

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВЫСШЕЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

На правах рукописи

ШИРИН АРТЕМ ЛЕОНИДОВИЧ

УДК [622.268.4: 625.5: 519.876.2] (043.3)

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОВЕДЕНИЯ
ВЫЕМОЧНЫХ ВЫРАБОТОК
СО СЛОЖНОЙ ГИПСОМЕТРИЕЙ ПЛАСТОВ**

Том 1

Специальность 05.15.02 – Подземная разработка месторождений
полезных ископаемых

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
А.М. Кузьменко

Днепропетровск – 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений, символов, единиц, терминов и сокращений	5
Введение.....	6
Раздел 1 Состояние проблемы. Цель и задачи исследований	14
1.1 Состояние процессов проведения выемочных выработок в условиях шахт Западного Донбасса.....	14
1.2. Анализ и типизация технологических схем транспортирования шахтной породы при проведении выемочных выработок.....	18
1.3 Оценка методов оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами угольных шахт	23
1.4 Формирование общей методики и постановка заданий исследования .	29
Выводы по разделу.....	33
Раздел 2 Определение влияния профиля откатки породы из подготовительных забоев на производительность работы напочвенных канатных дорог	34
2.1 Оценка показателей оперативно-производственного управления процессами транспортирования грузов из подготовительных забоев ..	34
2.2 Эксплуатационные параметры напочвенных канатных дорог при проведении выработок.....	40
2.3 Особенности функционирования напочвенных канатных дорог при проведении выработок в нетипичных условиях эксплуатации	46
2.4 Влияние профиля транспортирования грузов по выработкам с интенсивно пучащей почвой на работу напочвенных канатных дорог	54
2.5 Ранжирование показателей эксплуатационных параметров выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов.....	63
Выводы по разделу.....	69
Раздел 3 Формализация функций управления эксплуатационными параметрами напочвенных канатных дорог в условиях неопределенности изменения профиля откатки	71

3.1 Оперативно-производственное управления шахтными грузопотоками	71
3.2 Моделирование функций оперативно-производственного управления процессами перемещения породы при проведении выработок	76
3.3 Математическое описание процесса взаимодействия тягового органа с линейными элементами напочвенных канатных дорог	83
3.3.1 Принципиальная схема функционирования напочвенной канатной дороги в типичных условиях эксплуатации	83
3.3.2 Алгоритм взаимодействия элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы»	86
3.3.3 Обоснование расчетной схемы взаимодействия тягового органа с линейными элементами напочвенных канатных дорог	93
3.3.4 Аналитическое описание процесса перемещения породы напочвенной канатной дорогой	95
3.4 Экспериментальные исследования режимов работы ДКН при транспортировании грузов	99
3.4.1 Общие положения методики шахтных исследований	99
3.4.2 Исследование нештатных режимов работы напочвенной канатной дороги	100
3.4.3 Результаты стендовых испытаний модуля автоматизированного управления режимами работы привода транспортной установки...	104
3.5 Формирование функций автоматизированного управления параметрами напочвенных канатных дорог	107
Выводы по разделу.....	109
Раздел 4 Обоснование параметров технологических схем проведения выработок с применением напочвенных канатных дорог	111
4.1 Рациональные способы автоматизированного управления технологическими процессами транспортирования породы	111
4.2 Формирование требований к функциям и структуре автоматизированного управления технологическими процессами перемещения породы	115

4.3 Обоснование принципов автоматизированного контроля остаточного объема породы при разгрузке шахтных вагонов	123
4.4 Визуально-оптический метод контроля процесса выгрузки породы из вагонов.....	128
4.5 Результаты экспериментальных исследований параметров взаимодействия стереосистемы и шахтного подвижного состава.....	136
4.6 Формирование требований к функциям программно-технического комплекса контроля процесса выгрузки породы из вагонов.....	142
Выводы по разделу.....	146
Раздел 5 Повышение энергоэффективности технологических схем проведения выработок путем автоматизации транспортно-технологических процессов	148
5.1 Разработка алгоритма моделирования энергосберегающих технологических схем проведения выработок с применением ДКН	148
5.2 Обоснование рациональной схемы организации горнопроходческих работ с автоматизированным управлением параметров напочвенных канатных дорог и грузопотоков породы.....	154
5.3 Эффективность транспортно-технологических схем проведения выработок с применением системы автоматизированного управления ДКН.....	156
Выводы по разделу.....	158
Заключение	160
Список использованных источников	162

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ, ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

АСУ – автоматизированная система управления

борт. штр. – бортовой штрек

ВШТ – внутришахтный транспорт

гор. – горизонт

ГШО – горно-шахтного оборудования

даН – дека Ньютон

ДКН – напочвенная канатная дорога

ДТЭК – Донецкая топливно-энергетическая компания

ГШО – горношахтное оборудование

КПД – коэффициент полезного действия

МВШ – магистральный вентиляционный штрек

мин/см. – минут в смену

ОД – околоствольный двор

ОПУ – оперативно-производственное управление

ОШ – откаточный штрек

ПАО – публичное акционерное общество

ПК – персональный компьютер

сб. штр. – сборный штрек

случ./см. – случаев в смену

ТО – тяговый орган

ТП – технологические процессы

ТПП – транспортно-технологические процессы

ТТС – транспортно-технологическая система

УПР – участок подготовительных работ

ш/у – шахтоуправление

штр. – штрек

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Важнейшим условием высокоэффективной и безопасной работы шахт Западного Донбасса является повышение темпов проведения выемочных выработок и обеспечение их эксплуатационного состояния в сложных горно-геологических условиях залегания угольных пластов.

При погоризонтной подготовке запасов угля и интенсивной разработке тонких пологих пластов длинными столбами по падению (восстанию) протяженность подземных магистралей достигает 6 – 7 км. В условиях высокой обводненности и интенсивного пучения пород почвы наиболее трудоемкими процессами технологии комбайнового проведения протяженных выемочных выработок являются вывоз породы из подготовительных забоев и своевременная подача порожних вагонов в забой.

При проведении наклонных выработок длиной до 1200 м трудновыполнимая задача решается путем применения напочвенных канатных дорог типа ДКН-3, ДКНЛ и ДКНУ. Однако при проведении протяженных (более 1500 м) выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов, традиционно применяемые в регионе технологические схемы с применением напочвенных канатных дорог (ДКН), эксплуатируются за пределами области их эффективного применения.

Результаты исследований режимов работы ДКН показали, что эффективность их работы определяется эксплуатационным состоянием выемочных выработок, знакопеременным профилем пути и надежностью транспортно-технологической системы (ТТС) в условиях высокой обводненности и интенсивного пучения пород почвы. По причине транспорта на шахтах региона ежемесячно теряется подвигание подготовительного забоя до 0,53 м.

На ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» внедряется напочвенная канатная дорога тяжелого типа ДКНП-1,6 длиной 3360 м с общей кривизной трассы более 360°. Эффективность ее работы ограничена

надежностью тягового органа (каната) и линейных элементов (блоков, шкивов, роликов), а также низкими показателями работы системы управления транспортно-технологическими процессами (ТТП) и операциями по перемещению грузов. Затраты на замену поврежденных узлов и ремонтно-восстановительные работы достигают 300 тыс. грн в год.

В зарубежной практике создания горно-шахтного оборудования (ГШО) основным мероприятием в части улучшения технико-экономических показателей работы схем вспомогательного транспорта является их техническое перевооружение с применением средств автоматизированного управления технологическими процессами.

Приведенные выше факты обусловили необходимость проведения специальных исследований по совершенствованию действующей системы оперативного управления режимами работы ДКН в реальных условиях комбайнового проведения выемочных выработок и разработки исходных требований на создание методов оперативного контроля ТТП в сложных условиях эксплуатации.

Предпосылками для совершенствования системы управления режимами работы ДКНП-1,6 является необходимость получения оперативной информации о состоянии участковых транспортных выработок, эксплуатируемых в условиях интенсивного влияния тектонических нарушений.

Научная задача состоит в установлении зависимостей технологических параметров комбайнового проведения наклонных протяженных выемочных выработок от сложности трасы транспортно-технологической системы с учетом эксплуатационных параметров ДКН, что является актуальной научно-прикладной задачей для горнодобывающей промышленности.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планом исследований, проводимых в Государственном высшем учебном заведении «НГУ» в рамках договора № ДР 0105U007350 «Обґрунтування параметрів енергозберігаючих технологічних схем підземного транспорту в умовах відпрацювання сумісних

запасів шахт «Павлоградська» і «Тернівська» ВАТ «Павлоградвугілля» від 02.01.2006 р., а також являється составной частью госбюджетных научно-исследовательских работ ГП-410 «Геомеханічне обґрунтування підземної технології інтенсивного видобутку вугілля з урахуванням особливості геологічного середовища» (№ ДР 0108U000541), ГП-440 «Фізико-технічні основи енергозберігаючої технології підземної розробки тонких і вельми тонких вугільних пластів» (№ ДР 0111U002810) та ГП-458 «Дослідження наявності та властивостей прямих і «прихованих» залежностей між параметрами технологічних процесів гірничого виробництва та визначення перспективних методів моделювання мехатронних гірничих систем» (№ ДР 0113U000402).

Цель и задачи исследования. Цель работы заключается в обосновании технологических параметров проведения наклонных протяженных выемочных выработок с учетом зависимостей изменения эксплуатационных показателей напочвенных канатных дорог при смене направления вектора трассы и объемов транспортируемой породы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задания:

1. Выполнение анализа управления транспортно-технологическими процессами со сложной трассой откатки породы напочвенными канатными дорогами в условиях шахт Западного Донбасса.

2. Определение влияния профиля откатки породы из подготовительных забоев по выработкам с интенсивно пучащей почвой на производительность работы напочвенных канатных дорог.

3. Выполнение формализации функций управления эксплуатационными параметрами напочвенных канатных дорог при проведении выемочных выработок в условиях неопределенности изменения профиля откатки.

4. Обоснование параметров технологических схем проведения выработок путем функционального диагностирования процесса выгрузки породы из шахтных вагонов и автоматизации транспортно-технологических процессов.

5. Определение экономической эффективности структуры оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами с применением программно-технических комплексов напочвенных канатных дорог.

Идея работы заключается в установлении закономерностей взаимодействия технологических процессов проведения выемочных выработок со сложной трассой откатки породы напочвенными канатными дорогами для совершенствования горно-подготовительных работ в условиях неопределенности.

Объект исследования – процессы проведения выемочных выработок с изменением профиля транспортирования и характеристик напочвенных канатных дорог при обслуживании подготовительных забоев.

Предметом исследования являются технологические параметры взаимодействия элементов транспортно-технологической системы откатки породы из подготовительных забоев наклонных выемочных выработок с интенсивным пучением пород почвы.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использовался комплексный метод исследования, включающий анализ и обобщение литературных источников, статистическую обработку данных, аналитические и экспериментальные исследования параметров технологических процессов, имитационное моделирование, а также стендовые и шахтные испытания предложенных технических решений.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы достигнута корректной постановкой задач на каждом этапе работы; использованием апробированных методов решения дифференциальных уравнений, описывающих взаимодействие элементов динамической системы; проведением статистических и хронометражных исследований с использованием стандартной аппаратуры; расходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований 15 %.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Технологические параметры проведения выемочных выработок зависят от профиля трассы транспортирования грузов и угловых отклонений вектора направленности движения, снижаясь по экспоненциальной зависимости при положительных значениях и по логарифмической зависимости при отрицательных значениях от увеличения длины участка поднятия почвы в подготовительных выработках, пройденных по падению (восстанию) угольного пласта. Это позволяет прогнозировать готовность транспортно-технологической системы к выполнению горнопроходческих работ, оснащенных напочвенными канатными дорогами.

2. При проведении выемочных выработок со сложной гипсометрией угольных пластов и пучащими породами почвы угол отклонения вектора транспортирования груза изменяет усилие на шкиве трения привода ДКН по линейной зависимости. Это позволяет координировать характеристики привода ДКН и параметров подвижного состава посредством разработанной модели оперативно-производственного управления процессами перемещения грузов.

Научная новизна полученных результатов.

1. Впервые установлено, что положительные угловые отклонения трассы по направлению вектора движения груза снижаются по экспоненциальной зависимости при увеличении длины участка поднятия почвы в подготовительных выработках, пройденных по падению (восстанию) угольного пласта.

2. Впервые установлено, что отрицательные угловые отклонения трассы по направлению вектора движения груза снижаются по логарифмической зависимости при увеличении длины участка поднятия почвы подготовительных выработок, пройденных по падению (восстанию) угольного пласта.

3. Впервые установлено, что усилие на шкиве трения привода ДКН изменяется по линейной зависимости от угла отклонения вектора транспортирования груза по подготовительным выработкам с пучащей почвой и сложной гипсометрией пласта.

4. Впервые разработана модель оперативно-производственного управления процессами перемещения породы напочвенными канатными дорогами с координацией характеристик привода и параметров подвижного состава при проведении выемочных выработок в нетипичных условиях шахтной среды.

5. Впервые установлена экспоненциальная зависимость снижения коэффициента использования полезного объема шахтного вагона от толщины налипающего слоя горной массы влажностью 50 – 80 % и липкостью до 75 г/см² при проведении выемочных выработок по падению (восстанию) угольного пласта в слабых осадочных породах.

6. Впервые предложена классификация типичных, нетипичных и экстремальных условий эксплуатации ДКН, в диапазоне которых должны эффективно работать функциональные модули автоматизированной системы оперативно-производственного управления процессами вывоза шахтной породы из подготовительных забоев.

Научное значение работы заключается в установлении зависимостей технологических параметров проведения выемочных выработок от вектора трассы транспортирования грузов, определяющих эффективность использования характеристик напочвенных канатных дорог и готовность транспортно-технологической системы к выполнению горнопроходческих работ.

Практическое значение полученных результатов состоит в разработке:

– программы и методики шахтных исследований режимов работы напочвенных канатных дорог при транспортировании грузов в сложных горнотехнических условиях;

– алгоритма расчета рациональной скорости движения составов в протяженных выемочных выработках, искривленных в профиле и плане;

– программно-технического комплекса диагностирования процесса выгрузки породы, остающейся в кузове вагонетки после выполнения очередного цикла горно-подготовительных работ;

– исходных требований на создание и внедрение технологии комбайнового проведения выемочных выработок с автоматизированным управлением процессами транспортировки шахтной породы напочвенными канатными дорогами.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Разработанные «Программа и методика шахтных исследований режимов работы ДКН при транспортировании грузов в сложных горнотехнических условиях» вошли в «Исходные требования на создание и внедрение технологии комбайнового проведения выемочных выработок с автоматизированным управлением процессами транспортировки шахтной породы напочвенными канатными дорогами» где ожидаемый экономический эффект составляет $\Delta_{\text{ож}} \approx 356$ тыс. грн на выемочную выработку.

Личный вклад соискателя состоит в определении цели и идеи работы, формулировке заданий исследования и научных положений, выборе методов исследования, проведении математического моделирования и экспериментальных исследований, обработке, анализе и обобщении полученных результатов, разработке методических рекомендации по выбору рациональных параметров организации транспортно-технологических процессов при проведении выемочных выработок с использованием ДКН. Установлены пределы типичных, нетипичных и экстремальных условий эксплуатации ДКН, в диапазоне которых должны эффективно работать функциональные модули автоматизированной системы оперативно-производственного управления (ОПУ) процессами вывоза шахтной породы из подготовительных забоев.

Апробация результатов диссертации. Основные положения работы в целом и ее отдельные части рассматривались на международных научно-практических конференциях: International conference on fine geological exploration and groundwater & gas hazards control in coal mines (г. Ксиань, Китай, 2011); Underground Mining School (г. Краков, Польша, 2011); “Современные проблемы транспорта в горном производстве” (г. Днепропетровск, 2012);

“Проблемы горного дела и экологии горного производства” (г. Антрацит, 2012); “Проблеми використання інформаційних технологій в освіті, науці та промисловості” (г. Днепропетровск, 2012); «Проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2012); Krakowska konferencja młodych uczonych (г. Краков, Польша, 2013); «Школа подземной разработки» (г. Бердянск, 2014).

Работа докладывалась на заседании технического совета ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», а также на научных семинарах Государственного ВУЗ «Национальный горный университет».

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 13 научных трудах, в том числе 6 – в специализированных изданиях перечня МОН Украины, из них 2 – в зарубежных изданиях, 6 – в материалах конференций, 1 – в коллективном учебном пособии.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Состояние процессов проведения выемочных выработок в условиях шахт Западного Донбасса

Характерной особенностью современного состояния шахт Западного Донбасса является разработка пологих угольных пластов у границ шахтных полей, под поймами реки Самара и ее притоков, а также в зонах тектонических и мелкоамплитудных нарушений. Углевмещающие породы, как правило, обводнены и характеризуются низкими деформационными показателями. В подобных условиях разработки угольных пластов подготовка запасов угля к очистной выемке осуществляется разветвленной сетью горных выработок с различными эксплуатационными показателями.

В условиях интенсификации очистных работ важнейшим условием высокоэффективной и безопасной работы шахт региона является повышение темпов проведения выемочных выработок и обеспечение их эксплуатационного состояния. Однако при погоризонтной подготовке пластов у границ шахтных полей расстояние транспортирования грузов от подготовительных забоев до околоствольного двора увеличилось до 6,0 – 7,0 км. В этой связи традиционные схемы откатки породы из подготовительных забоев с применением рельсовых видов транспорта оказались малоэффективными. Возросшая протяженность и многоступенчатость породных маршрутов с наличием наклонных и криволинейных участков потребовали изменения существующих подходов к прогнозированию возможных режимов работы вспомогательного транспорта, обслуживающих подготовительные забои.

На рис. 1.1 приведен ситуационный план расположения оставшихся запасов угля по пластам шахт Павлоградского региона и реальные схемы маршрутов движения грузопотоков породы из подготовительных забоев. Разрабатываемые и планируемые к разработке запасы угля по пластам c_1 , c_4 , c_6 ,

C_8, C_9, C_{10} преимущественно сосредоточены в зонах тектонических нарушений с характерными для региона крупными и мелкими сбросами. Гидрогеологические условия месторождения относятся к сложным.

