексы и системы,  
включая их управление и регулирование"**

**А в т о р е ф е р а т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**ДОНЕЦК - 1992**

**ДОНЕЦКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**На правах рукописи**

**ДУБИНИН Сергей Васильевич**

**СНИЖЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ПОВЫШЕНИЕ  
ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫНЕСЕННОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ ОЧИСТНОГО  
КОМБАЙНА**

**Специальности :**

**05.05.06 - "Горные машины"**

**05.09.03 - "Электротехнические комплексы и системы,  
включая их управление и регулирование"**

**А в т о р е ф е р а т**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

**ДОНЕЦК - 1992**

Работа выполнена в Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте и институте Автоматгормаш

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент

СИДОРЕНКО И.Т.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

БОЙКО Н.Г.

доктор технических наук, профессор

КОЛОСКИ В.П.

Ведущее предприятие – Производственное объединение по добыче угля "Селидовуголь"

Защита диссертации состоится "15" мая 1992 г.  
в 12<sup>40</sup> час. на заседании специализированного совета Д 068.20.02 при Днепропетровском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте: 340000, Донецк, ул. Артема, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Донецкого политехнического института.

Автореферат разослан "13" апреля 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
профессор, докт. техн. наук

 ЧЕРНЯВ В.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Дальнейшее развитие горнодобывающей промышленности возможно на основе существенного повышения качества и производительности горнодобывающей техники, механизации и автоматизации трудоемких производственных процессов, совершенствования управления горными машинами.

Важной проблемой для угольной промышленности является увеличение угледобычи на тонких пологих пластах мощностью 0,6...1,2 м, в которых сосредоточено около 80% промышленных запасов угля Донбасса. Для выемки тонких пластов разработаны высокопроизводительные комплексы КМ-103 и КД-80, в состав которых входят узкозахватные комбайны с вынесенными системами подачи (ВСП). Для регулирования скорости подачи комбайна в серийно выпускаемых ВСП использованы электроприводы с электромагнитными муфтами скольжения (ЭМС), отличающиеся малыми габаритами и достаточно высокой надежностью. Однако, при эксплуатации ВСП выявились существенные недостатки, снижающие эффективность их работы. К этим недостаткам относятся существование режимов работы с высокими динамическими нагрузками в тяговой цепи, элементах приводов подачи и исполнительных органов комбайна, большие потери на трение, снижающие к.п.д. ВСП и ограничивающие ее применение в длинных лавах с беспокойной гипсометрией. Несовершенство выпускаемых ранее аппаратов управления ЭМС ВСП приводило к недостаточной стабилизации малых скоростей подачи, неконтролируемому увеличению скорости перемещения комбайна при повреждении цепей датчиков скорости, допускались помехи в работе блока защиты от утечки тока на землю в цепях питания ЭМС. Все это снижало надежность работы ВСП в целом и безопасность труда в очистном забое. Таким образом, проблема снижения динамических нагрузок ВСП, повышения эффективности и безопасности ее работы за счет совершенствования аппарата управления ЭМС ВСП имеет важное техническое, экономическое и социальное значение.

Цель работы. Повышение эффективности работы автоматизированной ВСП на основе установленных закономерностей формирования динамических процессов и особенностей режимов ее работы в составе очистного комбайна для тонких пологих пластов.

Идея работы заключается в учете динамического взаимодействия вспомогательного и основного приводов автоматизированной ВСП очистного комбайна при определении ее рациональной структуры, параметров.

Научные положения, разработанные лично соискателем:

- вынесенная система подачи очистного комбайна с аппаратом управления приводами является замкнутой динамической системой, рабочий процесс которой обуславливается управлением каждым из приводов подачи, характером трения тяговой цепи о направляющие и зацеплением ее с зубьями приводных звездочек;

- амплитуда нагрузки и к.п.д. ВСП очистного комбайна обусловлены разностью углов поворота приводных звездочек и величиной тягового усилия вспомогательного привода;

- пропорционально-дифференциальный закон регулирования частоты вращения приводов ВСП и пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования разностью углов поворота приводных звездочек при выполнении защит от ненормальных режимов работы обеспечивают рациональный режим работы ВСП очистного комбайна для тонких пологих пластов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: применением современной измерительной аппаратуры, отвечающей условиям передачи информации с требуемой точностью; достаточностью объема экспериментальных данных, полученных на полноразмерных стендах с углецементными блоками и в шахтных условиях; применением современных методов спектрального анализа, математического моделирования и методов численного решения дифференциальных уравнений; достаточной сходимостью результатов математического моделирования с экспериментальными данными. Максимальное расхождение результатов математического моделирования с экспериментальными данными не превысило: для модели аппарата управления - 5%, для модели вынесенных приводов подачи с ЭМС - 8%, для модели системы: аппарат управления - привод ВСП - комбайн - 11%.

Научная новизна:

- разработана математическая модель ВСП очистного комбайна, отличающаяся учетом влияния на ее рабочий процесс особенностей

управления основным и вспомогательным приводами подачи, нелинейности сил трения тяговой цепи о направляющие и характера процессов зацепления цепи о зубьями приводных звездочек;

- впервые установлены закономерности, характеризующие зависимость динамических нагрузок в тяговой цепи, приводах подачи и исполнительных органов комбайна от разности углов поворота приводных звездочек ВСП;

- впервые установлена закономерность, отражающая зависимость величины суммарной энергии, потребляемой ВСП, от тягового усилия вспомогательного привода подачи;

- разработан новый способ управления ВСП, заключающийся в обеспечении требуемой жесткости механических характеристик основного и вспомогательного приводов подачи, отличающийся осуществлением контроля разности углов поворота приводных звездочек и поддержании ее в заданных пределах;

- определены структура и рациональные параметры аппарата управления ВСП, отличающиеся наличием автоматического управления вспомогательным приводом подачи, оригинальной системой защиты от ненормальных режимов работы, включая защиту от утечек тока на землю.

Научное значение работы заключается в установлении зависимостей параметров колебательных процессов и к.п.д. системы подачи от разности углов поворота приводных звездочек и тягового усилия вспомогательного привода подачи, на основе чего разработаны способы и средства улучшения режимов работы ВСП; определены рациональные параметры и структура системы управления приводами подачи методами математического моделирования и ЛП-поиска.

Практическое значение работы заключается в использовании научных результатов работы при проектировании и совершенствовании аппаратуры управления ВСП. Применение разработанной системы управления позволило снизить динамические нагрузки исполнительных органов комбайна в 1,3 раза, основного и вспомогательного приводов подачи соответственно в 1,4 и 2,2 раза, достигнуто повышение к.п.д. ВСП в 1,2 раза:

Реализация выводов и рекомендаций. Основные результаты выполненных исследований и рекомендаций по совершенствованию автоматизированных приводов подачи очистных комбайнов использованы в НПО Автоматгормаш при разработке и серийном изготовлении усовершенствованных аппаратов управления ЭМС ВСП типа КД-А(У) и КД-А, в техническом задании на комплекс МКД-90 и проектировании опытных образцов аппаратуры УДМК. Результаты работы использованы также при разработке аппаратуры управления приводом забойного конвейера ППО-Э(У).

Апробация работы. Основные положения диссертации и ее отдельные разделы докладывались и обсуждались: на конференции молодых ученых и специалистов института Гипроуглеавтоматизация "Научно-техническое творчество молодежи - прогрессу в автоматизации угольной промышленности", г. Москва, 1981 г.; на научно-технической конференции института Автоматгормаш "Молодые ученые научно-техническому прогрессу в угольной промышленности", г. Донецк, 1983 г.; на Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов "Создание технологии безлюдной выемки угля с применением средств роботизации производственных процессов", г. Донецк, 1986 г.; на научно-технической конференции Донецкого политехнического института, г. Донецк, 1987 г.; на заседании кафедры "Горная электротехника и автоматика" Донецкого политехнического института, г. Донецк, 1988 г.; на совместном заседании кафедр "Горные машины" и "Горная электротехника и автоматика" Донецкого политехнического института, г. Донецк, 1991 г.; на расширенном заседании кафедр "Горные машины" и "Горная электротехника и автоматика" Донецкого политехнического института, г. Донецк, 1992 г.

Публикации. По результатам исследований опубликовано 19 работ из них 6 авторских свидетельств.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Содержит 209 страниц машинописного текста, включая 50 иллюстраций, 6 таблиц, список использованной литературы из 81 наименования и приложений на 28 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для выемки тонких угольных пластов институтами Гипроуглемаш и Автоматгормаш разработана и внедрена автоматизированная ВСП на основе ЭМС. В процессе внедрения и эксплуатации ВСП выявлены существенные недостатки. Повышенная динамическая нагруженность элементов ВСП снижает устойчивые моменты приводов подачи и исполнительных органов комбайна, уменьшает надежность и производительность работы очистного комбайна и ВСП. Большие потери энергии на трение тяговой цепи о направляющие снижают к.п.д. ВСП, ограничивают ее применение в длинных лавах с беспокойной гипсометрией. Отсутствие автоматического регулирования ЭМС вспомогательного привода обуславливает нерациональные режимы работы ВСП и отвлекает персонал от технологического процесса для проведения операций ручного управления. Анализ состояния вопроса показал, что для разработки методов снижения динамических нагрузок в ВСП, повышения эффективности ее работы необходимо проведение исследований с целью установления основных закономерностей возникновения динамических процессов в двухприводной ВСП очистного комбайна и определения на этой основе рациональных способов и средств улучшения ее режимов работы.

В области исследования и оптимизации режимов работы горных машин с широким использованием методов математического моделирования существенный вклад внесли ученые: Альшиц А.Я., Берман В.М., Берон А.И., Бойко Н.Г., Бреннер В.А., Берклов Б.А., Верескунов В.Н., Геллер Б.М., Гольдин В.М., Гуляев В.Г., Дейниченко В.А., Докукин А.В., Игнатъев А.Д., Картавий Н.Г., Кантович Л.И., Красников Ю.Д., Краус Э.Г., Меламед В.З., Нечаевский В.М., Парфенов В.В., Позин Е.З., Поцепаев В.В., Резников В.А., Рикман И.В., Рогов А.Я., Серов В.И., Силаев В.И., Сьлод В.И., Скородумов Б.А., Тулин В.С., Ульшин В.А., Хургин Э.Я., и другие ученые.