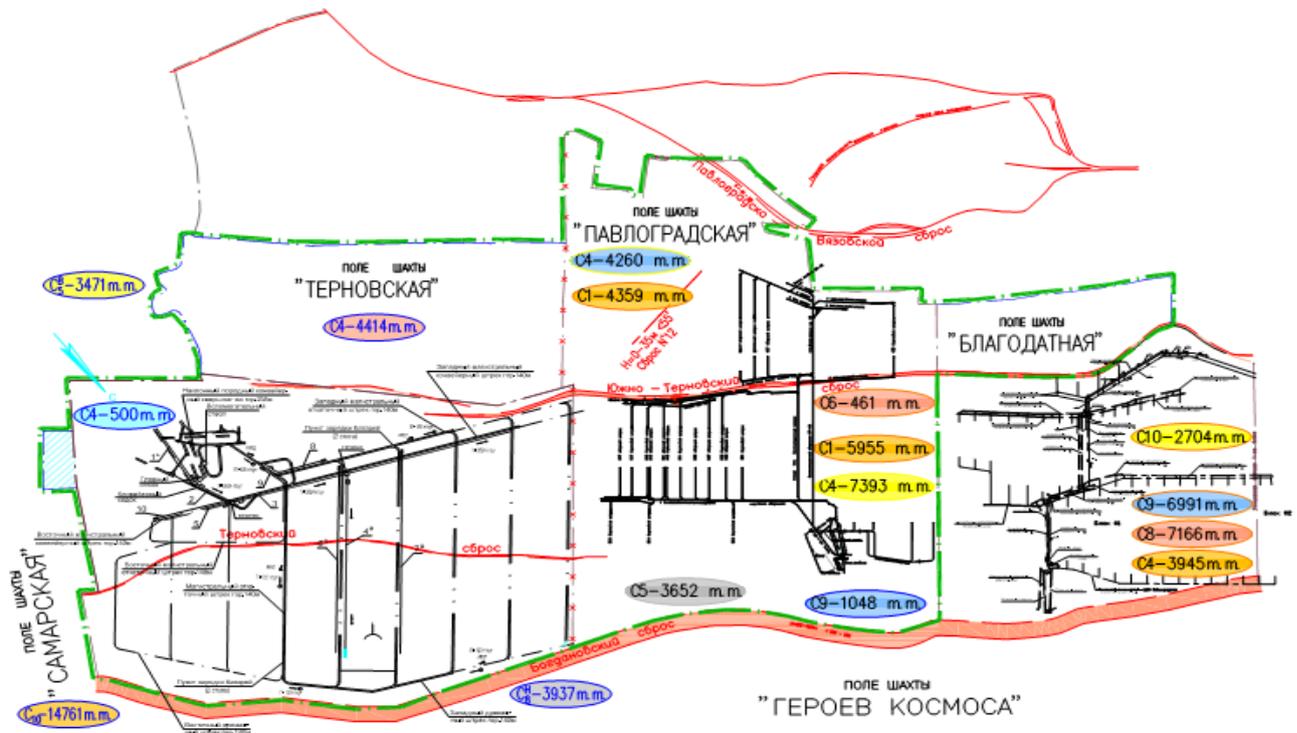


Рисунок 1.1 – Ситуационный план движения грузопотоков породы из подготовительных забоев шахт Павлоградского региона

При погоризонтной подготовке запасов угля к очистной выемке и разработке пластов длинными столбами по падению (восстанию) увеличивается объем проведения протяженных наклонных выемочных выработок. В условиях интенсивного пучения пород почвы и обильных водопритокков в выработках с рельсовым транспортом образуется знакопеременный профиль пути. В этой связи локомотивная и концевая откатки породы и доставка вспомогательных материалов в протяженных выработках, искривленных в профиле и плане становится малоэффективной, а в большинстве случаев и невозможной [1]. Единственным транспортным средством, частично обеспечивающим работу подготовительных забоев являются напочвенные канатные дороги.

Анализ режимов работы технологических схем вспомогательного транспорта, обслуживающих подготовительные забои шахт ПАО «ДТЭК

Павлоградуголь» [2], позволил установить тяжелые условия взаимодействия тягового органа ДКН с линейными элементами (блоками, шкивами, роликами). Как следствие повреждение каната, роликов и существенные затраты (до 300 тыс. грн в год) на их замену, а также небезопасные условия обслуживания и эксплуатации напочвенных дорог.

Шахтными исследованиями пропускной способности транспортных выработок с ДКН установлено, что подготовительные забои, оснащенные энергоемкими проходческими комбайнами, значительное время простаивают из-за низкой оборачиваемости вагонеток и несовершенства схем управления движением составов в искривленных выработках со знакопеременным профилем пути.

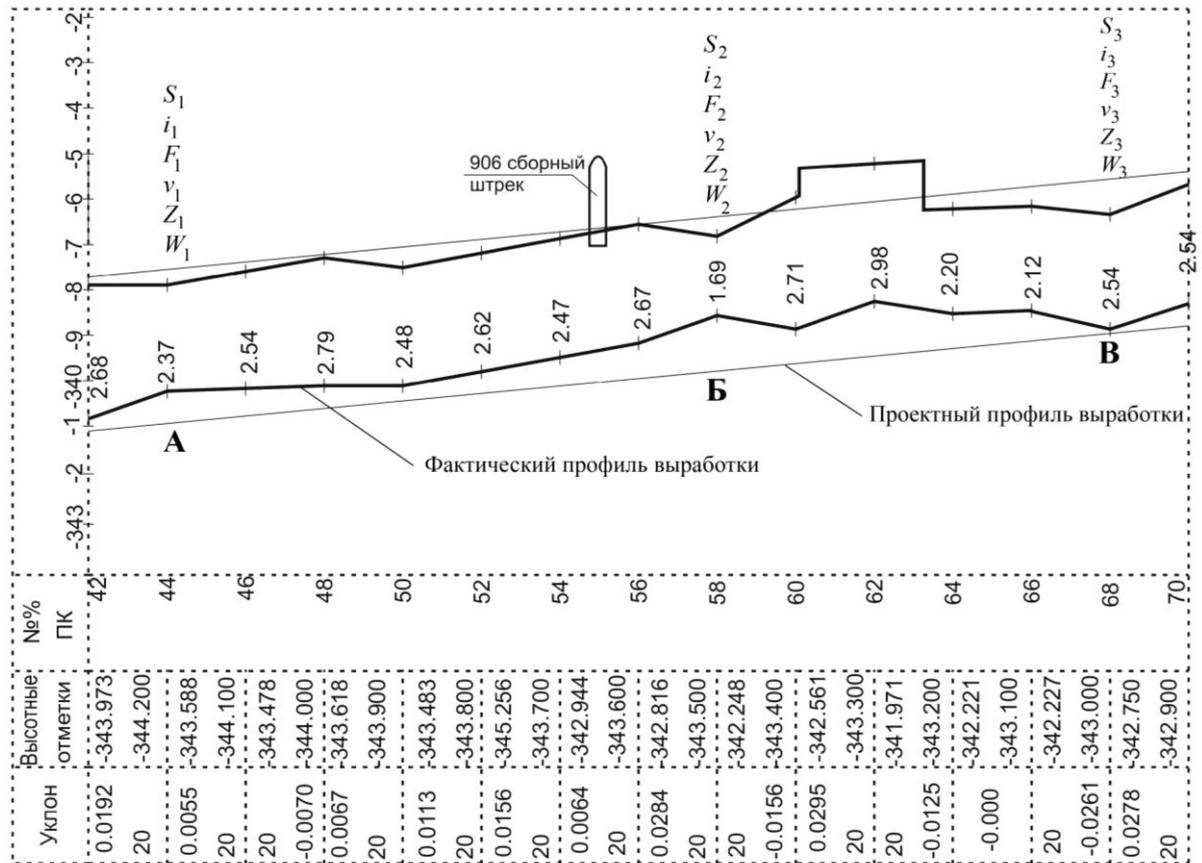
На рис. 1.2 приведены результаты маркшейдерской съемки изменений профиля и сечения конвейерного ходка ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь», проводимого по пласту со сложной гипсометрией и обводненным породам.

Для характерных участков проводимой выработки (А, Б, В) были исследованы качественные и количественные характеристики, определяющие ее эксплуатационную надежность и пропускную способность. В качестве основных показателей пропускной способности выемочных выработок были приняты: сечение выработки; уклон пути; сила тяги; скорость движения состава; масса состава и коэффициент сопротивления движению.

Установлено, что в условиях интенсивного пучения пород почвы (позиции А и Б) и обильных водопритоков (позиция В) существенно снижается пропускная способность пластовых участков подготовительных выработок и темпы их проведения.

Проведенный анализ календарных планов подготовки запасов угля позволил сделать вывод. В условиях интенсификации горных работ эксплуатационные параметры основных технологических процессов (ТП) проведения выработок (разрушение массива горных пород, удаление продуктов разрушения за пределы проводимой выработки и крепление выработки)

должны постоянно координироваться во времени и пространстве с учетом ожидаемых проявлений геомеханических процессов [3, 4].



S – сечение выработки, m^2 ; i – уклон пути, ‰; F – сила тяги, кН; v – скорость движения состава, м/с; Z – масса состава, т; W – коэффициент сопротивления движению

Рисунок 1.2 – Характерные участки профиля и сечений выемочного ходка ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» и показатели их пропускной способности

Следует отметить, что координацией грузопотоков в подземных горных выработках занимается система оперативно-производственного управления шахтой – диспетчерская служба, служба техники безопасности и др. [5]. Однако самым узким звеном в системе управления шахтой до настоящего времени остается подсистема участкового вспомогательного транспорта [6].

При проведении выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов рельсовый транспорт шахт региона характеризуется рядом специфических особенностей [7, 8]. При разработке угольных пластов у границ шахтных полей все грузы, обеспечивающие функционирование подготовительных забоев, перемещаются по подземным выработкам, имеющим при большой длине ограниченные поперечные сечения и сложный продольный профиль (рис. 1.2). Тяжелые условия работы транспортных средств, обслуживающих горно-подготовительные работы, усложняются интенсивным пучением пород почвы и наличием в подземных выработках воды.

Указанные особенности обуславливают специальные требования к подземным транспортным устройствам, которые должны иметь высокую производительность и быть надежными в эксплуатации, так как простои и отказы транспортных средств, в большинстве случаев приводят к вынужденной остановке работ по проведению подготовительных выработок [4, 7].

С учетом вышеизложенного, для повышения темпов проведения протяженных выемочных выработок рекомендовано создать энергосберегающую модель оперативно-производственного управления грузопотоками породы, позволяющую дистанционно, в автоматизированном режиме координировать реальные производственные ситуации.

1.2 Анализ и типизация технологических схем транспортирования шахтной породы при проведении выемочных выработок

В условиях шахт Западного Донбасса горно-подготовительные работы должны удовлетворять целому ряду требований, связанных с особенностями технологии, техники и организации проведения подготовительных выработок с интенсивным пучением пород почвы.

По этой причине при комбайновом проведении выемочных выработок ограничились возможности применяемых схем транспорта с локомотивной

откаткой породы. Значительно снизилась пропускная способность выработок со знакопеременным профилем пути.

Попытки применения для вывоза угля и породы энергоемких стационарных конвейеров оказались малоэффективными ввиду большой их производительности, не рассчитанной на транспортирование грузопотоков угля и породы, порционно поступающих из подготовительных забоев. Более того, конвейеризация горно-подготовительных работ, технологически увязанная с общей конвейеризацией шахт, затруднила отдельную выемку угля и породы из подготовительных забоев.

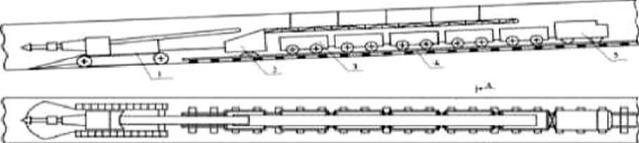
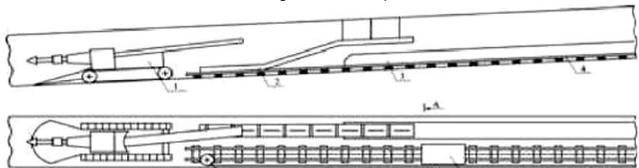
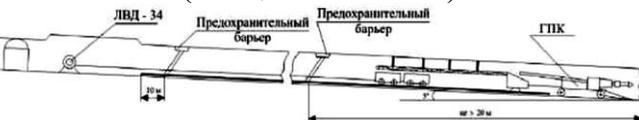
Интенсификация очистных работ на шахтах региона, потребовала повышения темпов проведения горных выработок за счет совершенствования системы оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами. Темпы проведения подготовительных выработок выражаются количеством циклов. В этой связи такие основные производственные операции процесса проведения горной выработки, как разрушение забоя комбайном, погрузка горной массы в транспортные средства и собственно транспортирование ее по горным выработкам подлежат планированию, управлению и контролю [4].

Для эффективного планирования и управления горнопроходческими работами необходимо располагать исходной и текущей информацией о трассе при движении составов по участковым выработкам, а также на пунктах выгрузки породы из вагонов.

С целью оперативного формирования исходной информации об особенностях эксплуатации горнопроходческого оборудования при проведении выемочных выработок на шахтах Западного Донбасса в табл. 1.1 приведена типизация технологических схем по применяемым видам транспорта.

Приведенные в табл. 1.1 технологические схемы и базовые комплекты горнопроходческого и транспортного оборудования формировались с учетом рекомендаций отраслевых нормативных документов [4 – 7].

Таблица 1.1 – Типизация технологических схем комбайнового проведения выработок по видам транспортного оборудования

Комплекс оборудования для проведения выработок Транспортно-технологическая схема	Тип крепи Сечение, м ²	Область применения					Достоинства	Недостатки
		Длина, м	Уклон пути, ‰	Радиус кривой, м	Обводненность, м ³ /ч	Кол-во забоев, %		
ГПКС – ППЛ-1 – ВГ3,3 – АМ8Д (локомотивная откатка) 	АП– 9,2 8,5	2000	0,050	20	Рельсы мокрые	31 35,3%	Нет ограничения по длине транспортирования	Малые углы транспортирования
4ПП2 – ППЛ-1 – ВД2,5 – СП-63 – ДКНУ (откатка напочвенными канатными дорогами) 	КШПУ- 11,1 11,0	1050	0,075	20	Интенсивный капеж	36 40,9%	Нет ограничений при больших диапазонах знакопеременного профиля	Малая грузоподъемность состава при больших углах транспортирования
ГПКС – ППЛ-1 – ВГ3,3 – ЛВД-34 (концевая откатка) 	КШПУ- 9,5 9,2	765	0,045	20	Капеж	21 23,9 %	Большая грузоподъемность при больших углах транспортирования	Затрудненная транспортировка по горизонтальным выработкам

Установлено, что при проведении протяженных (≥ 2000 м) пластовых выработок с раздельной выемкой угля и породы на шахтах ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» работают 31 забой с локомотивной откаткой породы (35,2 %), 21 забой с одноконцевой откаткой лебедками ЛВ-25 (23,9 %) и 36 забоев с применением ДКН (40,9 %).

Необходимо отметить, что в условиях интенсивного пучения пород почвы и обильных водопритокров в выработках с рельсовым транспортом образуется знакопеременный профиль пути. В этой связи локомотивная откатка породы и доставка грузов в выработках со знакопеременным профилем пути становится малоэффективной, а одноконцевая откатка практически невозможной [8]. Установлено, что 15 – 36 % случаев остановки подготовительных забоев вызваны следствием нестабильной работы системы внутришахтного транспорта (ВШТ). Более того для погрузки горной массы в транспортные средства и перемещения грузов в призабойном пространстве затрачивается до 30 – 40 % общей продолжительности проходческого цикла.

По данным работы [9] среднесменные темпы комбайнового проведения подготовительных забоях ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» составили 1,6 п.м., потери времени при этом были 130,4 мин/смену.

При циклическом транспорте наиболее продолжительные перерывы в работе проходческих комбайнов связаны с ожиданием подачи порожних вагонов под погрузку горной массы, а также недостаточной вместимостью составов, подаваемых для погрузки породы, извлекаемой при последующих циклах выемки. Установлено, что по этой причине чаще всего происходит нарушение графика выполнения горнопроходческих работ очередного цикла.

С учетом вышеизложенного рекомендовано ориентироваться на применение ДКН нового поколения (рис. 1.3), используемых в качестве единого транспортного средства для доставки в забои вспомогательных материалов и оборудования, а также вывоза из забоев угля и породы.

В настоящее время на ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» эксплуатируется напочвенная канатная дорога ДКНП-1,6

нового поколения, оборудованная средствами локальной автоматизации процессами перемещения грузов [10, 11].

Дорога ДКНП-1,6 предусматривает работу в выработках со сложной гипсометрией и знакопеременным профилем пути. В качестве привода используется маневровая лебедка ЛШВ2 со шкивом трения.

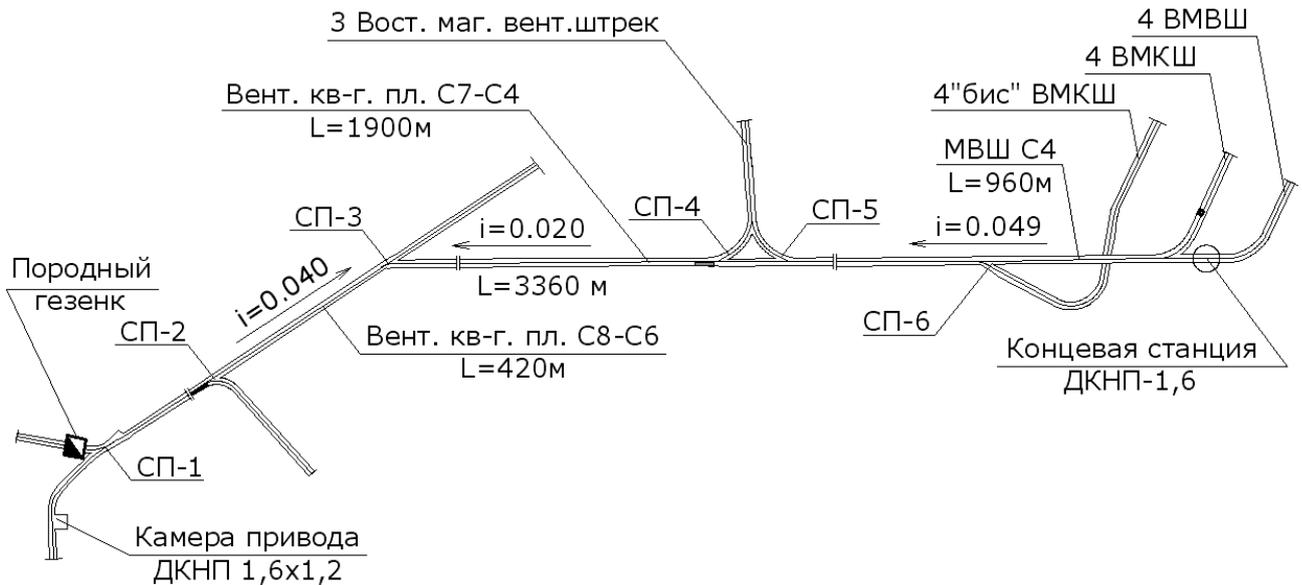


Рисунок 1.3 – Транспортно-технологическая схема проведения выемочных выработок с применением напочвенной канатной дороги типа ДКНП-1,6

Управление процессами перемещения составов осуществляется дистанционно оператором дороги с пульта приводной станции и местно – машинистом с линии движения по кодовым (звуковым) сигналам [12].