Исходя из анализа состояния вопроса в работе поставлены и решены следующие основные задачи:

- I. Провести экспериментальные исследования ВСП с выпускаемыми аппаратами управления для установления основных закономерностей взаимодействия между элементами двухприводной системы подачи и электрическим аппаратом управления, особенностей формирования динамических процессов в ВСП и причин возникновения



нерациональных режимов работы.

2. На основании результатов экспериментальных исследований разработать новую математическую модель, отличающуюся от известных более полным описанием процессов в двухприводной ВСП с системой управления для научного обоснования способов и средств обеспечения рациональных режимов работы ВСП.

3. При помощи математического моделирования обосновать структуру системы управления ВСП и ее рациональные параметры.

4. На основании выполненных исследований разработать новые технические решения, повышающие эффективность работы ВСП очистного комбайна.

Экспериментальные исследования режимов работы ВСП с комплексом изготовленной ранее аппаратуры управления и комбайнами К-103 и КА-80 проведены на нагрузочных стендах, на полноразмерных стендах с углещементными блоками, в шахтных условиях на шахтах "Горняк" и "Селидовская" производственного объединения "Селидуголь". Результаты экспериментальных исследований обработаны с использованием метода наименьших квадратов, а также методов статистического и спектрального анализа с использованием ЭЦВМ. На нагрузочном стенде исследованы статические механические характеристики вынесенных приводов подачи. Основной привод, оснащенный системой стабилизации скорости вращения выходного вала, обладает относительно жесткими механическими характеристиками. Однако, при малых скоростях подачи (менее 1,5 м/мин) жесткость механических характеристик существенно снижается, что приводит при изменении нагрузки от 0 до номинального значения (200 кН) к снижению скорости подачи более чем на 50%. Вспомогательный привод, управляемый вручную, обладает естественными, так называемыми, "экскаваторными" механическими характеристиками. Эти характеристики имеют мягкие участки в области рабочих скольжений ЭМС. Выходной момент и, следовательно, тяговое усилие вспомогательного привода устанавливается оператором ручным регулированием тока возбуждения ЭМС. Вследствие субъективности оценок, часто производится неточная установка величины тягового усилия, что является одной из причин возникновения нерациональных режимов работы ВСП. Экспериментальными исследованиями, проведенными в шахтных условиях, установлено, что величина тягового усилия вспомогательного привода существенно влияет на режим работы ВСП. Так, при экспериментальных исследованиях на шахте "Горняк" ПО "Селидов-

уголь" установлена существенная зависимость общей мощности  $\Sigma P_{об}$ , потребляемой приводами ВСП, от мощности  $P_B$ , потребляемой вспомогательным приводом подачи (рис. I). Исследования проведены в лавах длиной 170 м (кривая 1) и 150 м (кривая 2) при одинаковой скорости подачи комбайна равной 0,5 м/с и токе электродвигателей привода исполнительных органов - 120 А.

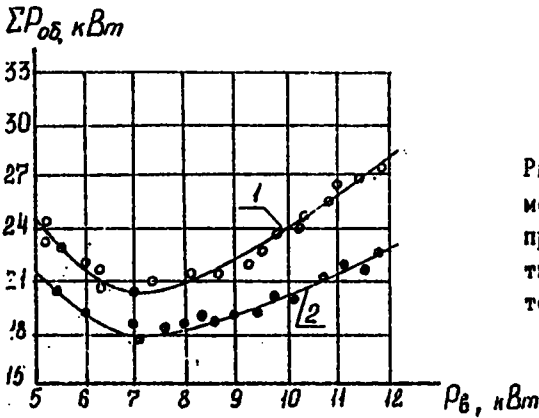


Рис. I. Зависимость общей мощности, потребляемой приводами ВСП, от мощности, потребляемой вспомогательным приводом подачи

На полученную зависимость между  $\Sigma P_{об}$  и  $P_B$  оказывает существенное влияние такие факторы, как кривизна конвейерного става, величина предварительного натяжения цепного контура, степень заштыбовки тяговой цепи. Однако в любых условиях существует минимум  $\Sigma P_{об}$ , соответствующий определенной величине  $P_B$ , различной для разных внешних условий. Установлено, что минимум  $\Sigma P_{об}$  наблюдается при одновременном уменьшении среднего усилия натяжения холостых участков цепного контура и, следовательно, наименьшим потерям на трение при перемещении тяговой цепи. Минимум  $\Sigma P_{об}$  соответствует максимальному, для данных условий, к.п.д. ВСП. Установлена также нелинейная зависимость усилия необходимого для перемещения тяговой цепи от скорости ее перемещения. Усилие необходимое для трогания тяговой цепи, превышает усилие, необходимое для ее перемещения, на (22-27)%. При увеличении скорости от 0,02 м/с до 0,1 м/с усилие перемещения монотонно возрастает на (6-12)%. При увеличении предварительного натяжения тяговой цепи усилие для перемещения пропорционально возрастает.

Осциллографирование угловых скоростей выходных валов, токов электродвигателей и нагрузок приводов подачи и исполнительных

органов выявило наличие в их спектре переменных составляющих с периодом колебаний от 0,2 до 2с, обусловленных пульсирующим характером перемещения корпуса комбайна и возмущениями от исполнительных органов. Кроме указанных относительно высокочастотных колебаний присутствуют низкочастотные составляющие с большой амплитудой и периодом (10–12с). Низкочастотные колебания совпадают по частоте с частотой колебаний скорости вращения приводной звездочки вспомогательного привода подачи, который не оснащен системой стабилизации скорости, и обусловлены взаимодействием вспомогательного привода подачи через участки тяговой цепи с основным приводом и с корпусом комбайна. Возникающие при этом низкочастотные колебания нагрузки исполнительных органов комбайна являются возмущающим воздействием для системы регулирования нагрузки комбайна и приводят к ее неустойчивой работе. Установлено наличие затухающих колебаний частоты вращения ведущей звездочки вспомогательного привода подачи, возникающих при пуске ВСП, а также установившихся колебаний и автоколебаний. Возникновение установившихся колебаний и автоколебаний способствует возмущения, возникающие при зацеплении тяговой цепи с приводной звездочкой, значительная кривизна конвейерного става, повышенное предварительное натяжение тяговой цепи. При малой кривизне конвейерного става и предварительном натяжении тяговой цепи  $\approx 2$  кН в основном наблюдаются затухающие колебания, вызванные переходными процессами в ВСП. В процессе экспериментальных исследований подтверждена возможность улучшения режима работы ВСП за счет соответствующего управления подтягивающим приводом подачи, выявлена необходимость совершенствования аппарата управления ВСП, получены исходные данные для разработки адекватной математической модели двухприводной ВСП с тиристорным аппаратом управления ЭМС ВСП. Разработанная на основе экспериментальных данных структурная схема замещения ВСП с аппаратом управления (рис.2) и математическая модель, отличается от известных учетом влияния на формирование статических и динамических процессов в системе подачи особенностей реальной системы управления основным и вспомогательным приводами подачи, нелинейности сил трения участков тяговой цепи о направляющие, процессов зацепления приводных звездочек с тяговой цепью.

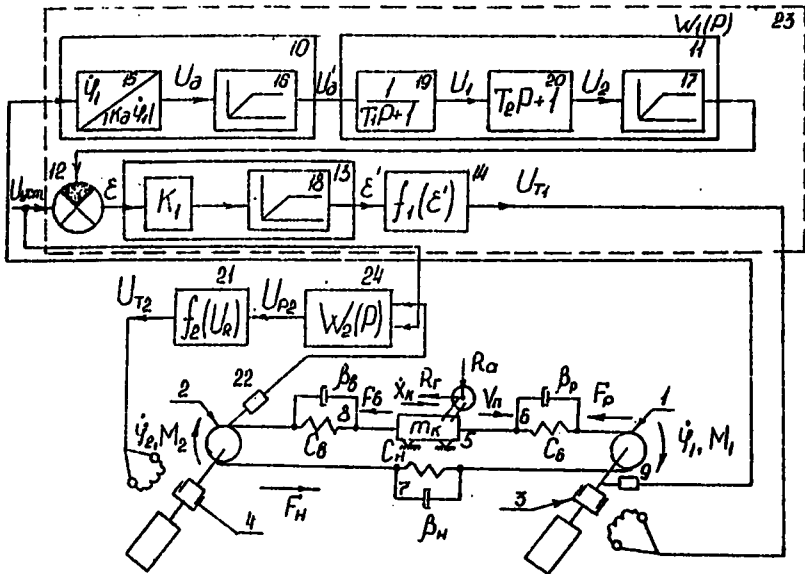


Рис. 2. Разработанная структурная схема замещения ВСП очистного комбайна с аппаратом управления.

Структурная схема замещения ВСП очистного комбайна с аппаратом управления включает в себя: 1,2 - основной и вспомогательный приводы с электромагнитными муфтами скольжения 3 и 4; 5 - очистной комбайн с рабочим участком тяговой цепи 6 и холостыми участками нижним 7 и верхним 8; 9,22 - тахогенераторные датчики скорости; 10,15 - преобразователь сигнала; 11 - корректирующее звено; 12 - элемент сравнения; 13 - усилитель сигнала управления; 14,21 - тиристорные регуляторы тока; 16,17,18 - нелинейные звенья; 19,20 - инерционное и форсирующие звенья соответственно; 23,24 - регуляторы скорости основного и вспомогательного приводов подачи.

Работа основного и вспомогательного приводов подачи описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} \ddot{\psi}_1 = (M_1 - M_{H1}) / J ; \\ M_1 = M_M \arctg^2(aI_1) / (1 - \psi_1 / \omega_0) / (1 - b\psi_1 / \omega_0) ; \\ \dot{I}_1 = (U_{B1} - I_1 R) / L(I_1) ; \\ \ddot{\psi}_2 = (M_2 - M_{H2}) / J ; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} M_2 = M_M \alpha \text{ctg}^2(\sigma I_2) (1 - \dot{\psi}_2 / \omega_0) / (1 - \delta \dot{\psi}_2 / \omega_0); \\ \dot{I}_2 = (U_{\beta 2} - I_2 R) / L(I_2), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\psi_1, \psi_2$  - углы поворота приводных звездочек основного и вспомогательного приводов подачи соответственно;  $M_1, M_2$  - приведенные электромагнитные моменты соответствующих приводов;  $J$  - приведенный момент инерции вращающихся частей ЭМС;  $M_M, \alpha, \delta$  - конструктивные коэффициенты ЭМС;  $I_1, I_2, U_{\beta 1}, U_{\beta 2}$  - токи и напряжения возбуждения соответствующих ЭМС;  $L(I_1)$  - нелинейная индуктивность ЭМС:  $L(I_1) = L_H / (1 + (\sigma I_1)^2)$ ,  $L_H$  - начальная индуктивность.