Шахтными исследованиями пропускной способности транспортных выработок с напочвенными канатными дорогами [12, 13] установлено, что подготовительные забои, оснащенные энергоемкими проходческими комбайнами, значительно простаивают из-за низкой оборачиваемости вагонов и несовершенства действующих схем управления процессами перемещения составов в подземных выработках сложной конфигурации.

Для обоснования параметров и структуры оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами комбайнового проведения

выемочных выработок с изменчивой гипсометрией пластов потребовалось:

– определить уровень технологичности эксплуатируемых схем вспомогательного транспорта при проведении непрямолинейных выемочных выработок со знакопеременным профилем пути;

– оценить производственные ситуации при работе напочвенных канатных дорог в типичных, нетипичных и экстремальных условиях эксплуатации;

– установить диапазоны эффективного действия системы оперативного управления процессами проведения выработок и параметрами ДКН.

1.3 Оценка методов оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами угольных шахт

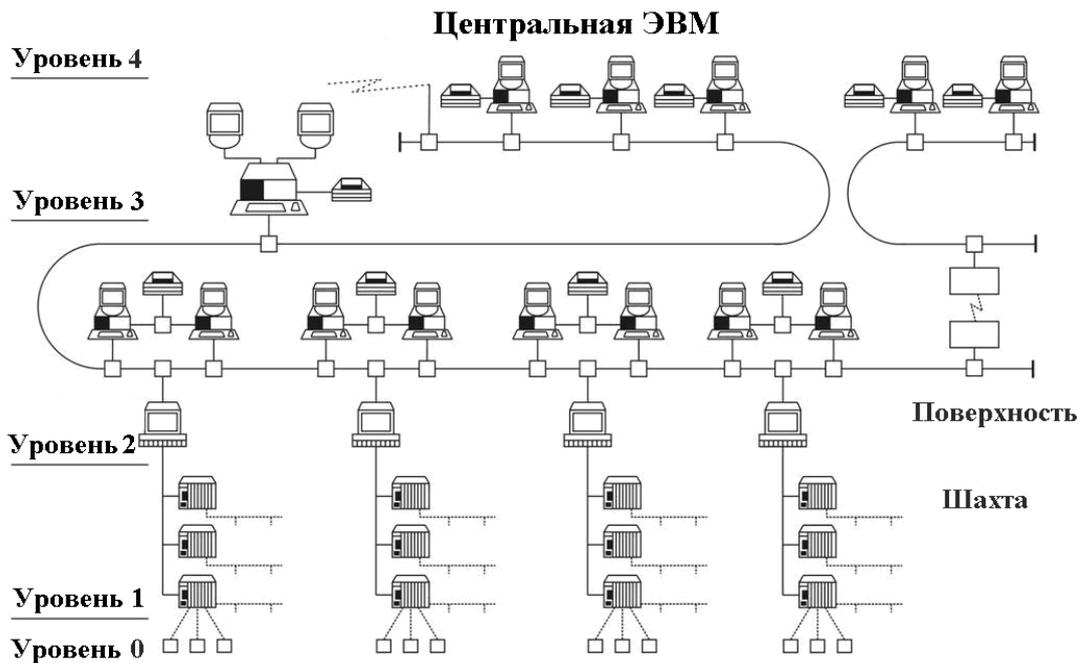
Динамичность и непрерывное воспроизводство подготовительных и очистных забоев, постоянно перемещающихся в пространстве, требуют оперативного прогнозирования их эксплуатационного состояния. Вспомогательный транспорт шахт Западного Донбасса характеризуется специфичными операциями. К ним относятся: погрузка и разгрузка шахтных вагонов; канатные откаты груженых вагонов по наклонным выработкам; формирование и обмен груженых составов на порожние; откатка груженых составов аккумуляторными электровозами по горизонтальным выработкам; доставка материалов, оборудования и людей в проходческие забои и др.

Для управления технологическими процессами внутришахтного транспорта используется большой объем разнообразных средств автоматизации, диагностирования и диспетчерского контроля. Основными задачами систем управления рельсовым транспортом при проведении выемочных выработок являются: повышение пропускной способности внутришахтного транспорта и обеспечение безопасности и безаварийности при эксплуатации средств транспорта.

Важнейшим условием совершенствования действующих систем оперативно-производственного управления грузопотоками шахтной породы

является создание автоматизированных систем сбора, обработки и представления информации о ходе производственных процессов с применением методов и средств технической кибернетики [6, 14, 15].

Структура, принцип действия и обработки информации, поступающей на пункт системы оперативно-производственного управления шахтными грузопотоками, приведены на рис. 1.4.



Уровни: 0 – рабочие места; 1 – местные станции; 2 – участковые диспетчерские; 3 – центральная диспетчерская; 4 – центральная ЭВМ.

Рисунок 1.4 – Структура информационного обеспечения горного предприятия

Приведенная система в техническом отношении требует использования средств съема и формирования информации (датчиков), системы телемеханики большой емкости для передачи необходимого объема информации, а также современных средств переработки и представления информации о событиях, происходящих в подземных выработках при выполнении транспортно-технологических процессов.

В условиях шахт Западного Донбасса отсутствуют средства контроля эксплуатационного состояния проводимых выработок, что послужило основанием для исследований существующего опыта передачи информации по контактной сети, по высокочастотному каналу, радиоканалу, а также с использованием рельсовых путей в качестве телемеханического канала.

Например, в системе внутришахтного транспорта для дистанционного управления аккумуляторными электровозами используется система СТАРТ-1, с помощью которой обеспечивается двусторонний обмен информацией между электровозными и путевыми приемопередатчиками. Система СТАРТ-1 обеспечивает: дистанционное управление электровозом на погрузочном пункте, при котором машинист выполняет функции оператора погрузки; автоматическое управление движением поездов без машинистов в магистральных выработках и дистанционное – в местах погрузки.

Для управления стрелочными переводами в шахтных условиях используют электромеханические, электромагнитные (соленоидные), гидравлические и пневматические приводы. Наиболее широкое применение получил привод моторный стрелочный ПМС-4.

Комплекс НЭРПА-1 [16] предназначен для управления стрелочным переводом из кабины машиниста движущегося электровоза.

Канатные откаты применяют на шахтах при проведении выемочных выработок с углом наклона $\alpha > 6^\circ$, при котором обратное движение вагонеток происходит под действием собственного веса [17, 18]. Наклонные выемочные выработки чаще всего проходят по пласту угля, поэтому профиль пути имеет переменный угол. Нагрузка на двигатель лебедки изменяется в широких пределах и зависит от профиля пути и степени загрузки вагонеток.

Управление лебедкой выполняет оператор с верхней приемной площадки с учетом кодовых звуковых сигналов, подаваемых с нижних горизонтов. Обеспечение малой скорости движения составов в криволинейных выработках со знакопеременным профилем пути выполняется интуитивно, путем механического подтормаживания. В этой связи одноконцевые канатные

откатки являются источником повышенной опасности и рекомендованы для применения в прямолинейных выработках со спокойной гипсометрией почвы.

Для транспортирования оборудования и людей по участковым безрельсовым и конвейеризованным выработкам с углами наклона разного знака до $25 - 35^\circ$, рекомендуется применять подвесные монорельсовые дизельные и канатные дороги [10]. Для управления подвесными дорогами используется аппаратура УМД, которая обеспечивает аварийную остановку из любой точки вдоль трассы движения, защитные отключения привода дороги при уменьшении или увеличении скорости более чем на 25 % номинальной, а также при обрыве или коротком замыкании линии управления.

По результатам анализа работы транспортных средств периодического действия установлено, что применяемые до настоящего времени технические решения в области автоматизированного управления процессами транспортирования грузов не учитывали современные условия их эксплуатации.

В этой связи для формализации функций оперативного управления производственными процессами приняты следующие автоматизированные системы управления (АСУ) [19]:

а) локальные централизованные автоматизированные системы управления отдельными технологическими процессами, объектом управления которых является комплекс «процесс – диспетчерский пункт»;

б) автоматизированные системы диспетчерского управления для группы взаимозависимых процессов или предприятия в целом.

С учетом рекомендаций [19], приведенные способы управления техническими системами и технологическими процессами приняты в качестве исходной базы при формализации функций и структуры действующей системы автоматизированного управления параметрами ДКН для адаптации ее к процессам проведения выемочных выработок.

При использовании ДКН в качестве единого транспортного средства структура автоматизированного управления транспортно-технологическими

процессами проведения протяженных выемочных выработок с изменчивой гипсометрией пласта должна обеспечивать:

- а) централизованный контроль параметров безопасности;
- б) централизованный контроль всех технологических процессов, выполняемых при перемещении породы от подготовительного забоя до места выгрузки породы из вагонов. Назначение системы контроля – предотвращение возможности отклонения от нормального хода технологических процессов и простоев горнопроходческого оборудования в забое по вине транспорта;
- в) автоматизированное управление технологическими процессами и комплексом транспортно оборудования с пункта оператора ДКН.

В соответствии с этими требованиями техническое обеспечение ОПУ грузопотоками породы из подготовительных забоев и параметрами ДКН должно состоять из трех частей:

- к первой части относится аппаратура сбора информации и устройств управления, располагаемых непосредственно в объекте управления;
- вторая часть подана аппаратурой принятия, обработки и реализации информации, расположенной в пункте управления оператора ДКН;
- третьей частью технического обеспечения ОПУ ТП проведения участковых выработок с применением ДКН в качестве единого транспортного средства следует считать программно-вычислительный комплекс, обеспечивающий координацию всех потоков информации и принятие решений.

Средства отбора и получения данных предназначены для формирования информации в виде, удобном для передачи или введения ее непосредственно в вычислительный комплекс. При этом различают способы автоматического и ручного введения информации, а также средства ее превращения.

К автоматическим средствам следует отнести датчики положения и датчики состояния работы машин и механизмов, а также специализированные устройства съема информации АСУ ТП. Наиболее распространенные виды датчиков и устройств состояния работы горных машин и механизмов отражены в табл. 1.2 [10].

Таблица 1.2 – Датчики состояния, применяемые в угольной промышленности

Наименование	Назначение и отрасль применения
Датчик перемещения комбайна ДПК-1	Контроль величины перемещения комбайна и его направления
Импульсный датчик контроля положения механизмов ДПК1-3,5	Контроль положения больших подвижных объектов, которые имеют ферромагнитные свойства
Устройство УСВ-1 для учета шахтных вагонеток	Для счета шахтных вагонеток в околоствольных дворах и надшахтных зданиях
Электронно-гидравлические конвейерные весы ЕГВ	а) Автоматическое взвешивание материала, транспортируемого ленточными конвейерами; б) Выдача сигналов управления технологическим процессом
Реле контроля скорости РСА, РС-67	а) Контроль скорости движения ленты конвейера (с датчиком УНДС-2); б) Контроль движения и обрыва цепи конвейера (с датчиком ДМ-2)
Датчик контроля ДЗШ	Контроль полезного ископаемого в пунктах перегрузки из конвейера на конвейер для фиксации уровня материала в бункерах
Датчик контроля схождения ленты КСЛ-2	а) Контроль аварийного восхождения конвейерной ленты; б) Конечный выключатель
Аппаратура АБСС-1	Автоматическое управление сигнальными огнями и приводами стрелочных переводов рельсового транспорта
Аппаратура ЧУС-3	Для управления стрелочными переводами из кабины машиниста электровоза
Аппаратура контроля воздух АКВ-2	Контроль количества воздуха, поданного вентиляторами местного проветривания
Аппаратура защиты РУКС-4	Отключение контактной сети электровозной откатки в случае прикосновения человека к контактному проводу; при снижении сопротивления изоляции менее 300 Ом, а также при всех видах короткого замыкания

Приведенная в табл. 1.2 аппаратура апробирована в шахтных условиях и рекомендуется к использованию при расширении функций АСУ напочвенной канатной дороги ДКНП-1,6 для получения информации из рабочих мест.

1.4 Формирование общей методики и постановка заданий исследования

В практике современного проектирования систем оперативного управления ТТП угольных шахт используют банк исходных данных. Он включает: технологические схемы и планы горных выработок с расстановкой оборудования и характеристиками основных и вспомогательных грузопотоков; результаты хронометражных наблюдений и исследований производительной работы и простоев подготовительных забоев; расчетные коэффициенты машинного времени транспортного оборудования и др. [14 – 17].

По результатам анализа отечественного и зарубежного опыта создания энергосберегающих систем оперативного управления технологическими процессами шахт [18 – 20] и рекомендаций [21 – 23] было установлено, что исходными данными при проектировании автоматизированных схем откатки породы по протяженным криволинейным выработкам являются диапазоны показателей, в пределах которых эффективно работает система. А именно: производственная мощность шахты и ее категория по газу и пыли; режим работы подземного транспорта; начальная и максимальная длина трассы; минимально допустимое сечение откаточных выработок; план, профиль и колея рельсовых путей; количество породы, материалов и людей, перевозимых за смену; число и максимальная производительность погрузочных пунктов, расстояния до них при максимальном удалении горных работ; состояние рельсов (сухие, мокрые, степень их загрязнения); схема организации работы транспорта (однозвенная, двухзвенная, с закреплением или без закрепления составов за маршрутами и др.).

Руководствуясь принципами децентрализации [24] ОПУ грузопотоками породы из забоев подготовительных выработок до пункта ее разгрузки рассматривается как сложная система, синтезирующая информацию локальных подсистем, обеспечивающих, высокую пропускную способность и безопасные условия труда.

Целью работы является обоснование технологических параметров проведения наклонных протяженных выемочных выработок с учетом зависимостей изменения эксплуатационных показателей ДКН при смене направления вектора трассы и объемов транспортируемой породы.

Для достижения поставленной цели была разработана структурно-логическая схема (рис. 1.5) и программа решения сложной научно-технической задачи по обоснованию функций и структуры энергосберегающей транспортно-технологической системы комбайнового проведения выемочных выработок с программно-техническим комплексом оперативного управления процессами транспортирования грузов напочвенными канатными дорогами.

Структурно-логическая схема предусматривает поэтапные исследования параметров: адаптации ДКН при использовании их в качестве единого транспортного средства; откатки породы в протяженных выемочных выработках с интенсивным пучением пород почвы, а также функций и структуры АСУ ТП при комбайновом проведении выемочных выработок со сложной трассой транспортирования грузов.

Для решения научно-технического задания все процессы и операции, связанные с перемещением породы в шахтных вагонах от подготовительного забоя до пункта ее выгрузки, были объединены в единую транспортно-технологическую систему. Ее эффективность функционирования обосновывалось функцией и структурой АСУ ТП транспортирования породы в условиях неопределенности.

Используя современные методы создания технических систем, в качестве критериев адаптации структуры автоматизированного управления ДКН, были приняты результаты теоретических и экспериментальных исследований параметров взаимодействия элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» в реальных условиях шахтной среды.

В соответствие с программой комплексных исследований формулируется математическая постановка задачи и определяется система уравнений, описывающих изменение тяговых характеристик привода ДКН.

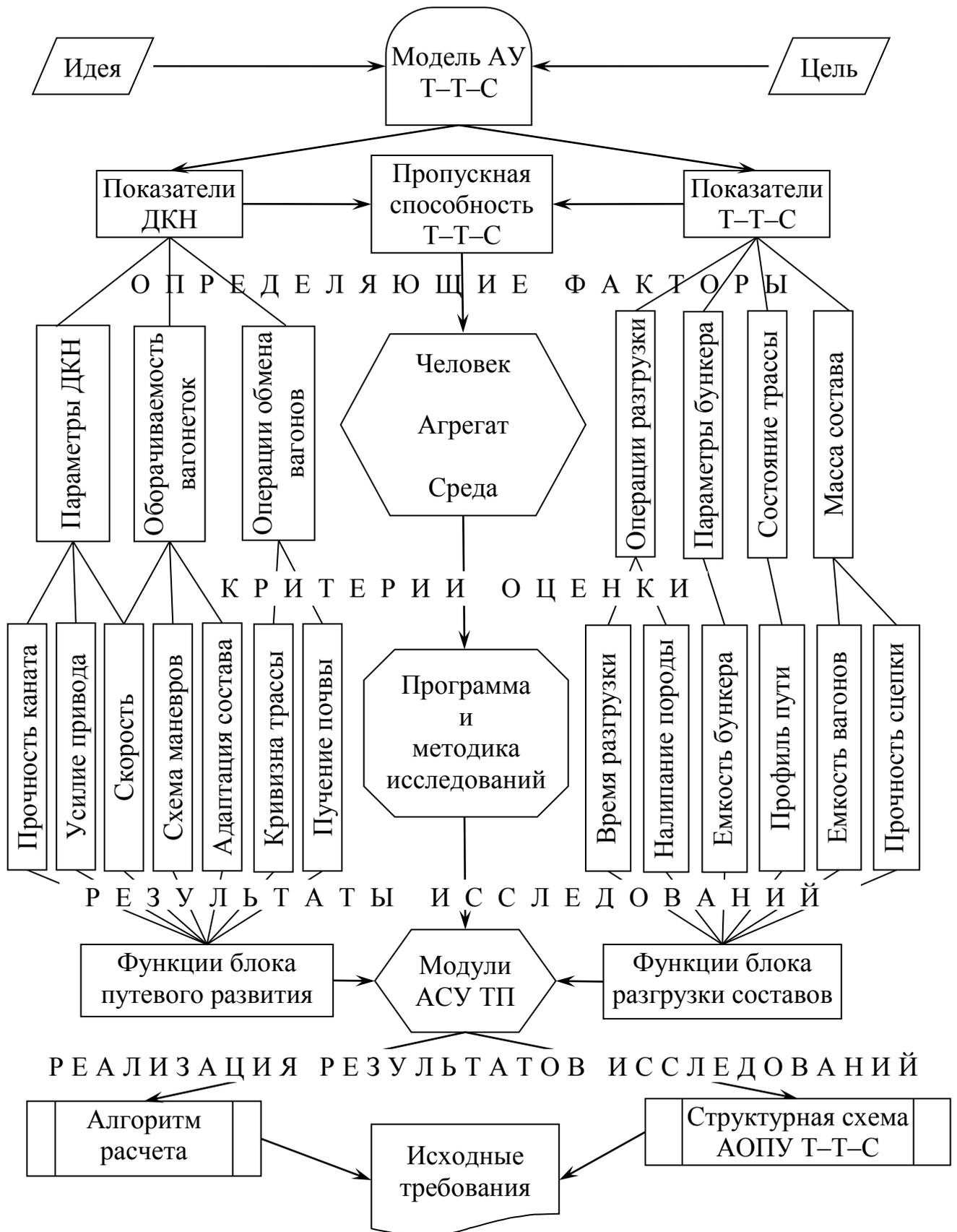


Рисунок 1.5 – Структурно-логическая схема исследования параметров управления транспортно-технологическими процессами при проведении выемочных выработок со сложной трассой

Функции автоматизированного управления режимами работы ДКН заключаются в координации ее эксплуатационных параметров при движении груженых составов в подземных выработках сложной конфигурации, выполнении процессов выгрузки породы из вагонов и доставки порожних составов в проходческий забой для выполнения следующего цикла работ.

Для формализации функций и структуры автоматизированного управления процессами перемещения породы в нетипичных условиях шахтной среды, горнотехнические факторы, определяющие пределы эффективной работы ДКН и транспортно-технологической системы в целом, классифицированы на две группы, характеризующие технические параметры ДКН и технологические параметры транспортно-технологической системы:

К техническим параметрам напочвенных канатных дорог нового поколения отнесены: эксплуатационная производительность, тяговое усилие, сцепной вес и скорость движения состава.

К технологическим параметрам транспортно-технологической системы отнесены параметры, определяющие пропускную способность транспортных выработок, организацию процессов взаимодействия погрузочно-разгрузочного и обменно-транспортного оборудования, схемы откатки породы по подземным горным выработкам, криволинейным в профиле и плане, а также процесс выгрузки породы из вагонов в бункер.

Технические параметры транспортного оборудования исследуются с целью оценки их адекватности условиям эксплуатации в типичных и нетипичных производственных ситуациях, а также влияние на техническую производительность ДКН коэффициента адаптации подвижного состава в реальных условиях шахтной среды.

Ожидаемым результатом исследований является установление рационального диапазона технических характеристик транспортного оборудования, в пределах которых адаптируются функции и структура автоматизированного управления ДКН при перемещении грузопотоков шахтной породы в условиях неопределенности.

Выводы по разделу

По результатам исследований эксплуатационных параметров средств вспомогательного транспорта, обслуживающих подготовительные забои и оценки методов автоматизированного управления процессами доставки грузов в шахте рельсовыми видами транспорта установлено, что причинами низких показателей работы традиционных схем перемещения породы являются:

- особенности ведения горных работ у границ шахтных полей;
- низкая адаптационная способность традиционных схем транспорта в условиях интенсивного пучения пород почвы и обильных притоков воды;
- несовершенство АСУ процессов перемещения породы в шахте.

В условиях интенсификации горных работ повысить пропускную способность участковых транспортных выработок можно путем применения ДКН нового поколения с АСУ процессами перемещения породы.

В результате изучения производственных ситуаций, сложившихся в подготовительных забоях, и современных тенденций совершенствования технологии комбайнового проведения подготовительных выработок установлено, что:

1. Традиционно применяемые технологические схемы комбайнового проведения выемочных выработок с откаткой горной массы рельсовыми видами транспорта базируются на применении морально устаревшего оборудования с низкой степенью автоматизации производственных процессов.

2. Основной причиной высокой энергоемкости традиционных схем перемещения породы рельсовыми видами транспорта являются низкая адаптационная способность средств ОПУ операциями обмена груженых составов на порожние и высокие энергозатраты на повторные перевозки породы.

3. Процессы перемещения породы в протяженных выработках с интенсивным пучением пород почвы необходимо рассматривать как ТТС «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы», работающую в условиях неопределенности.

РАЗДЕЛ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОФИЛЯ ОТКАТКИ ПОРОДЫ ИЗ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ЗАБОЕВ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАБОТЫ НАПОЧВЕННЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ

2.1 Оценка показателей оперативно-производственного управления процессами транспортирования грузов из подготовительных забоев

Оценка традиционно применяемых в регионе технологических схем проведения пластовых выработок показала, что уровень технической оснащенности их средствами призабойного и участкового транспорта значительно ниже, чем горнопроходческим оборудованием. Особый контраст в техническом оснащении подготовительных забоев проходческим и транспортным оборудованием проявляется при ведении работ в зонах влияния тектонических нарушений. Отмеченные факты усугубляются низким уровнем систем контроля и оперативно-производственного управления процессами транспортирования породы в протяженных криволинейных выработках.

При интенсификации горно-подготовительных работ успешное управление заключается в координации всех процессов и операций, обеспечивающих проведение выработок в сложных горно-геологических условиях. Последнее послужило поводом для выполнения исследований по установлению причин снижения эксплуатационных показателей проведения выработок по вине транспорта и выявлению потенциальных источников повышения структуры управления горно-подготовительными работами при проведении выработок у границ шахтных полей.

В этой связи основные производственные операции процесса проведения подземных горных выработок подлежат планированию и управлению.

Связующим звеном основных и вспомогательных процессов проведения выработок является участковый транспорт. С учетом этого составные части

производственных операций при комбайновом проведении выработок и функции оперативного управления ими рассматриваются нами как события или виды работ единого транспортно-технологического процесса.

Необходимо отметить, что горнотехнические условия работы шахт Западного Донбасса постоянно изменяются, образуя сложную систему внутришахтного транспорта. В этой связи темпы проведения выемочных выработок и планируемые величины грузопотоков породы, устанавливаются с учетом технической производительности применяемого горнопроходческого и транспортного оборудования [25 – 27].

С учетом динамики ведения подготовительных работ и изменения длины проводимых выработок интенсивность грузопотоков породы и пропускная способность транспортной установки должны постоянно корректироваться. В этой связи интенсивность перемещения внутришахтных грузопотоков породы по подземным горным выработкам определяется выражением

$$i_{o.b} = \frac{k U}{L_{o.b}},$$

где U – грузопоток породы и горной массы от подготовительных забоев в единицу времени, т;

k – коэффициент отношения объема породы от проведения выработок к объему добываемого угля;

$L_{o.b}$ – среднединамическая длина откаточных выработок.

На практике сменная номинальная пропускная способность транспортной установки определяется плановым заданием на смену (U_{cm}). Таким образом, сменная номинальная пропускная способность выработки $P_{cm.n} = U_{cm}$

Номинальная пропускная способность транспортной установки

$$P = \frac{m U_{cm}}{T}, \text{ т/смену};$$

где m – время рассматриваемого периода, ч; T – длительность смены, ч.

Среднесменный грузопоток породы от подготовительных забоев устанавливается в соответствии с сечением проводимой выработки в проходке (S) и планируемыми темпами ее проведения ($L_{п}$).

Одна из основных причин неравномерности работы подготовительных забоев – недостатки в организации и технологии процессов транспортирования. Согласно действующим нормам проектирования система управления шахтными грузопотоками должна предусматривать возможность максимального движения их с учетом льготных тарифов на потребляемую электроэнергию [28, 29].

Традиционным способом доставки породы, вспомогательных материалов и оборудования по выемочным выработкам, в зависимости от их расположения и горнотехнических условий разработки угольных пластов являются локомотивная или концевая канатная откатки, а также напочвенные канатные дороги. Целесообразность применения того или иного вида подземного транспорта определяется по результатам расчетов тяговых характеристик транспортных средств [7]. Однако при интенсификации горно-подготовительных работ процедура формирования схем участкового транспорта должна учитывать не только особенности видов транспорта и их характеристики, но и специфику управления процессами горного производства.

Например, одним из весомых факторов, сдерживающих повышение темпов проведения выемочных выработок, является операция по обмену груженых вагонов на порожние. По данным ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» на некоторых шахтах региона среднее время ожидания порожних вагонов достигает 60 – 75 минут на одну раму крепи, что приводило к увеличению среднего времени цикла установки одной рамы до 80 – 110 минут. Основная причина – отсутствие оперативной и надежной связи между различными по виду исполнения транспортно-технологическими процессами и операциями.

При применении схем с различными видами рельсового транспорта в устье выработки специально обустраивают заезды (горизонтальные, наклонные, тупиковые) или замкнутые разминовки [7].

Типовая схема доставки породы ДКН по выемочным выработкам и обмена груженых составов на порожние и с применением электровозов приведена на рис. 2.1. Суммарное время цикла состоит:

$$t_{\text{общ}}=t_1+t_2+t_3+t_4+t_5+t_6+t_7+t_8+t_9+t_{10}+t_{11}+t_{12}+t_{13}+t_{14}+t_{15}+t_{16}+t_{17}+t_{18}, \text{ мин}; \quad (2.1)$$

где t_1 – время движения электровоза №1 (Э№1) на длину l_1 по восточному откаточному штреку (ВОШ) (поз. 1);

t_2 – время движения буксировочной тележки (БТ) с груженными вагонетками с заезда на магистральный вентиляционный штрек (МВШ) по ВОШ (поз. 2);

t_3 – время перевода стрелочного перевода СП1 с ВОШ на разминовку (поз. 3);

t_4 – время заталкивания груженого состава на разминовку;

t_5 – время установки тормозного башмака (ТБ) под груженный состав (поз. 3);

t_6 – время перестановки БТ с груженого состава на порожний (поз. 4);

t_7 – время отцепления Э№2 от порожнего состава (поз. 4);

t_8 – время заезда Э№2 на разминовку с груженным составом (поз. 4);

t_9 – время прицепки Э№2 к груженому составу и отцепки груженой вагонетки B_6 ;

t_{10} – время выезда Э№2 с разминовки на ВОШ с груженым вагоном B_6 (поз. 4);

t_{11} – время проталкивания порожнего состава Э№2 с груженной вагонеткой B_6 на правое крыло ВОШ к электровозу Э№1 (поз. 4);

t_{12} – время заезда БТ с порожняковым составом с ВОШ на МВШ (поз. 5);

t_{13} – время возвратного движения Э№2 на исходную позицию (поз. 4);

t_{14} – время перевода стрелочного перевода СП2 с ВОШ на разминовку;

t_{15} – время заезда Э№2 к груженому составу и снятия ТБ (поз. 5);

t_{16} – время выезда Э№2 с груженным составом на ВОШ (поз. 5);

t_{17} – время движения Э№1 с груженным вагоном B_6 с правого крыла ВОШ до груженого состава с Э№2;

t_{18} – время сцепления вагона B_6 с составом.

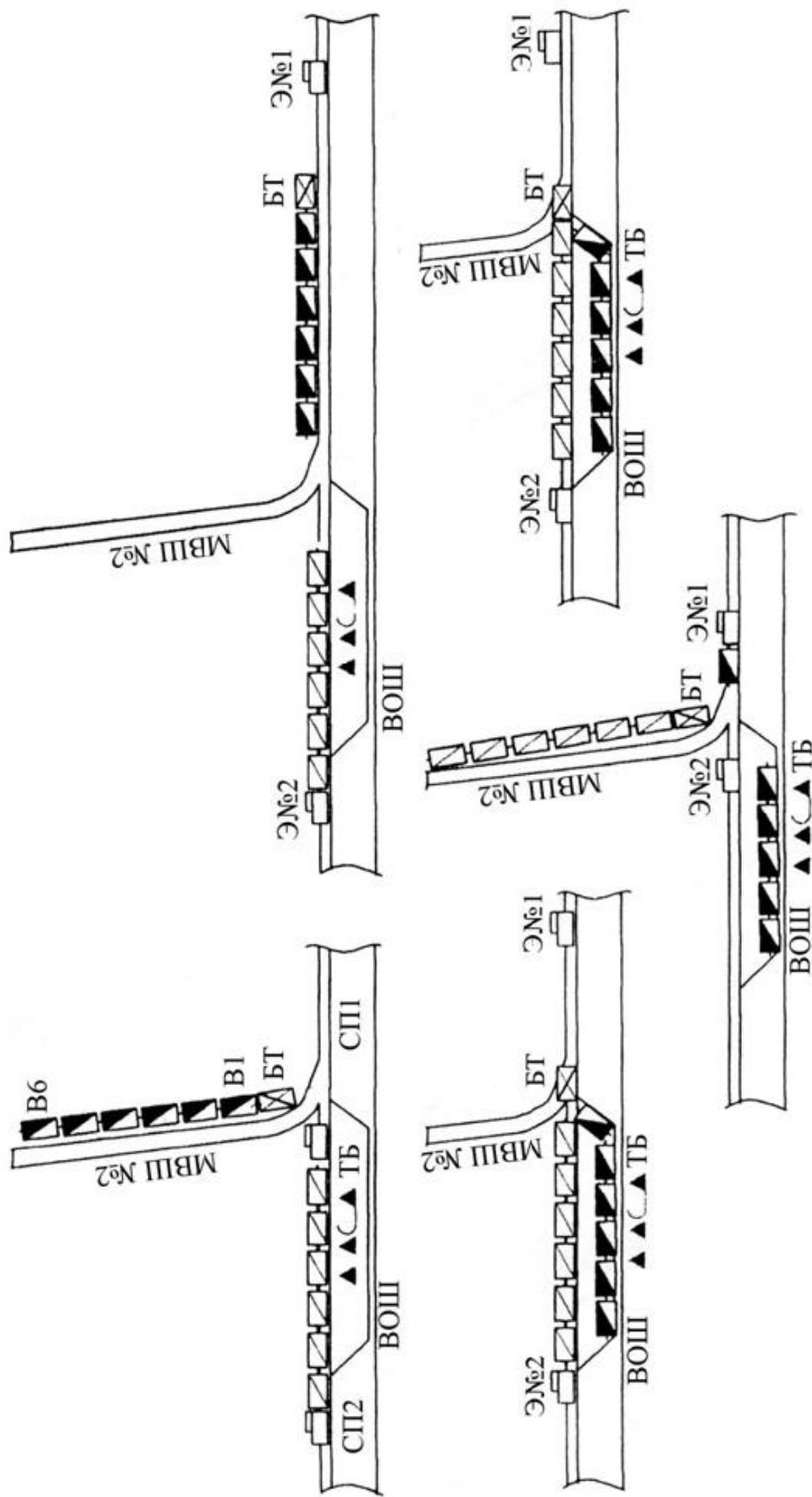


Рисунок 2.1 – Схема маневровых операций по обмену груженых составов на порожние при проведении участковых подготовительных выработок.

Характерные для шахт региона технологии управления маневровыми операциями и процессами перемещения грузов канатными дорогами в обводненных и криволинейных выработках с интенсивным пучением пород почвы относятся к категории наиболее трудоемких и небезопасных [9].

На рис. 2.2 приведена гистограмма распределения времени маневров при обмене груженых составов вагонеток на порожние.

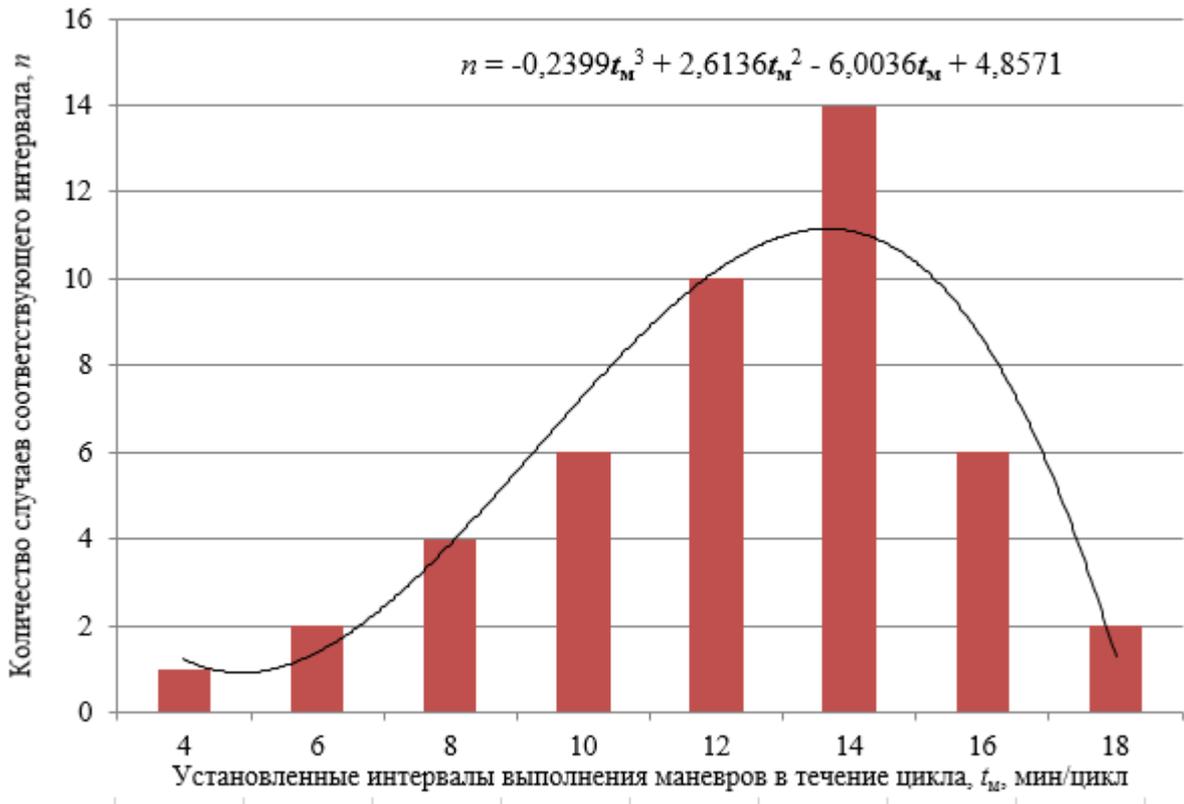


Рисунок 2.2 – Гистограмма распределения времени маневров

Хронометражными наблюдениями установлено, что при применении различных видов транспорта существенно влияет на пропускную способность выработок ожидание вагонов и маневровые операции по обмену груженых составов на порожние [30]. Доказано, что обеспечить планируемые темпы проведения выработок в экстремальных производственных ситуациях можно путем создания оперативно управляемых транспортно-технологических систем на базе ДКН нового поколения с автоматизированной системой управления технологическими процессами.

Для формализации данного научно-технического направления предложен комплексный метод обоснования вариантов энергосберегающих технологических схем вспомогательного транспорта, базирующийся на решении вычислительных, логических и геометрических задач с применением имитационных моделей.

Вычислительные задачи связаны с расчетами тяговых характеристик и эксплуатационных параметров рекомендуемых транспортных средств [31]. Логические задачи – с выбором технического решения из множества рассматриваемых вариантов, а геометрические – с обоснованием необходимых сечений выработок для размещения в них конструктивных элементов транспортной системы.