Перемещения комбайна с учетом вспомогательного привода описывается уравнением:

$$m \ddot{\chi} = F_p + F_{gp} - F_{T\delta} - F_{g\delta} - R_r - F_\delta - F_{T\kappa} \quad (2)$$

где  $m$  - масса комбайна;  $\chi$  - обобщенная координата комбайна;  $F_p$  - усилие натяжения рабочей ветви цепи;  $F_p = C_p \Delta L_p$ ,  $C_p$  - жесткость рабочего участка цепи;  $\Delta L_p$  - удлинение рабочего участка цепи;  $F_{gp}$  - диссипативная сила в рабочей ветви;  $F_{gp} = \beta_1 (\dot{\chi}, R_1 \dot{\chi})$ ;  $R_1$  - вертикальная проекция точки зацепления приводной звездочки основного привода с цепью;  $\beta_1$  - коэффициент диссипативных потерь в рабочем участке тяговой цепи;  $F_{T\kappa}$  - сила трения опор комбайна о направляющие;  $F_{T\kappa} = (G + R_\alpha) \mu(\dot{\chi})$ ;  $G$  - вес комбайна;  $R_\alpha$  - равнодействующая вертикальных сил реакции забоя на шнеках комбайна;  $\mu(\dot{\chi})$  - коэффициент трения опор комбайна о направляющие;  $\mu(\dot{\chi}) = \alpha_1 \text{sign}(\dot{\chi}) e^{\alpha_2 \dot{\chi}^2} \alpha_3 |\dot{\chi}|$ ;  $\alpha_1 \dots \alpha_3$  - положительные константы;  $F_{T\delta}$  - сила сопротивления перемещению верхней холостой ветви;  $F_{T\delta} = F_{g\delta}$  - диссипативная сила в верхней холостой ветви;  $F_{g\delta} = \beta_2 (\dot{\chi} - \dot{\psi}_2 R_2)$ ;  $\beta_2$  - коэффициент диссипативных потерь в верхней холостой ветви;  $R_2$  - вертикальная проекция точки зацепления приводной звездочки вспомогательного привода;  $R_r$  - горизонтальная равнодействующая сил реакции забоя на шнеках комбайна;  $F_\delta$  - усилие натяжения верхнего холостого участка цепи.

Моменты нагрузки приводов ВСП описываются выражениями:

$$\begin{cases} M_{H1} = (F_p + F_{gp} + F_{T\kappa} - F_{g\kappa} - F_H) R_1; \\ M_{H2} = (F_H + F_{g\kappa} + F_{T\kappa} - F_{g\delta} - F_\delta) R_2. \end{cases} \quad (3)$$

где  $F_{T\kappa}$  - сила сопротивления перемещению рабочего участка цепи;

$F_{QH}$  - диссипативная сила в нижнем холостом участке тяговой цепи:

$F_{QH} = \beta_3 (\dot{\psi}_2 R_2 - \dot{\psi}_1 R_1)$  ;  $\beta_3$  - коэффициент диссипативных потерь в нижнем холостом участке тяговой цепи;  $F_H$  - усилие натяжения нижнего холостого участка тяговой цепи:  $F_H = C_H \Delta L_H$  ;  $\Delta L_H$  - удлинение нижнего холостого участка тяговой цепи;  $R_1 = R \sin \psi_{1k}$  ,  $R_2 = R \sin \psi_{2k}$  ;  $R$  - начальный радиус приводной звездочки ;  $\psi_{1k}, \psi_{2k}$  - аргументы:  $\psi_{1k} = \psi_1 - k_1 2\pi/N$  ;  $\psi_{2k} = \psi_2 - k_2 2\pi/N$  ;  $k_1, k_2$  - количество целых углов, равных углу между лучами приводной звездочки, укладывающихся в полных углах поворота  $\psi_1$  и  $\psi_2$  соответственно;  $N$  - количество лучей приводных звездочек.

Равнодействующие распределенных сил сопротивления перемещению участков тяговой цепи вычислялись по, предложенной автором, эмпирической формуле:  $F_T = F_H + K_U F_y \mu(V_n)$  , где  $F_H$  - сила трения ненапрянутого участка цепи о направляющие;  $K_U$  - коэффициент изгиба конвейерного става;  $F_y$  - сила упругого натяжения цепи;  $\mu(V_n) = a_1' + a_2' e^{-a_3 |V_n|} + a_4' |V_n|$  ; где  $a_1' \dots a_4'$  - постоянные коэффициенты, полученные эмпирически на основании экспериментальных данных.