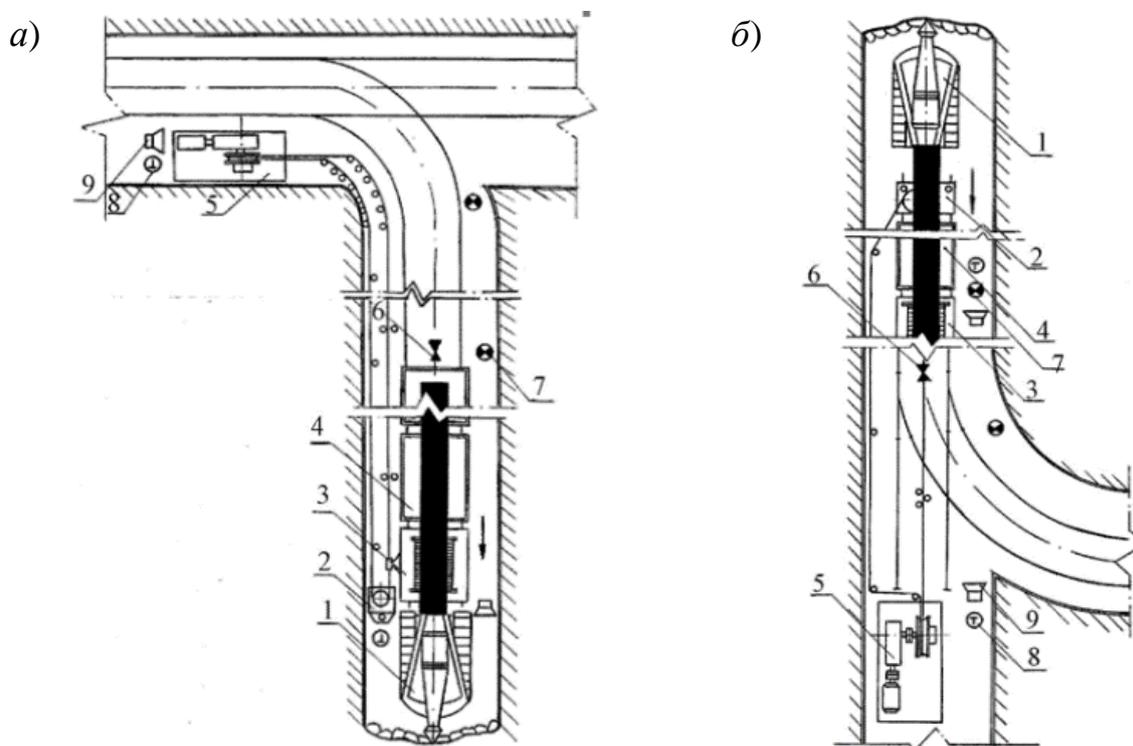
Характерной особенностью данного подхода является то, что параллельно с моделированием структурных схем транспорта и математическим описанием их эксплуатационных параметров осуществляется синтез способов и средств автоматизированного оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами проведения выработок.

2.2 Эксплуатационные параметры напочвенных канатных дорог при проведении выработок

В условиях шахт Западного Донбасса 40,9% проходческих забоев обслуживаются напочвенными канатными дорогами типа ДКНУ-1, ДКН-3 и ДКНЛ-1. Рекомендуемые схемы и комплектация проходческого и транспортного оборудования для проведения подготовительных выработок были приведены в табл. 1.2.

По результатам экспертной оценки технологических схем транспортирования породы канатными напочвенными дорогами установлено, что их особенности и эксплуатационные параметры во многом определяются: местом расположения специальной камеры для приводной станции; трудоёмкостью работ, связанных с периодической передвижкой концевого

блока, а также схемами маневров на сопряжении выработок при обмене груженых вагонов на порожние. Типовые технологические схемы транспортирования горной массы и материалов дорогами ДКНУ при проведении выработок по падению (восстанию) приведены на рис. 2.3.



1 – проходческий комбайн; 2 – концевой блок; 3 – буксировочная тележка; 4 – вагонетка; 5 – привод; 6 – телефон; 7 – барьер; 8 – световое табло; 9 – звуковой сигнал

Рисунок 2.3 – Технологические схемы проведения выработок с применением ДКН:

a – по падению пласта; *б* – по восстанию пласта

Технологическую схему (рис. 2.3, *a*) рекомендовано применять при проведении участковых выработок сечением в свету до 12 м² по падению пласта с углом наклона до 10° и длиной до 2 км. Доставка горной массы осуществляется в вагонетках с глухим кузовом или с донной разгрузкой. Количество вагонов в партии соответствует объему вынимаемой за цикл породы, тяговым возможностям привода ДКН и из условия прочности сцепок вагонеток.

Работы по проведению выемочных выработок организованы в четыре смены, в каждую смену выходит звено из шести человек. Подготовив проходческий комбайн к работе, машинист приступает к выемке горной массы. Два проходчика зачищают почву за комбайном и заготавливают крепежные материалы. Один проходчик следит за погрузкой партии вагонеток под перегружателем. По мере погрузки вагонеток он подает команды по селектору (телефону) машинисту дороги для подачи под погрузку следующего вагона и управляет работой перегружателя. Длина перегружателя составляет 30 м. Время выемки горной массы на шаг установки крепи (0,8 м) и погрузки её в вагонетки составляет, в среднем, 30 мин.

Технологическую схему (рис.2.3, б) транспортирования горной массы и материалов дорогой ДКНУ в вагонах с донной разгрузкой ВД-2,5 преимущественно применяют при проведении выемочных выработок смешанным забоем по восстанию пласта при наличии под проводимой выработкой конвейерного штрека. При такой компоновке над конвейером оборудуется разгрузочный бункер для вагонеток с донной разгрузкой. Организация работ в забое аналогична рис. 2.3, а.

Схема организации работ по разделению грузопотоков угля и породы предусматривает расположение буксировочной тележки в середине состава. Впереди буксировочной тележки находятся вагонетки для угля, сзади – для породы. После селективной выемки и погрузки угля и породы, партию груженых вагонов доставляют до разгрузочного бункера, в который последовательно разгружают вагонетки с углем. Вагонетки с породой отцепляют и, с помощью маневрового электровоза, обменивают на порожние. Для обеспечения безопасности работ и предотвращения обрыва «породных» вагонеток от буксировочной тележки применяют «опоясывающий» канат, соединяющий эти вагонетки и буксировочную тележку [10].

Результаты хронометражных наблюдений за выполнением основных операций транспортно-технологического процесса при проведении выемочных выработок с применением ДКН приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты оценки эксплуатационных параметров ДКН

Наименование операций	Время операции, мин	Среднее арифметическое выборки	Среднеквадрат. отклонение	Относительная погрешность измерения, %	Результаты измерений	Доверительная вероятность	Примечание
Погрузка партии вагонеток у забоя	39,0 35,0 38,0 22,0 37,0 35,0 30,0 35,0 24,0 32,0	32,7	5,7	17,4%	32,7±5,7	0,96	504 сб. штрек, длина L=1100 м, вагонеток ВД-2,5 Количество вагонеток в партии – 7. Движение груза вниз Напочвенная дорога ДКН-3
Движение грузной партии вагонетки	12,0 10,0 13,0 13,0 13,0 18,0 16,0 13,0 17,0 14,0	13,9	2,51	18,0%	13,9±2,51	0,96	
Разгрузка грузной партии	17,0 25,0 30,0 20,0 12,0 20,0 20,0 35,0 30,0 32,0	24,1	7,7	9,2%	24,1±7,7	0,96	
Движение порожней партии к забою	13,0 13,0 14,0 13,0 13,0 17,0 20,0 14,0 13,5 13,0	13,3	2,33	16,2%	13,3±2,33	0,96	

К основным недостаткам действующих схем участкового транспорта с применением напочвенных канатных дорог следует отнести:

– ступенчатые (комбинированные) схемы транспорта с перецепкой откаточных сосудов от ДКН на локомотивную откатку их по участковым горизонтальным выработкам электровозами АМ8Д;

– многооперационные схемы обмена груженых составов на порожние с перецепкой составов в узлах сопряжения с горизонтальными участковыми выработками;

– отсутствие системы автоматизированного управления процессами безопасного перемещения грузов в переходных режимах работы ДКН, т.е. с типичных режимов в нетипичные и критические.

В подобных ситуациях условия эксплуатации технологических схем транспорта можно классифицировать как экстремальные, т.е. при которых ДКН функционирует в нештатных режимах работы.

Подтверждением указанных недостатков служат приведенные в табл. 2.2 данные участка подготовительных работ ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» о потерях времени по вине транспорта при ведении горнопроходческих работ за период 2010 – 2013 г.г.

Таблица 2.2 – Сравнительные потери времени в подготовительных забоях

Показатели потерь времени, мин	Шахтоуправление «Павлоградское»								
	2010	2011	+ / –	2011	2012	+ / –	2012	2013	+ / –
1. Организационные причины	18,7	16,1	-2,6	16,1	23,5	-7,4	23,5	15,7	+7,8
2. Аварии забойного оборудования	18,4	32,7	+14,3	32,7	18,7	+14,0	18,7	19,1	-0,4
3. Аварии транспорта участка	3,8	29,8	+26,0	29,8	21,3	+8,5	21,3	12,8	+8,5
4. Аварии на участке ВШТ	8,0	31,8	+23,8	31,8	17,0	+14,8	17,0	8,7	+8,3
5. Ожидание порожняка	31,5	32,0	+0,5	32,0	19,8	+12,2	19,8	115,5	+95,8
6. Прочие работы	11,2	61,8	+50,6	61,8	21,1	+40,7	21,1	11,9	+9,2
Итого:	74,9	189,8	+114,9	189,8	127,1	+62,7	127,1	192,4	-65,3

Необходимо отметить, что, уделяя большое внимание организации работ по проведению выемочных выработок, в ранее опубликованных работах не рассматривались вопросы возникновения и развития причин остановки проходческих забоев по вине транспорта. Принятая методика сравнительной оценки потерь на шахтах региона не раскрывает историю развития негативных факторов, сопровождающих процессы проведения выемочных выработок, и не предусматривает мероприятия по их выявлению и устранению.

Шахтными исследованиями установлено, что при проведении выемочных выработок со сложной гипсометрией пласта из-за несовершенств системы оперативно-производственного управления транспортно-перемещающими процессами регулярно происходят отказы и повреждения линейных узлов ДКН, а также технологические нарушения, вызывающие ежесменные потери времени и объемы проведения подготовительных выработок.

В соответствие с нормативами ГП «ДонНИУИ» [25] объем среднесменных потерь проведения выработок (метров проведения на одну раму крепи) определялся для типовых схем транспортирования горной массы и материалов дорогами ДКНУ с учетом фактических объемов проведения выемочных выработок за один цикл и технологического времени выполнения одного цикла

$$V_{\text{пот}} = T_{\text{пот}} \cdot \frac{V_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м/раму};$$

где $T_{\text{пот}}$ – потери времени при выполнении технологических операций, мин;

$V_{\text{ц}}$ – фактический объем проведения выработки с одного цикла, м/раму;

$T_{\text{ц}}$ – фактическое технологическое время выполнения одного цикла, мин.

Фактические показатели проведения выемочных выработок устанавливались по результатам хронометражных наблюдений в исследуемых забоях. При комбайновом проведении протяженных выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов в технологическое время проходческого цикла кроме основных операций есть и другие, такие как: маневры комбайна в

призобойном пространстве; дробление негабаритных кусков породы; наращивание рельсового пути и вентиляционного става; маневровые операции по обмену груженых вагонов на порожние и др.

Полученные показатели потерь времени позволили сделать вывод, что несвоевременный вывоз горной массы из подготовительных забоев, а также неритмичная доставка вспомогательных материалов и оборудования, сопровождающиеся аварийными производственными ситуациями, относят подсистему участкового вспомогательного транспорта к категории одной из нестабильных и энергоемких в общей системе горного производства.

В этой связи, решение транспортных задач при проведении выемочных выработок со сложной гипсометрией пласта, требует комплексного подхода.

Под адаптивностью схем участкового транспорта подразумеваются их возможности оперативно реагировать на изменения производственных ситуаций для повышения безопасности и исключения аварий и сохранять работоспособность в постоянно изменяющихся горно-геологических условиях проведения подготовительных выработок.

2.3 Особенности функционирования напочвенных канатных дорог при проведении выработок в нетипичных условиях эксплуатации

В процессе шахтных исследований параметров внутришахтных грузопотоков породы было установлено, что на производительность действующего транспортного оборудования влияет комплекс технологических, технических и организационных факторов. Указанные факторы вносят изменения в условия нормальной эксплуатации транспортного оборудования, существенно снижают основные расчетные показатели и срок службы его узлов.

Например, по данным ш/у «Павлоградское», одной из основных проблем при эксплуатации напочвенных канатных дорог типа ДКН-3 в протяженных выработках с переменными профилем и планом пути является снижение почти в три раза срока службы тяговых канатов (вместо девяти три месяца) и приводных шкивов (до одного года). Ежегодно на замену указанных узлов шахтой расходуется

около 300 тысяч гривен. По причине отказов в работе средств участкового и магистрального транспорта на шахтах Западного Донбасса ежемесячно теряется 0,53 м проведения подготовительных выработок.

Ранее отмечалось, что проявление таких факторов, как пучение пород почвы, прорывы воды в выработки, чаще всего происходит спонтанно и прогнозировать их параметры практически невозможно. Указанные негативные явления относятся к нетипичным. Поэтому функционирование средств участкового транспорта в обводненных выработках с интенсивным пучением пород почвы следует рассматривать как систему, работающую в условиях неопределенности.

Шахтными исследованиями установлено, что в условиях неопределенности надежность действия средств участкового транспорта характеризуется частотой и степенью тяжести отказов, а также длительностью вынужденных простоев.

С целью определения причин возникновения экстремальных ситуаций, а также поиска потенциальных источников повышения адаптационной способности средств участкового транспорта, были проанализированы случаи отказов транспортного оборудования. Все потери горно-подготовительных работ, связанные с отказами, заменами и не планируемыми ремонтами поврежденных узлов транспортных средств, были отнесены к случайным потерям и классифицированы как внутрисменные – случ./смену.

Для экспертной оценки транспортно-технологических процессов было проанализировано 24 оценочных показателя нетипичных, критических и аварийных производственных ситуаций. Для первичной информации сформированы характерные семь видов внутрисменных потерь – случаев остановки проходческих забоев по причине транспорта:

1. Отказы проходческого комбайна, электроснабжения, средств откачки воды (аварии забойного оборудования).
2. Остановки ленточного перегружателя, ленточного конвейера, канатной откатки, ремонт рельсового пути и путевого хозяйства (аварии призабойного транспорта).

3. Задержки с обменом вагонеток на путевых разминовках, несвоевременная доставка порожних составов от ствола, длительные маневры электровоза по замене составов и низкая оборачиваемость вагонов (ожидание порожних вагонов).

4. Несвоевременное прибытие электровоза, аварии опрокида (аварии на участке внутришахтного транспорта).

5. Аварии на магистральных конвейерных линиях (аварии на участке конвейерного транспорта).

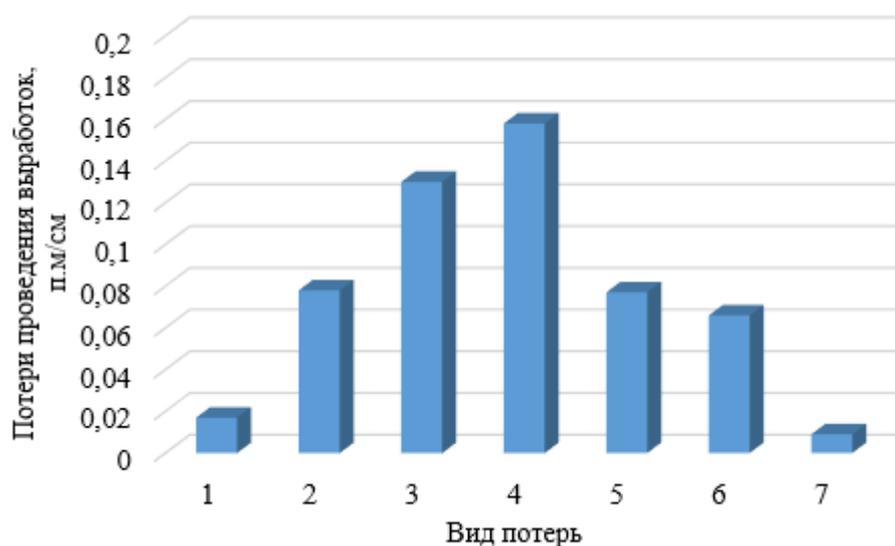
6. Уровень оперативно-производственного управления транспортно-технологическими процессами (организационно-технические причины).

7. Устранение предписаний горнотехнической инспекции и работников участков вентиляции, техники безопасности и охраны труда, отвлечение рабочих для разгрузки, погрузки и доставки материалов (прочие работы).

Составленный перечень отказов послужил основанием для выбора приоритетных направлений исследований.

На рис. 2.4 приведены результаты среднесменных потерь по причине отказа действующей схемы транспорта при проведении подготовительного забоя, оборудованного ДКН, на ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

Результаты исследований обработаны по методикам [25], а полученные показатели сгруппированы в порядке выполнения процессов и операций проходческого цикла. По результатам анализа, выполненного совместно с службой операционных улучшений дирекции по перспективному развитию ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», установлено, что суммарное число случаев остановки подготовительных забоев в среднем составляет 4,4 случ/смену. Максимальное число случаев остановки подготовительного забоя происходит из-за несвоевременной подачи порожних вагонов, вследствие отказов в работе системы участкового транспорта и неэффективного управления организацией транспортно-перемещающих процессов в условиях неопределенности.



1 – аварии забойного оборудования; 2 – аварии на трассе проводимой выработки; 3 – аварии на участке обмена составов; 4 – ожидание порожних вагонов; 5 – организационные причины; 6 – заштыбовка кузова вагонов; 7 – аварии на участках магистрального транспорта и другие работы

Рисунок 2.4 – Среднесменные показатели распределения случаев остановки подготовительного забоя по вине транспорта.

В виду многообразия факторов, сдерживающих пропускную способность участковых транспортных выработок, за критерий качества управления процессами перемещения породы в протяженных криволинейных выработках с интенсивным пучением пород почвы было рекомендовано принять комбинированный показатель потери времени [33].

Среднесменные потери времени в подготовительных забоях составляют 130,4 мин/смену. Следует также отметить, что из 37 рассмотренных оценочных показателей максимальное число видов причин приходится на подсистему «участковый транспорт».