Параметры управления ВСП описаны системой дифференциальных уравнений:

$$U_g = \begin{cases} |K_g \dot{\psi}_1|, & |K_g \dot{\psi}_1| < U_H ; \\ U_H, & |K_g \dot{\psi}_1| \geq U_H ; \end{cases}$$

$$\dot{U}_1 = (U_g - U_1) / T_1 ;$$

$$U_2 = T_2 \dot{U}_1 + U_1 ;$$

$$U_3 = \begin{cases} U_H, & U_2 \geq U_H ; \\ U_2, & 0 \leq U_2 \leq U_H ; \\ 0, & U_2 < 0 ; \end{cases}$$

$$\varepsilon_2 = U_3 - U_{уст}$$

$$\varepsilon_1' = \begin{cases} K_1 \varepsilon_1, & 0 < K_1 \varepsilon_1 < U_H ; \\ U_H, & K_1 \varepsilon_1 \geq U_H ; \\ 0, & K_1 \varepsilon_1 \leq 0 ; \end{cases}$$

$$U_{т1} = U_m f_T(\varepsilon_1') ;$$

$$U_{т2} = U_m f_T(U_{\rho 2}) ,$$

где  $U_g$  - выходное напряжение звена, измеряющего величину сигнала

датчика скорости;  $K_g$  - коэффициент преобразования измерителя скорости;  $U_H$  - уровень ограничения сигнала;  $U_1, U_2, U_3$  - выходные напряжения инерционного, форсирующего и корректирующего звеньев соответственно;  $\mathcal{E}$  - напряжение рассогласования;  $U_{уст}$  - сигнал уставки по скорости, выработанный регулятором нагрузки;  $\mathcal{E}'$  - усиленный сигнал рассогласования;  $K_1$  - коэффициент усиления пропорционального усилителя;  $U_T$  - напряжение возбуждения ЭМС I;  $f_T(\mathcal{E}'), f_T(U)$  - коэффициенты передачи тиристорных преобразователей.

Системы уравнений (I)-(4) решены совместно на ЭЦВМ при помощи метода Адамса четвертого порядка с переменным шагом интегрирования. Адекватность математической модели оценивалась по точности воспроизведения процессов реальной двухприводной системы подачи. Расхождение результатов не превысило для процессов в аппарате управления 5%, приводов ВСП - 8%, для системы: аппарат управления - привод ВСП - комбайн - 11%.

При моделировании переходных и установившихся процессов в ВСП при фиксированных токах возбуждения ЭМС вспомогательного привода ( $U_{p2} = const$ ), установлено, что возникшие в этом случае затухающие и установившиеся колебания повышают динамическую нагруженность как приводов подачи, так и привода исполнительных органов комбайна. Определены следующие факторы, вызывающие низкочастотные автоколебательные процессы в ВСП: "мягкость" естественных механических характеристик ЭМС подтягиваемого привода при фиксированных токах возбуждения ЭМС; несинхронность частоты вращения приводов подачи; нелинейный характер распределенных сил трения участков тяговой цепи о направляющие; возмущающие воздействия, вызванные колебаниями линейной скорости перемещения точки зацепления приводных звездочек с тяговой цепью. Повышение динамической нагруженности приводов оценивалось по величине коэффициента динамичности  $K_d = M_d / M_H$ ; где  $M_d$  - амплитуда низкочастотной составляющей колебания момента нагрузки;  $M_H$  - номинальный момент электропривода. Установлено существенное влияние на  $K_d$  величины возбуждения  $I_2$  ЭМС подтягиваемого привода (рис. 3).

При величине тока  $I_2 = I_0$ ,  $K_d$  принимает минимальное значение как для приводов подачи (кривые 1 и 2), так и для привода исполнительных органов комбайна (кривая 3). При  $I_2 > I_0$  значение средней разности углов поворота приводных звездочек  $\Delta\psi$  приближается к ну-

лю. При изменении в модели коэффициентов изгиба  $K_{\omega}$  и начальных сил трения участков тяговой цепи о направляющие, величина  $I_0$  изменяется. Нулевому же значению  $\Delta \psi$  всегда соответствует минимум  $K_d$ . Таким образом, один из методов уменьшения динамических нагрузок в ВСП является минимизация параметра  $\Delta \psi$ . В связи с этим, предложен новый способ управления ВСП, заключающийся в установлении частоты вращения приводной звездочки основного привода в соответствии с необходимой нагрузенностью двигателя резания комбайна, установлении частоты вращения приводной звездочки вспомогательного привода равной частоте вращения основного привода, вычислении разности углов поворота  $\Delta \psi$ , изменении частоты вращения вспомогательного привода, минимизируя этим величину  $\Delta \psi$ . Способ реализуется при помощи, разработанного автором, регулятора скорости вспомогательного привода подачи (рис. 4.).

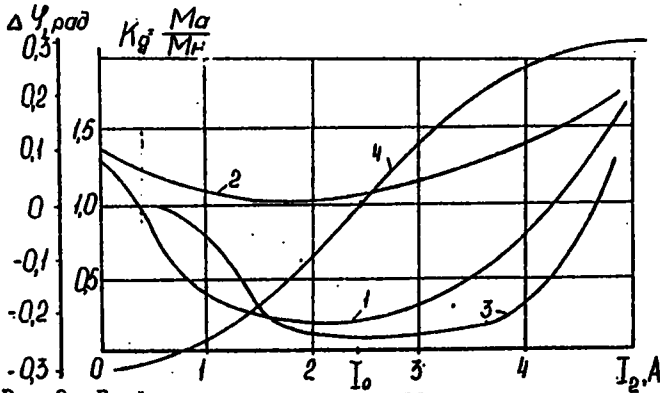


Рис. 3. Графики зависимости коэффициентов динамичности и средней разности углов поворота приводных звездочек от тока возбуждения ЭМС: 1 - основного привода подачи; 2 - вспомогательного привода подачи; 3 - привода режущей части комбайна; 4 - средняя разность углов поворота  $\Delta \psi$  приводных звездочек.