Полученные показатели случаев остановки подготовительных забоев и потерь времени на ликвидацию отказов в подсистеме «участковый транспорт» позволили выявить основные причины вынужденных простоев для применяемых технологических схем и комплексов транспортного оборудования. Установленные причины вынужденных простоев были

разделены на технологические, технические и организационные. Качественные показатели последних рассматривались с учетом степени автоматизации исследуемых операций и применяемой структурной схемы оперативного управления транспортно-технологическими процессами.

Согласно рекомендаций, приведенных в работах [34 – 36], продолжительность вынужденных простоев транспортного оборудования по техническим причинам можно характеризовать как его исправность – способность выдерживать перегрузки и длительно работать без снижения исходных параметров в соответствии с требованиями, установленными нормативно-технической документацией.

Длительность вынужденных простоев горнопроходческого оборудования характеризовалась коэффициентом простоев $\eta_{\text{пр}}$, который представляет собой отношение продолжительности $h_{\text{пр}}$ простоев за определенный промежуток времени к сумме продолжительности $h_{\text{ф}}$ фактической работы и $h_{\text{пр}}$ за тот же период времени.

Исходя из вышеизложенного коэффициент простоев горнопроходческого оборудования по вине транспорта (иначе коэффициент повреждения или отказа напочвенной канатной дороги) характеризуется следующим выражением

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{h_{\text{пр}}}{h_{\text{ф}} + h_{\text{пр}}} - \frac{1}{1 + \frac{h_{\text{ф}}}{h_{\text{пр}}}},$$

где $h_{\text{ф}}$ – продолжительность производительной работы транспортного оборудования за определенный промежуток времени, мин/см.;

$h_{\text{пр}}$ – продолжительность вынужденных простоев за этот же период, мин/см.

В сложных горнотехнических условиях функционирования средств подземного транспорта продолжительность продуктивной работы напочвенных канатных дорог нового поколения было рекомендовано [37] оценивать

коэффициентом их адаптации – исправной работы транспортных средств в нетипичных и близких к критическим условиям эксплуатации

$$\eta_{\text{адапт}} = \frac{h_{\text{ф}}}{h_{\text{ф}} + h_{\text{пр}}} = 1 - \eta_{\text{пр}}.$$

Таким образом, под адаптивностью напочвенных канатных дорог нового поколения будем подразумевать их способность продолжать некоторое время работу без повреждений (хотя бы на сниженных режимах) в нетипичных условиях эксплуатации и информировать оператора о возможности возникновения экстремальных производственных ситуаций.

С целью выявления потенциальных источников повышения адаптационной способности напочвенных канатных дорог на шахтах региона была проведена экспертная оценка производственных ситуаций. Установлено, что в конструктивных элементах ДКН возникают различной сложности отказы, повреждения и, связанные с ними, аварии. Факторы, характеризующие отказы узлов, простои или отклонения в режимах работы ДКН при эксплуатации их в реальных условиях шахтной среды, устанавливались согласно рекомендациям [38 – 42] визуальными средствами диагностирования.

Используя опыт работы систем планово-предупредительного ремонта горно-шахтного оборудования для оценки тяжести отказов, был введен показатель их ремонтпригодности, который выражался длительностью устранения технических (конструктивных) повреждений, выявленных при эксплуатации ДКН в реальных производственных условиях.

Характерные отказы были классифицированы по категориям сложности их устранения на легкие, средние и тяжелые. В качестве критерия оценки сложности были приняты время устранения отказов и количество горнорабочих, привлекаемых для их восстановления.

По результатам экспертной оценки режимов работы напочвенных канатных дорог в реальных условиях шахт Западного Донбасса к категории тяжелых отказов были отнесены длительные (более 1 часа) остановки

действующей транспортно-технологической системы, требующие привлечения высококвалифицированных специалистов (электрослесарей) или более двух горнорабочих для их ликвидации.

В табл. 2.3 приведены технические отказы в работе напочвенных канатных дорог с указанием времени восстановления неисправностей.

Таблица 2.3 – Характерные отказы и простои в работе ДКН

Виды и категории отказов		Способ устранения	Тяжесть устранения, мин/чел	
Технические	Заклинивание опорных катков тормозной телеги	легкие	Ремонт катков	15/1
	Износ путевых роликов холостой и грузовой ветвей	средние	Замена роликов	15/1 20/2
	Проскальзывание каната	легкие	Регулирование	15/1
	Износ поверхности тормозных колодок	средние	Замена колодок	10/2
	Заклинивание отводных блоков	средние	Центрирование оси установки	30/2
	Износ стабилизирующих роликов	средние	Замена роликов	30/2
	Замена колесных пар	средние		20/2
	Утонение каната (более 10% $d_{ном}$)	тяжелые	Замена каната	360/6
	Замена каната более 1000м	тяжелые	Замена каната	360/6
	Растяжение счалок каната	тяжелые	Счаливание	180/4
	Обрыв каната	тяжелые	Счаливание	90/6
	Замена приводного редуктора	тяжелые	замена	240/4
	Обрыв канатоукладчика	тяжелые	Замена	180/3

Результаты оценки технического состояния и режимов работы ДКН, эксплуатируемых в условиях ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», дают основание утверждать, что диагностируемые узлы и элементы в совокупности представляют сложную динамическую систему,

состоящую из привода, протяженного каната, подвижного состава, множества шкивов, роликов и их оснований (опор). Силы, действующие на каждый элемент этой сложной системы, зависят от механических свойств системы как целого объекта и от внешних воздействий шахтной среды. Самым нагруженным элементом является тяговый канат. В процессе шахтных исследований установлено, что при разрыве или повреждении тягового органа возникают ударные нагрузки, вызывающие последовательное разрушение взаимосвязанных с ним элементов.

Многokrратно повторяющиеся отказы тягового органа и взаимодействующих с ним элементов, а также низкий уровень технической диагностики их в шахтных условиях выдвигают повышенные требования к надежности транспортно-технологической системы и средствам оперативного контроля ее работоспособности.

Используя зарубежный опыт диагностирования средств карьерного транспорта [43] в качестве показателя эксплуатационной надежности напочвенных канатных дорог в нетипичных условиях работы рекомендовано определять «среднее время ремонта» (MTTR), равное отношению общего времени простоя ДКН за определенный период к числу ремонтов.

Коэффициент простоя ДКН рассчитывается по формуле

$$k_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{общ}}}{n}, \quad (2.2)$$

где $t_{\text{общ}}$ – общее время простоя дороги за смену, мин;

n – число ремонтов.

Общее время простоя состоит из фактически затраченного времени на ремонт и времени задержки. Задержка определяется путем суммирования времени остановок ДКН в течение технологической смены.

С позиции оперативного управления внутришахтными грузопотоками породы и автоматизации транспортно-технологических процессов важным

показателем эксплуатационной надежности напочвенных канатных дорог является «среднее время между поломками или остановками» (MTBS), т.е. общее число часов эксплуатации ДКН деленное на число случаев простоя. По данным работы [43] рациональной цифрой для MTBS считается 50 – 60 ч. Данный показатель по отдельным системам или узлам показывает, что именно вызывает наиболее частые остановки из-за поломок и какой проблемой следует заняться персоналу, обслуживающему напочвенную канатную дорогу в ремонтно-подготовительную смену. Высокий показатель MTBS свидетельствует о малой вероятности возникновения неисправности.

2.4 Влияние профиля транспортирования грузов по выработкам с интенсивно пучащей почвой на работу напочвенных канатных дорог

На шахтах Западного Донбасса, к которым относится ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь», принят погоризонтный способ подготовки угольных запасов, при котором выемочные столбы располагаются по падению и восстанию пласта. Залегание пластов слабоволнистое, изменяясь в угловом диапазоне 0 – 5°.

Для эффективного ведения очистных работ пласт располагают в боках выработки, повторяя на отдельных участках гипсометрию пласта или трасу перехода мелко амплитудного геологического нарушения. Вмещающие породы слабые, склонные к пучению при длительном времени их обнажения или увлажнению шахтными водами.

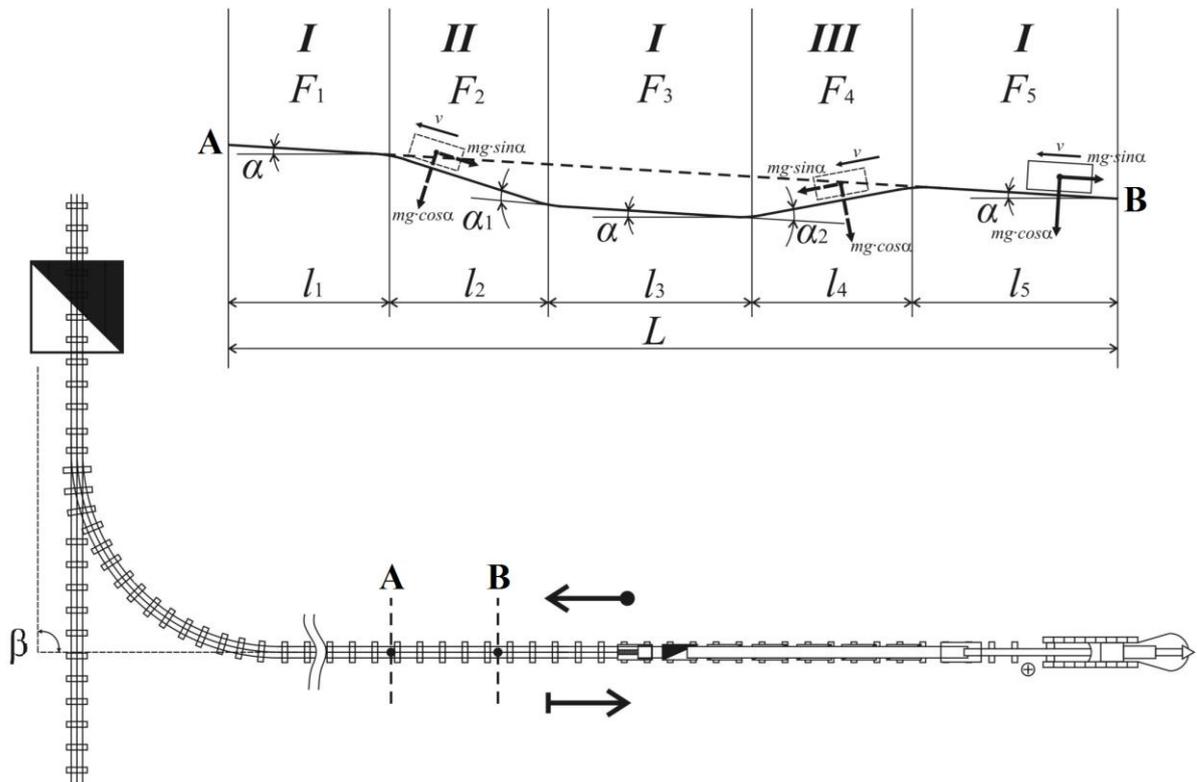
При интенсивном пучении пород почвы значительно возрастает коэффициент сложности условий проведения и эксплуатации выемочных выработок. Согласно рекомендациям [23] по степени пучения породы делят на четыре класса: слабо пучащие до 0,2 м; умеренно пучащие – от 0,21 до 0,50 м; сильно пучащие – от 0,51 до 1,0 м и интенсивно пучащие – более 1,0 м.

Необходимо отметить, что установленные классификация пород почвы по степени пучения и критерии их устойчивости в горных выработках получены в результате многолетних исследований научных коллективов ИГТМ НАН Украины (Усаченко Б.М., Софийский К.К.), ВНИМИ (Рева В.Н.), НГУ (Бондаренко В.И., Кузьменко А.М., Симанович Г.А., Ковалевская И.А.), Днепрогипрошахт (Симанович А.М.), ПО «Павлоградуголь» (Шмиголь А.В., Кириченко В.Я., Халимендик Ю.М.) и др.

Применительно к каждому классу пучимости пород были обоснованы критерии их устойчивости, разработаны рекомендации и технические решения по повышению несущей способности крепи и устойчивости выработок [44]. Однако до настоящего времени для поддержания выемочных выработок в эксплуатационном состоянии на шахтах регулярно проводятся ремонтно-восстановительные работы по их перекреплению, подрывке пород почвы, балластировке пути и др.

Для решения задач автоматизированного управления процессами перемещения грузов в условиях неопределенности, а также функционального диагностирования и прогнозирования технического состояния транспортно-технологической системы потребовалось сформировать программу модернизации структуры оперативно-производственного управления грузопотоками породы из подготовительных забоев. Разработать методику и средства контроля положений состава и натяжения тягового каната, а также обосновать расчетную схему установления эксплуатационных параметров ДКН нового поколения, обеспечивающих ресурсо- и энергосбережение при проведении и эксплуатации выемочных выработок со сложной гипсометрией пласта (рис. 2.5).

В соответствие с расчетной схемой основным параметром ДКН в нетипичных условиях проведения выемочных выработок является сила тяги F состава, которая раскладывается на составляющие силы $F_1, F_2 \dots F_n$ со свойственными им параметрами, на прямолинейных и искривленных в профиле и плане участках трассы.



F_n – сила тяги состава, Н; α_n – угол изменения профиля пути, рад;
 β – угол поворота трассы, рад; l_n – длина участка трассы, м; v – скорость движения состава, м/с; m – масса состава, кг; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²

Рисунок 2.5 – Расчетная схема установления эксплуатационных параметров ДКН в выемочных выработках со знакопеременным профилем пути

Для приведенных на схеме участков пути показатели $F_1, F_2 \dots F_n$ определяются в соответствии с выражением

$$F_n = f(P, \alpha_n, \beta_n, l_n, w_n, v_n), \text{ Н}; \quad (2.3)$$

где P – сцепной вес подвижного состава, Н;

α_n – угол изменения профиля пути на данном участке, рад;

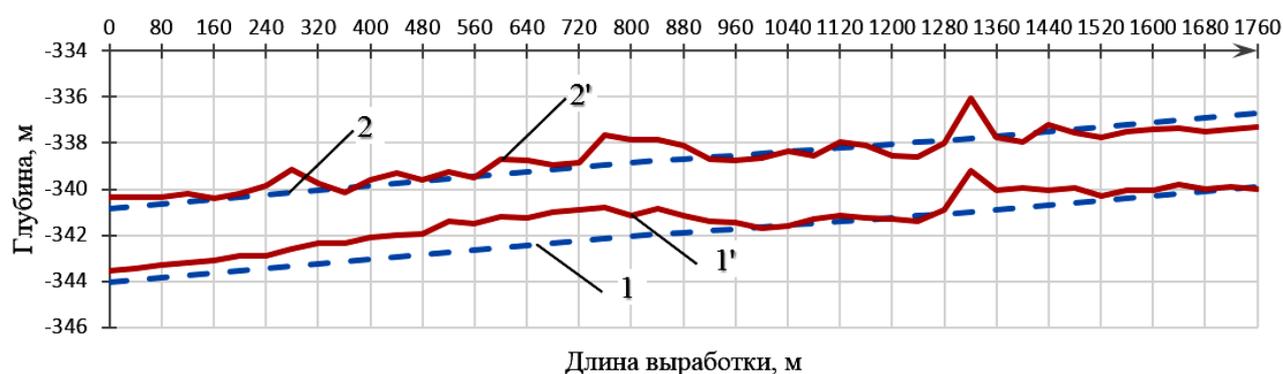
β_n – угол поворота трассы на данном участке, рад;

l_n – длина данного участка, м;

w_n – коэффициент сопротивления движению на данном участке;

v_n – скорость движения состава на данном участке, м/с.

Для определения влияния профиля трассы транспортирования грузов по выработкам с интенсивно пучащей почвой на работу напочвенных канатных дорог было проведено исследование характера изменения в профиле и плане нескольких выемочных выработок на ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». На рис. 2.6 приведены графики, характеризующие изменение профиля и кровли выработки в условиях высокой обводненности и интенсивного пучения пород почвы.



1, 1' — соответственно проектный и фактический профиль выработки откатки грузов по маркшейдерской съемке; 2, 2' — соответственно проектное и фактическое положение кровли выработки

Рисунок 2.6 – Графики изменения положения контура 802 бортового штрека пласта s_4 гор. 480 м ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Анализ графиков позволяет выделить несколько характерных участков на фактическом профиле выработки, которые значительно отличаются от проектного профиля. Рассматривая временной фактор, можно отметить участки с явным пучение почвы выработки (160 – 960 м). Угловое изменение профиля длиной 80 м характеризует влияние геологического нарушения и гипсометрии угольного пласта (1280 – 1520 м).

Транспортировка горной массы по таким выработкам существенно затрудняется. Во-первых, высота выработки может быть меньше минимально допустимой из-за проявления горного давления. Во-вторых, пучение пород

почвы изменяет профиль трассы транспортирования и способствует обводнению участков с отрицательным угловым отклонением.

Транспортирование грузов по выемочным выработкам осуществляется по знакопеременной траектории, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости, что отражается на режимах работы транспортных средств и их отдельных узлов. Установлено влияние гипсометрии почвы наклонной выемочной выработки по длине напочвенной канатной дороги.

В результате анализа состояния выемочных выработок (802 бортовой штрек; 802 сборный штрек; 809 бортовой штрек; 901 сборный штрек) пласта c_4 горизонта 480 м на ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» установлено, что между угловыми отклонениями и длинами участков таковых имеется вполне коррелируемые зависимости, которые отражают характер изменения параметров трассы выемочной выработки, связанные с пучением почвы (рис. 2.7 – 2.10).

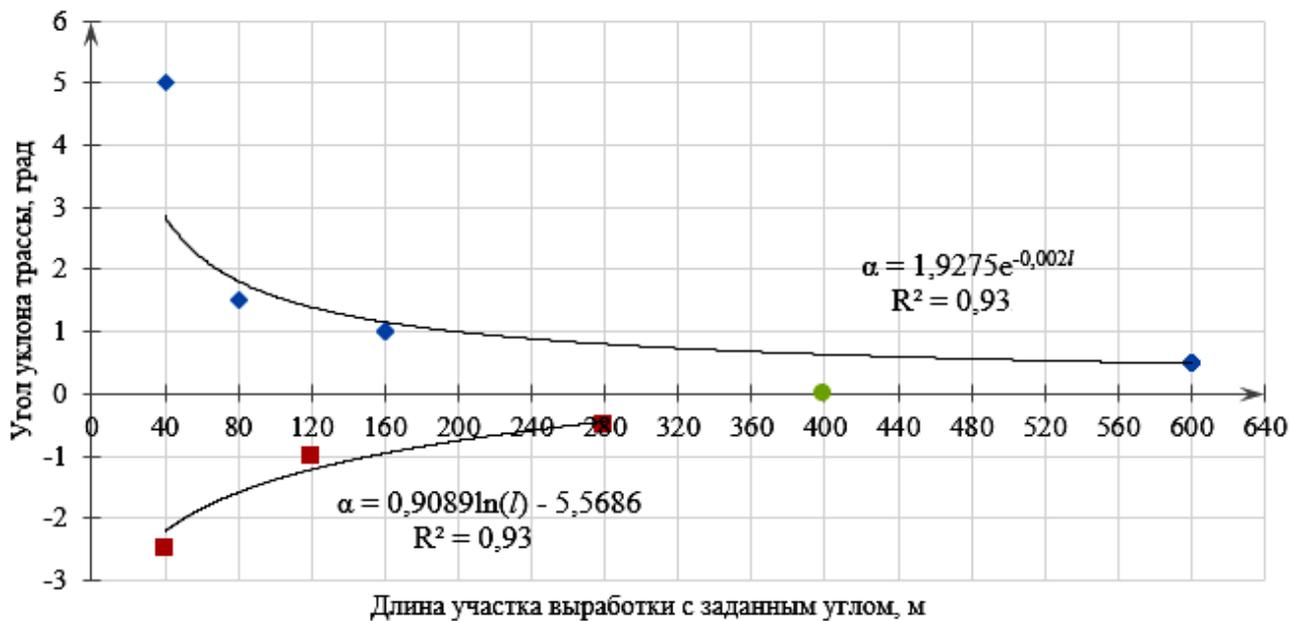


Рисунок 2.7 – Зависимости угловых отклонений трассы транспортирования грузов от длины участка пучения пород почвы по 802 борт. штр. пласта c_4 на гор. 480 м ш/у «Павлоградское»

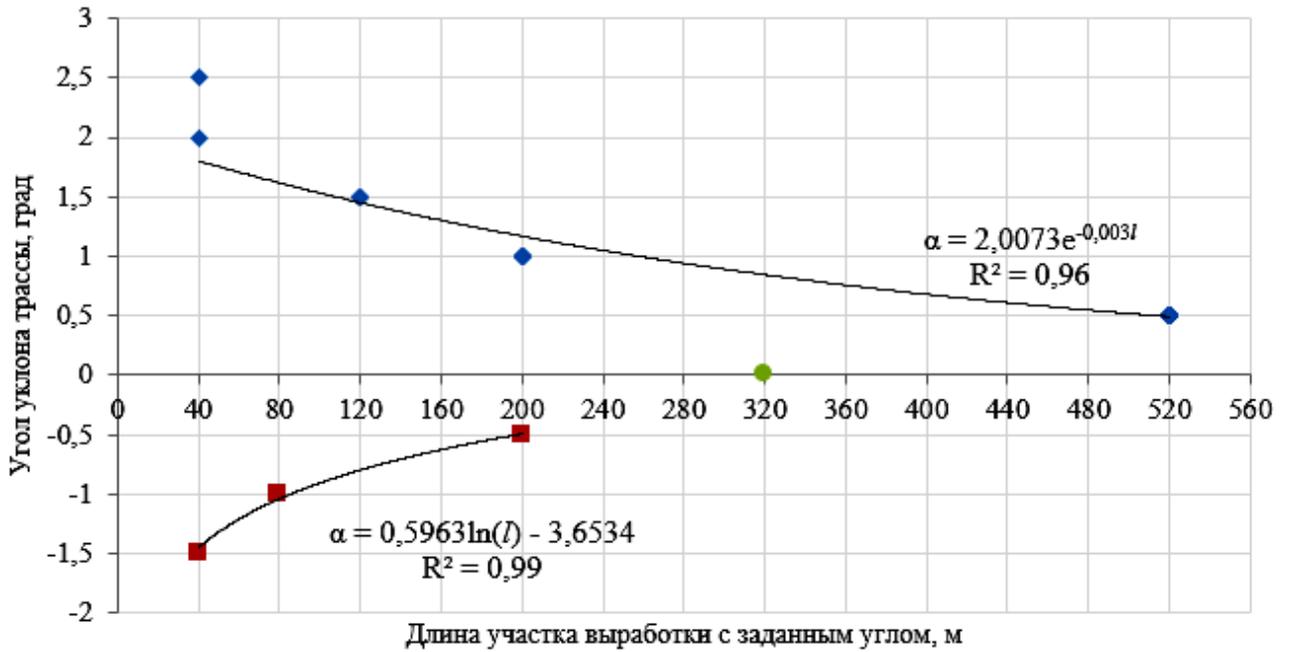


Рисунок 2.8 – Зависимости угловых отклонений трассы транспортирования грузов от длины участка пучения пород почвы по 802 сб. штр. пласта c_4 на гор. 480 м ш/у «Павлоградское»

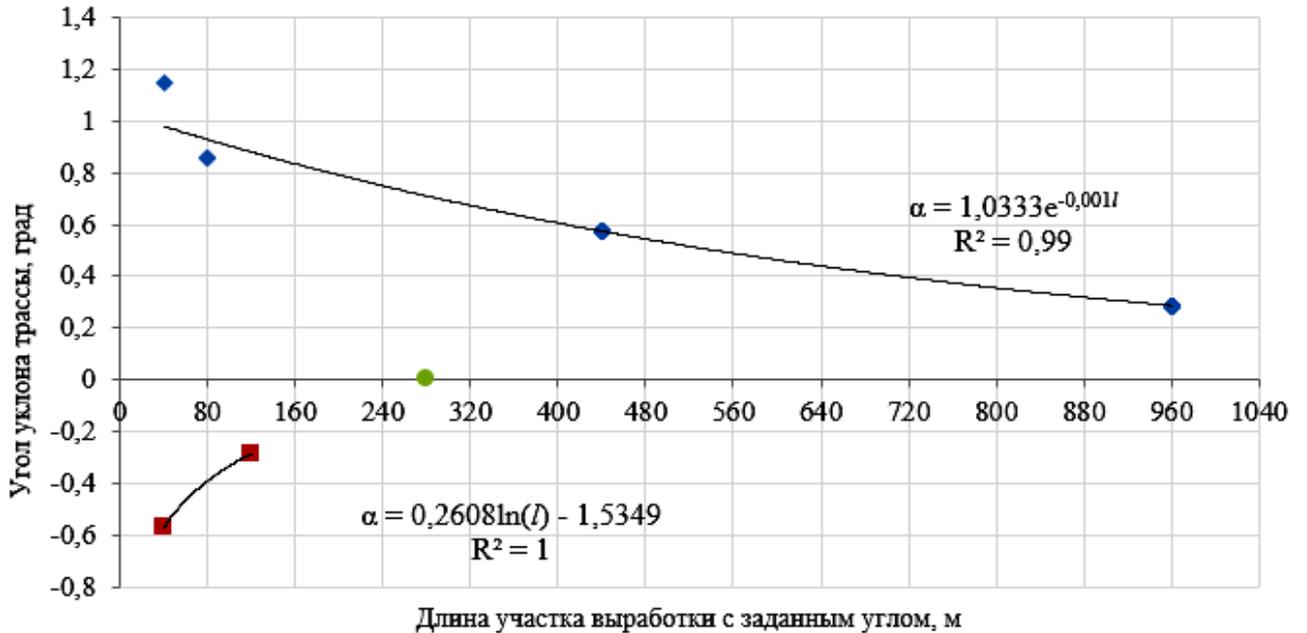


Рисунок 2.9 – Зависимости угловых отклонений трассы транспортирования грузов от длины участка пучения пород почвы по 809 борт. штр. пласта c_4 на гор. 480 м ш/у «Павлоградское»

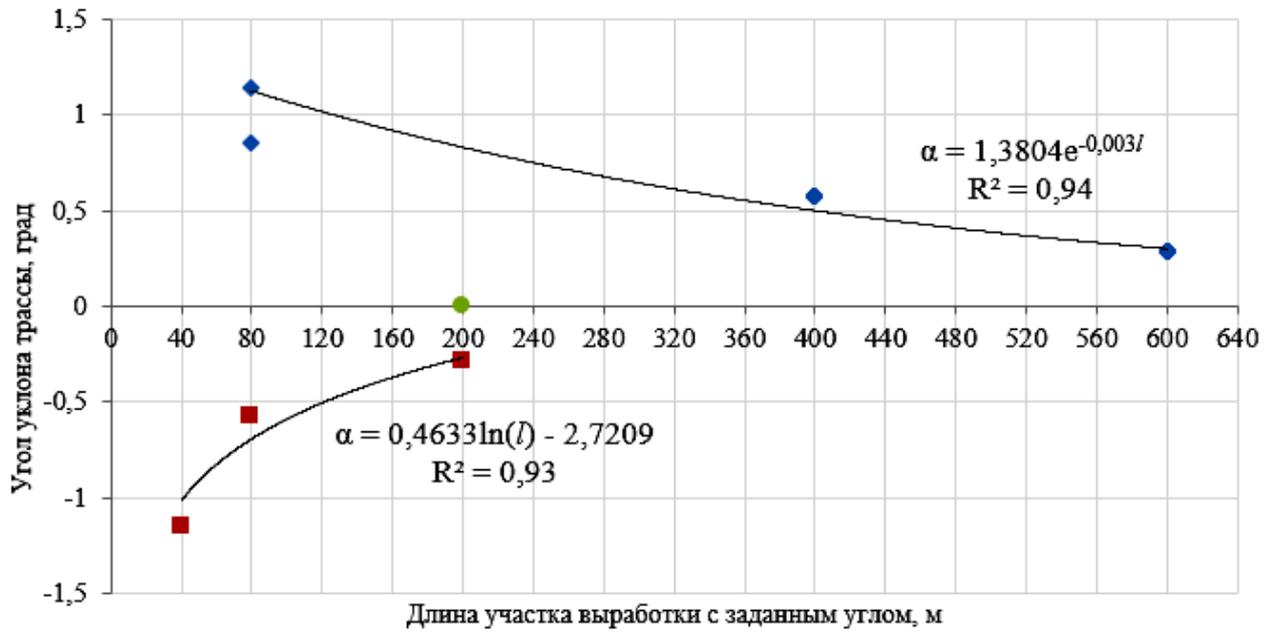


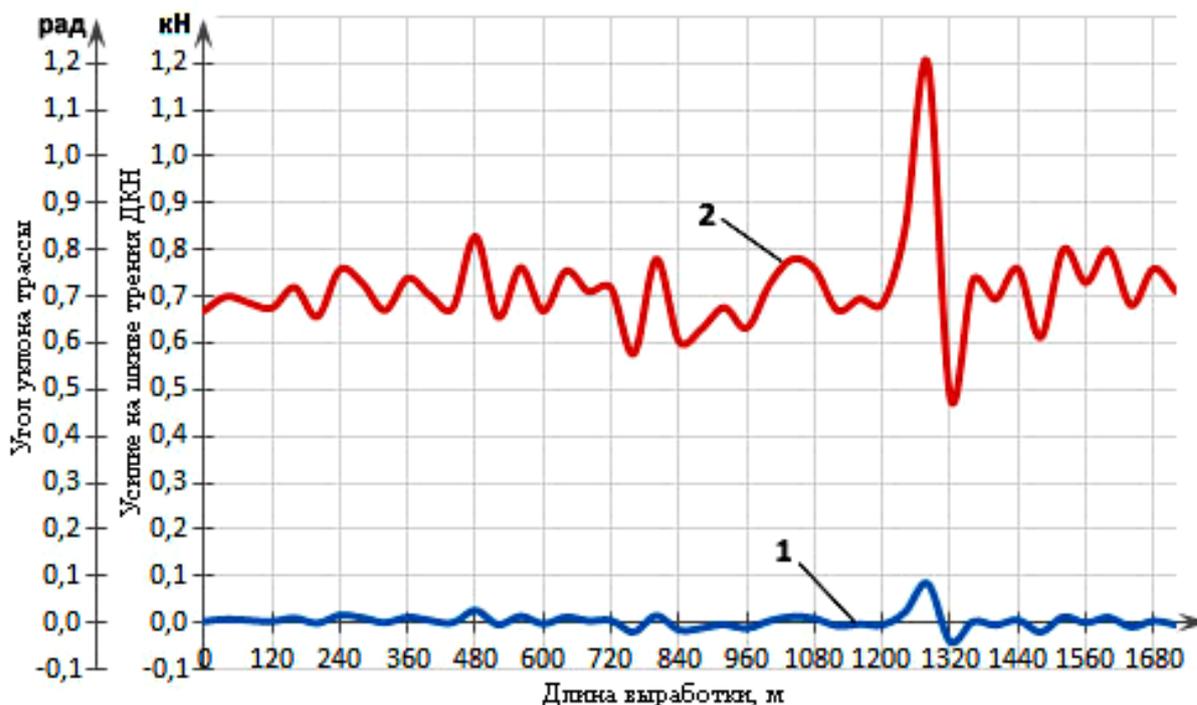
Рисунок 2.10 – Зависимости угловых отклонений трассы транспортирования грузов от длины участка пучения пород почвы по 901 сб. штр. пласта c_4 на гор. 480 м ш/у «Павлоградское»

Таким образом, установлено, что положительные угловые отклонения трассы снижаются по экспоненциальной зависимости, а отрицательные – по логарифмической зависимости при увеличении длины участка поднятия почвы выработки.

По результатам исследований процессов проведения выемочных выработок в породах, склонных к интенсивным проявлениям геомеханических процессов, сформулировано первое научное положение, сущность которого заключается в том, что технологические параметры проведения выемочных выработок зависят от профиля трассы транспортирования грузов и угловых отклонений вектора направленности движения, снижаясь по экспоненциальной зависимости при положительных значениях и по логарифмической зависимости при отрицательных значениях от увеличения длины участка поднятия почвы в подготовительных выработках, пройденных по падению (восстанию) угольного пласта. Это позволяет прогнозировать готовность ТТС к выполнению горнопроходческих работ, оснащенных напочвенными канатными дорогами.

По результатам исследований установлено, что в типичных условиях эксплуатации ДКН, при слабом пучении пород почвы (до 0,2 м), усилие на шкиве трения привода ДКН колеблется в диапазоне 0,65 – 0,75 кН. При умеренном (0,21 – 0,50 м) и сильном пучении (0,51 – 1,0 м) пород почвы, усилие на шкиве трения колеблется в диапазоне 0,76 – 1,49 кН. При интенсивном пучении пород почвы (более 1,0 м), усилие на шкиве трения будет достигать более 1,5 кН. При таком условии необходимо срочно выполнять ремонтные работы для поддержания эксплуатации выемочной выработки в нормальном состоянии.

На рис. 2.11 приведены графики изменения величины усилия на шкиве трения привода ДКН по длине транспортирования и состояния почвы 802 бортового штрека пласта c_4 на гор. 480 м ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».



1 – угол уклона трассы; 2 – усилие на шкиве трения ДКН.

Рисунок 2.11 – Графики изменения величины усилия на шкиве трения привода ДКН и угла уклона трассы по длине транспортирования 802 борт. штр. пласта c_4 на гор. 480 м ш/у «Павлоградское»

Из приведенных графиков видно, что изменение угла наклона трассы прямо коррелируется с усилием на шкиве трения ДКН. На отрезке длины трассы 1200 – 1320 м поднятие угла трасы до 0,1 рад. увеличивает величину усилия на шкиве трения на шкиве в 1,8 раз, а скатывание с горки снижает эту величину в 1,4 раз.

Неровность трассы отражается на работе управления откаткой напочвенными дорогами, что приводит к колебанию потребления электроэнергии и износу аппаратуры. На рис. 2.12 приведен график угловых изменений трассы в вертикальном положении 802 сборного штрека пласта c_4 на горизонте 480 м ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь».

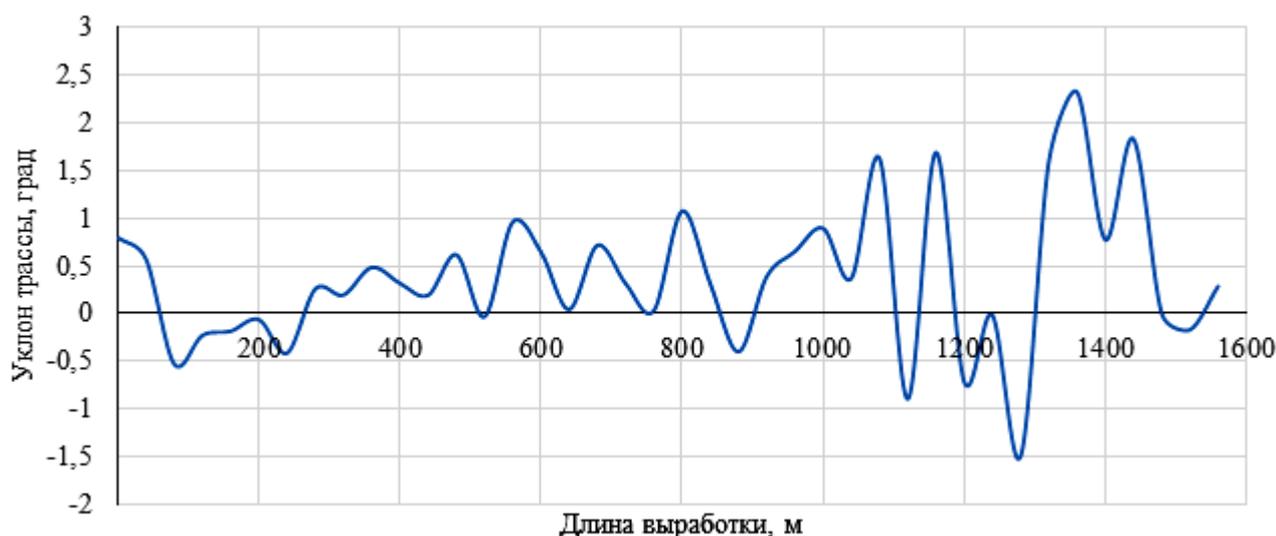


Рисунок 2.12 – Изменение угла наклона трассы по 802 сб. штр. пласта c_4 на горизонте 480 м ш/у «Павлоградское»

На рис. 2.13 представлена зависимость изменения усилия на шкиве трения привода ДКН от угла транспортирования (для большего понимания угол уклона представлен в град.). Данная зависимость описывается эмпирическим линейным уравнением вида $F = 0,0974\alpha + 0,6936$, что объясняет большую сходимость графиков на рис. 2.11.

Как видно из графика, большая часть выработки транспортируется с минимальным уклоном ($0 - 1^\circ$) и усилие на шкиве трения привода ДКН в этих отметках колеблется около отметки 0,7 кН. При увеличении угла

транспортирования до 5° усилие на шкиве трения привода ДКН увеличивается до 1,21 кН, а при угле транспортировки $-2,4^\circ$ усилие на шкиве трения уменьшается до 0,5 кН.