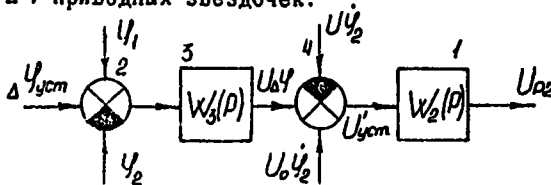


Рис. 4. Регулятор скорости вспомогательного привода по-



дачи: 1 - регулятор частоты вращения выходного вала вспомогательного привода подачи с передаточной функцией  $W_2(P)$ , структура которого идентична регулятору 23 (рис.2); 2 - элемент срабатывания; 3 - регулятор параметра  $\Delta\psi$  с передаточной функцией  $W_3(P)$ ; 4 - элемент сравнения;  $\Delta\psi_{уст}$  - заданное значение разности углов поворота;  $U_{\Delta\psi}$  - выходное напряжение регулятора параметра  $\Delta\psi$ ;  $U\psi_p$  - напряжение пропорциональное частоте вращения приводной звездочки вспомогательного привода и  $U_0\psi_p$  - его заданное значение.

Методом ЛП-поиска были определены рациональные значения коэффициентов усиления пропорциональных звеньев, постоянные времени интегрирующих, инерционных и дифференцирующих звеньев, а также другие рациональные параметры усовершенствованной системы управления ВСП. Значения рациональных параметров системы, определенные в данной работе, использованы при разработке и серийном изготовлении в НПО Автоматгормаш, усовершенствованных аппаратов управления ВСП для очистных комбайнов К-103 и КА-80. Аппарат испытан в шахтных условиях на участке №2 шахты "Горняк" ПО "Селидовуголь". В процессе испытаний установлено, что усовершенствованная система управления обеспечивает более жесткие механические характеристики приводов, что обеспечило снижение среднеквадратичного отклонения частоты вращения приводных звездочек по сравнению с базовой аппаратурой с 0,014 рад/с до 0,006 рад/с. Применение усовершенствованного аппарата управления позволило снизить динамические нагрузки привода резания комбайна в 1,3 раза, основного и вспомогательного приводов подачи соответственно в 1,4 и 2,2 раза, к.п.д. ВСП повышен в 1,2 раза. Долевой экономический эффект от внедрения результатов данных исследований в усовершенствованном аппарате управления составил 9,1 тыс. рублей на 1 комплект ВСП.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое научное обоснование технической разработки, обеспечивавшей решение важной прикладной задачи по повышению эффективности работы автоматизированной ВСП на основе установленных закономерностей формирования динамических процессов и особенностей режимов ее работы в составе очистного комбайна для тонких пологих пластов, что позволило увеличить производительность комбайна в среднем на 10 - 12%. При этом получены следующие основ-

ные научные выводы и практические результаты:

1. Установлено, что вынесенная система подачи очистного комбайна с аппаратом управления приводами является замкнутой динамической системой, рабочий процесс которой обусловлен управлением каждым из приводов подачи, характером трения тяговой цепи о направляющие и зацеплением ее с зубьями приводных звездочек;

2. Доказано, что величина тягового усилия вспомогательного привода существенно влияет на амплитуду динамической нагруженности приводов подачи и на суммарную энергию, потребляемую приводами подачи из сети. При помощи рационального распределения усилий между приводами подачи можно уменьшить суммарное энергопотребление приводов и увеличить к.п.д. ВСП на (15...20)%.

3. Доказано, что при значении разности углов поворота  $\Delta \psi$  приводных звездочек вынесенных приводов подачи, в пределах 0...0,3 рад, нагрузка между приводами распределяется наиболее рационально, чем достигается уменьшение динамических нагрузок и повышение к.п.д. ВСП.

4. Обоснован способ управления ВСП и закон регулирования параметра  $\Delta \psi$ . Доказано, что рациональным является пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления.

5. Обоснована структура системы с пропорционально-дифференциальным (ПД) законом управления скоростью вращения приводных звездочек, позволяющая за счет повышения жесткости искусственных механических характеристик приводов подачи снизить среднеквадратичное отклонение частоты вращения звездочек в 2 раза.

6. Разработан усовершенствованный аппарат управления ЭМС ВСП, применения которого позволило снизить динамические нагрузки привода исполнительных органов в 1,3 раза, основного и вспомогательного приводов подачи в 1,4 и 2,2 раза.

7. Предложена новая система защиты от утечек и защита от потери управляемости системы при повреждении цепей датчиков скорости, позволяющая повысить надежность и безопасность работы аппарата управления. Автоматическое управление ЭМС вспомогательного привода повысили качественные показатели ВСП в целом и освободило персонал от ручных операций управления вспомогательным приводом подачи. На основе результатов диссертационной работы создан и доведен до серийного производства новый аппарат управления ВСП очистных комбайнов. Долевой экономический эффект от внедрения результатов данного

исследования составляет 9,1 тыс. рублей.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Дубинин С.В., Сидоренко И.Т. Применение электромагнитных муфт скольжения в приводах горных машин// Горная электротехника: Реоп. Медвед. научн. техн. сб. - 1988. - Вып. 52. - С. 62-65.
2. Дубинин С.В. Устройство автоматического управления приводом с электромагнитной муфтой скольжения для базовых забойных конвейеров. - Деп. ЦНИЭИУголь, 9.11.91, № 2189/5, № 11-12, С. 132.
3. Дубинин С.В., Кривущенко Н.Т., Сукач Л.А. Метод улучшения динамики работы очистного комбайна с ВСП// Системы и средства автоматизации забойного оборудования: Сб. научн. трудов/институт Автоматгормаш. - Донецк, 1986. - С. 13-17.
4. Сидоренко И.Т., Дубинин С.В. Переходные процессы в системе подачи угольных комбайнов с электромагнитными муфтами скольжения// Изв. вузов. Горный журнал. - 1988. - № 12. - С. 88-93.
5. Дубинин С.В. Моделирование автоколебательных процессов в вынесенной системе подачи очистного комбайна. - Деп. в ЦНИЭИУголь, 1988. № 542.
6. Поцепаев В.В., Дубинин С.В., Пурис А.И. Автоматизация выемки тонких угольных пластов очистными комбайнами с вынесенной системой подачи// Докл. на Всесоюзн. конф. молодых ученых и специалистов. - Донецк, 18-19 ноября, 1986./ИГД им. А.А.Скочинского. - М., 1987. - 107 с.
7. Дубинин С.В., Сидоренко И.Т. Требования к аппарату управления электроприводами вынесенной системы подачи угольного комбайна// Изв. вузов. Горный журнал. - 1989. - № 8. - С. 90-94.
8. Дубинин С.В., Суминов Ю.А., Лукацкий Л.И. Усовершенствование аппаратуры автоматизации для комбайнов с ВСП// Уголь Украины, 1977. - № 10. - С. 31.
9. Сидоренко И.Т., Дубинин С.В. Совершенствование защиты системы питания электромагнитных муфт скольжения привода горных машин. - Деп. ЦНИЭИУголь, 22.06.89, 4912-уш., № 5.
10. Дубинин С.В., Мальцев Л.Е., Сидоренко И.Т. Опыт эксплуатации аппарата контроля утечки РКУ-Зар совместно с тиристорным аппаратом управления электромагнитной муфты скольжения// Взрывозащищенные электрические аппараты: Сб. научн. трудов/ ВНИИВЗ под общ. ред. В.С.Дзыбана. - Донецк. С. 50-52.

11. Сидоренко И.Т., Дубинин С.В. Электромагнитные переходные процессы в цепи управления электромагнитных муфт скольжения привода горных машин// Горная электромеханика: Респ.межвед. научн. техн. сб. - 1988. - Вып. 52. - С. 33-36.

12. Дубинин С.В., Мальцев Л.Е. Помехоустойчивый линейный тиристорный регулятор напряжения// Деп. в ЦНИИЭИуголь, 7.09.83, № 2750.

13. Дубинин С.В., Мальцев Л.Е., Кривущенко Н.Т. Особенности построения системы автоматического управления очистным комбайном К-103 с регулятором тока на тиристорах// Забойная автоматика: Сб. научн. трудов/ институт Автоматгормаш. - Донецк, 1985. - С. 16-21.

14. А.о. 1461919 (СССР), МКИ К 21 с 35/24. Способ управления вынесенной системой подачи очистного комбайна/ С.В.Дубинин, В.В.Поцепаев, Я.Л.Красик, И.Т.Сидоренко; институт Автоматгормаш. - № 4204123; заявл. 4.03.87; опубл. 28.02.89, бюл. № 8.

15. А.с. 1190281 (СССР), МКИ 21 с 35/24. Устройство для управления скоростью электромагнитной муфты скольжения/ С.В.Дубинин, Л.Е.Мальцев, Н.Т.Кривущенко и др. - № 3748313; заявл. 4.07.84; опубл. 07.11.85; бюл. № 41.

16. А.с. 1273547 (СССР), МКИ В 21 с 35/24. Тиристорное устройство управления и защиты электромагнитной муфты скольжения привода горной машины/ С.В.Дубинин, К.А.Гринь, И.Т.Сидоренко и др. - № 3932085; заявл. 23.07.85; опубл. 30.11.86; бюл. № 44.

17. А.с. 1077027 (СССР), МКИ Н02М 1/08. Фазосдвигающее устройство для управления тиристорами/ С.В.Дубинин, Л.Я.Косьяковский, Н.Т.Кривущенко и др. - № 3002719; заявл. 13.11.80; опубл. 28.02.84; бюл. № 8.

18. А.с. 1198882 (СССР), МКИ Н02М 1/08. Линейное фазосдвигающее устройство для управления тиристорным преобразователем / Р.Л.Невлер, С.В.Дубинин, Л.Я.Косьяковский и др. - институт Автоматгормаш - № 3672426; заявл. 13.12.83; опубл. 15.12.85; бюл. № 46.

19. А.с. 1439236 (СССР), МКИ В 21 с 35/24. Устройство управления электромагнитной муфтой скольжения привода горной машины/ С.В.Дубинин, А.Л.Гаман, А.И.Пурис и др. - № 4176635; заявл. 08.01.87; опубл. 23.11.88; бюл. № 43.