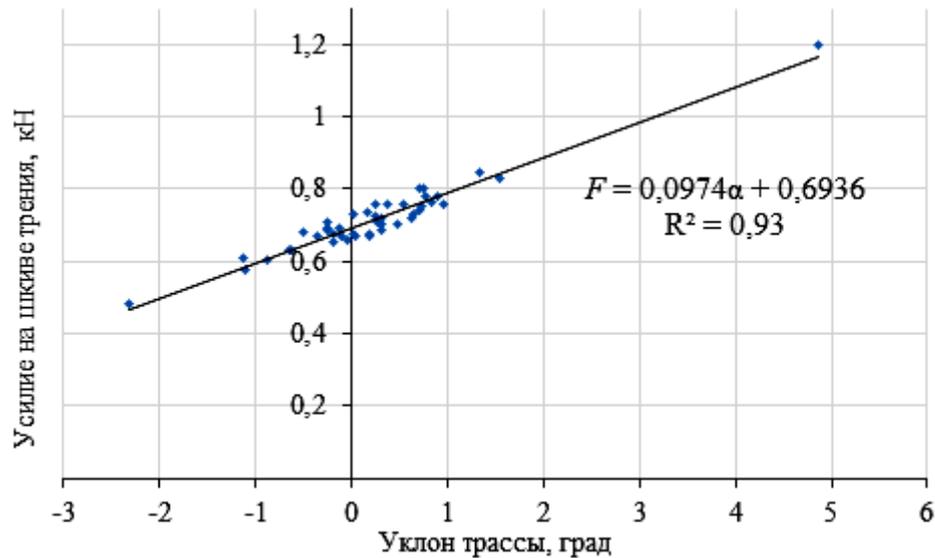


Рисунок 2.13 – Изменение усилия на шкиве трения ДКН от угла уклона трассы 802 бортового штрека пласта c_4 на горизонте 480 м ш/у «Павлоградское»

По результатам исследований эксплуатационных параметров ДКН при проведении выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов и пучащими породами почвы установлено второе научное положение, сущность которого заключается в том, что угол отклонения вектора транспортирования груза изменяет усилие на шкиве трения привода ДКН по линейной зависимости. Это позволяет координировать характеристики привода ДКН и параметров подвижного состава посредством разработанной модели оперативно-производственного управления процессами перемещения грузов.

2.5 Ранжирование показателей эксплуатационных параметров выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов

При отработке запасов в зонах геологических нарушений возникла необходимость адаптировать действующие технологические схемы участкового

транспорта к экстремальным условиям эксплуатации (повышенной сложности), провоцирующим непрогнозируемые отказы в их работе. К экстремальным условиям эксплуатации отнесены протяженные (более 2000 м) криволинейные выработки, подверженные активному влиянию таких геомеханических процессов, как проявления горного давления, интенсивное пучение пород почвы, знакопеременный профиль пути, обводнение рельсового пути др.

В руководствах по эксплуатации напочвенных канатных дорог нового поколения типа ДКНУ и ДКНП-1,6 заложено условие, что указанные транспортные средства предназначены для перевозки грузов в шахтных вагонетках и людей в пассажирских тележках по прямолинейным участковым и искривленным выработкам со знакопеременным профилем пути [10, 44]. В соответствии с этим условием трасса рельсового пути для напочвенных канатных дорог проектируется с допустимыми радиусами закруглений и ограниченным числом искривленных участков в виде заездов для выполнения маневровых работ или сопряжений с магистральными выработками (рис.2.1).

В этой связи в настоящей работе впервые предложено классифицировать условия эксплуатации напочвенных канатных дорог на:

- *типичные* – в сухих, прямолинейных выработках, длиной до 2000 м с уклоном рельсового пути до $\pm 5\%$; с умеренно пучащими почвами;
- *нетипичные* – в протяженных (длиной более 2000 м), непрямолинейных выработках с сильно пучащими почвами и знакопеременным профилем пути;
- *экстремальные* – в протяженных непрямолинейных выработках с интенсивным пучением пород почвы и обильными водопритоками. Радиус кривой на сопряжении, до 20 м.

Изменение профиля пути откатки грузов по выемочной выработке, являющееся результатом проявления пучения пород почвы, изучалась следующим образом. На длине трассы ДКН выемочных выработок пласта c_4 горизонта 480 м ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» были выделены участки изменения угловых отклонений от проектного положения

трасы с шагом $0,5^\circ$. В табл. 2.4 приведены суммарные длины встречающихся участков с одинаковым углом уклона.

Таблица 2.4 – Ранжирование угла уклона трассы по длине выемочных выработок пласта c_4 на горизонте 480 м ш/у «Павлоградское»

Угол уклона трассы, град	Суммарная длина встречающихся участков с одинаковым углом уклона, м				
	802 борт. штр.	802 сб. штр.	807 сб. штр.	809 борт. штр.	901 сб. штр.
-2,5	40	–	–	–	–
-1,5	–	40	–	–	–
-1	120	80	–	–	40
-0,5	280	200	240	80	240
0	400	320	720	640	520
0,5	600	520	720	1120	760
1	160	200	280	120	120
1,5	80	120	–	–	–
2	–	40	–	–	–
2,5	–	40	–	–	–
5	40	–	–	–	–

Результаты шахтных исследований пропускной способности выемочной выработки со сложной гипсометрией пласта (рис. 2.7 – 2.13) позволили установить, что, используемая в конструкции ДКНП-1,6, структурная схема автоматизированного управления процессами движения составов, позволяет контролировать лишь работоспособное состояние отдельных узлов дороги и только в типичных производственных ситуациях. Особенностью канатных дорог типа ДКНП-1,6 является наличие локальной схемы автоматизированного управления процессами перемещения составов, предусматривающей дистанционное управление режимами работы дороги оператором с пульта приводной станции и местное – кондуктором с линии движения по звуковым и световым сигналам [45]. По этой причине при проведении выемочных выработок в реальных условиях горного производства оператор ДКН не в

состоянии выполнять возложенные на него функции оперативного управления технологическими процессами перемещения грузов.

В табл. 2.5 приведены технологические несовершенства трассы движения грузов, характеризующие простои ДКН и вызывающие повреждения линейных элементов напочвенной канатной дороги.

Таблица 2.5 – Технологические несовершенства, характеризующие простои ДКН

Виды и категории несовершенств		Способ устранения	Применяемые способы и средства контроля	
Технологические	Завышенный вес состава	легкие	Приведение массы состава	Функциональное диагностирование
	Обводнение трассы	средние	Отвод воды	Контроль трассы
	Уширение пути	средние	Ремонт пути	Непосредственное измерение
	Отказ стрелочных переводов	средние	Ремонт стрелок	Путевые сигналы
	Заштыбовка рельсового пути	средние	Зачистка пути	Контрольная проверка
	Превышение уклона пути	тяжелые	Выравнивание уклона трассы	Теодолитная съемка
	Нарушение балластного слоя пути	тяжелые	Балластировка пути	Функциональное диагностирование
	Повреждение крепи выработки	тяжелые	Ремонт горных выработок	Контрольная проверка
	Пучение почвы выработки	тяжелые	Подрывка пород почвы	Теодолитная съемка
	Сход вагонеток с пути	тяжелые	Постановка вагонов на путь	Изменение величины тока
Заштыбовка кузова вагона породой	тяжелые	Зачистка кузова	Визуально	

Установленные виды и категории несовершенств были зафиксированы в процессе технического обслуживания ДКН на ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» и ремонта их узлов с применением субъективных методов диагностирования, основанных на визуальном контроле с использованием простейших приспособлений.

Результаты анализа природных помех и возмущений (технологических несовершенств), вызывающих простои напочвенных канатных дорог в реальных условиях горного производства показали, что, практически по всем указанным позициям, отсутствуют оперативные способы выявления симптомов отказов и средства контроля их развития.

Приведенные в табл. 2.5 показатели отказов в работе ДКН, составили основу банка данных для установления резервов производственного потенциала в технологических схемах участкового транспорта, организации управления информационными потоками и способах диагностирования режимов работы канатных дорог в условиях неопределенности.

По результатам их оценки было выявлено, что аппаратура дистанционного управления АДУ-11М, применяемая в конструкции напочвенных дорог, морально устарела и не соответствует горнотехническим требованиям, предъявляемым к машинам высокого технического уровня при эксплуатации их в нетипичных ситуациях. Кроме того, для повышения надежности и безопасности работы ДКН в искривленных выработках протяженностью $L \geq 2000$ м необходимо процессы транспортирования грузов по подземным горным выработкам сопровождать информационными потоками о текущих изменениях: эксплуатационного состояния выработок; положений состава; натяжений тягового каната; энергозатрат и прочих производственных ситуациях.

По результатам выполненных исследований установлено, что в нетипичных условиях эксплуатации напочвенных канатных дорог функции АСУТП обязательно должен координировать оператор ДКН. Вероятностный характер изменения условий взаимодействия линейных элементов ДКН во времени точно предсказать невозможно. Поэтому, для оперативного принятия решения необходимо располагать информацией о характере и интенсивности изменения их технических состояний на участках различной сложности. Установить закономерности поведения гибкого тягового органа и линейных элементов ДКН в условиях случайного функционирования можно по

результатам шахтных исследований параметров их физического состояния и моделирования условий взаимодействия со средой [41, 46, 47].

Программой исследований предусмотрено, что результаты шахтных испытаний составят основу банка данных для разработки структуры АСУТП и исходных требований на ее применение: в режимах стабильного движения состава в типичных условиях; при движении составов в криволинейных участках трассы; при превышении усилий в тяговом канате (нетипичные условия).

Необходимо отметить, что параметрами тягового органа определяются количество вагонов на канате при движении их в криволинейных выработках со знакопеременным профилем пути, производительность откатки горной массы из подготовительного забоя и доставки вспомогательных материалов в забой. Более того, техническое состояние тягового каната обеспечивает безаварийную работу транспортно-технологической системы в целом.

По результатам ранжирования факторов, характеризующих состояние транспортных средств в условиях неопределенности, установлено, что процесс проведения выемочных выработок с применением ДКН следует рассматривать как взаимодействующую систему, а прогнозирование возможных отклонений линейных элементов дороги выполнять с использованием современной функциональной диагностики и моделирования [48].

Последнее обусловлено тем, что взаимодействие линейных элементов ДКН и их состояние в условиях неопределенности оценивается по результатам выполнения возложенных на них функций. Индивидуальное прогнозирование ресурса открывает дополнительные пути для получения информации о состоянии объекта в различных условиях его эксплуатации [38].

С учетом вышеизложенного, программой настоящих исследований предусмотрено на первом этапе выполнить комплекс теоретических и экспериментальных исследований динамических нагрузок, возникающих в тяговых органах ДКН в режимах установившегося движения.

На втором этапе, для обеспечения ресурсо- и энергосбережения,

разрабатываются имитационная модель и структура автоматизированного управления транспортно-перемещающими процессами.

На третьем этапе, используя потенциальные возможности современных средств диагностирования горно-шахтного оборудования, предусмотрено установить закономерности поведения системы при прохождении составами нетипичных участков трассы, а также изучить реальные возможности технических средств передачи информации оператору и рабочим подготовительного забоя для принятия своевременных решений.

Выводы по разделу

1. По результатам выполненных исследований эксплуатационных показателей технологических схем проведения выемочных выработок со сложной гипсометрией пласта были выявлены потенциальные источники энергосбережения, а также технические, технологические и организационные факторы, определяющие функции и структуру оперативно-производственного управления внутришахтными грузопотоками породы.

2. Оценка технологичности транспортных процессов и операций в реальных условиях горного производства подтвердила, что в нештатных производственных ситуациях надежность функционирования напочвенных канатных дорог характеризуются частотой и тяжестью технических отказов, длительностью технологических простоев, а также способностью адаптироваться к спонтанным изменениям среды.

3. Установленные диапазоны эффективной работы напочвенных канатных дорог при проведении выемочных выработок со сложной гипсометрией пласта позволили классифицировать условия эксплуатации транспортно-технологических схем на типичные, нетипичные и экстремальные.

4. Установлена экспоненциальная зависимость изменения уклона трассы транспортирования от увеличения длины участка поднятия почвы в

подготовительных выработках при положительных значениях угловых отклонений.

5. Установлена логарифмическая зависимость изменения уклона трассы транспортирования от увеличения длины участка поднятия почвы в подготовительных выработках при отрицательных значениях угловых отклонений.

6. Установлена линейная зависимость изменения усилия на шкиве трения привода напочвенной канатной дороги от угла уклона трассы транспортирования.

7. Технологические параметры проведения выемочных выработок зависят от профиля трассы транспортирования грузов и угловых отклонений вектора направленности движения, снижаясь по экспоненциальной зависимости при положительных значениях и по логарифмической зависимости при отрицательных значениях от увеличения длины участка поднятия почвы в подготовительных выработках, пройденных по падению (восстанию) угольного пласта. Это позволяет прогнозировать готовность транспортно-технологической системы к выполнению горнопроходческих работ, оснащенных напочвенными канатными дорогами.

8. Угол отклонения вектора транспортирования груза изменяет усилие на шкиве трения привода ДКН по линейной зависимости. Это позволяет координировать характеристики привода ДКН и параметров подвижного состава посредством разработанной модели оперативно-производственного управления процессами перемещения грузов.

РАЗДЕЛ 3
ФОРМАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИЙ УПРАВЛЕНИЯ
ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ НАПОЧВЕННЫХ
КАНАТНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
ИЗМЕНЕНИЯ ПРОФИЛЯ ОТКАТКИ

3.1 Оперативно-производственное управление шахтными грузопотоками

Процесс управления шахтными грузопотоками происходит на основе принятия, хранения, передачи и переработки информационных потоков.

Организация двухступенчатой диспетчерской службы на шахте объясняется наличием сложных схем подземного транспорта и нетипичных условий его эксплуатации. Контроль и управление ВШТ в первую очередь предусматривают сбор информации о состоянии рельсового пути, подвижного состава и событиях, происходящих в течение смены на объектах транспорта. Поступающая информация должна подаваться транспортному диспетчеру в форме, удобной для передачи каналами связи, и поступать через систему автоматизированного управления шахтой горному диспетчеру для выработки команд.

Учитывая общие правила информационного обеспечения горных предприятий, для создаваемых АСУ разрабатываются специальные команды управления, которые передаются исполнительным устройствам [49]. Эти команды, действуя на определенные параметры шахты, соответствующим образом изменяют состояние ее работы.

За своей сущностью и технической оснащённостью подсистема оперативно-диспетчерского управления грузопотоками породы относится к классу систем "человек – машина", то есть к разомкнутым системам автоматизированного управления, которые замыкаются через оператора ДКН. Таким образом, информация, связанная с отдельным удалением угля и породы

из подготовительного забоя выемочной выработки напочвенными дорогами является неотъемлемой частью процесса оперативно-производственного управления не только транспортного диспетчера, но и оператора ДКН.

Однако в нетипичных условиях комбайнового проведения выемочных выработок существующая структура автоматизированного управления ДКН не отвечает современным требованиям, поскольку руководящее влияние ее оператора ограничено.

В этой связи формализация функций и структуры АСУТП транспортирования породы в сложных условиях эксплуатации требует смены роли оператора ДКН. В функциональном отношении оператор ДКН становится руководителем транспортно-технологического процесса и контролирует не только процесс движения состава в выемочных выработках, но и соблюдение правил безопасности работ при выполнении производственного задания.

Алгоритмизация процессов управления создает возможности оптимального распределения функций контроля и управления между оператором ДКН, автоматическими и вычислительными устройствами и согласования характеристик человека и этих устройств (рис. 3.1).

Применение вычислительного устройства обеспечивает полную автоматизацию операций управления процессом и работы самой системы.

При проведении выемочных выработок в сложных условиях залегания угольных пластов система управления технологическими процессами должна включать технические устройства автоматического сбора информации о параметрах объекта (технологические датчики); средства передачи, превращения, переработки и представления информации; формирование и выдачи команд управления или "советов" диспетчеру (оператору).

Исходя из ее заданий, должны строиться структурные сети локальных систем автоматического управления технологическими процессами [19]. Локальные системы ДКН будут подсистемами низшего ранга в системе АСУТП комбайнового проведения выемочных выработок.

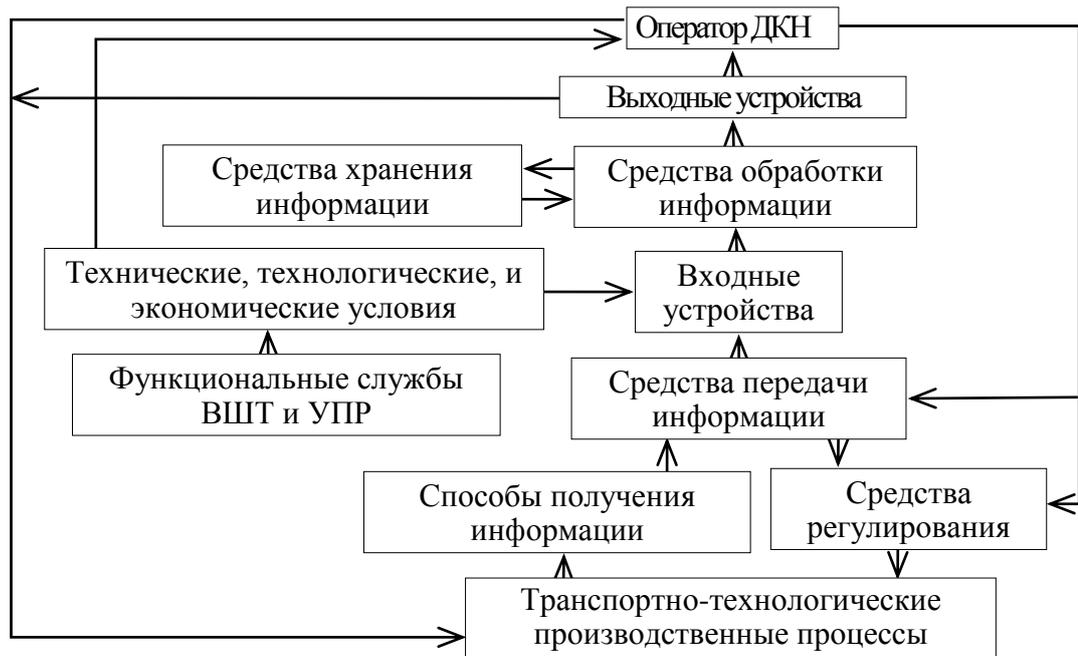


Рисунок 3.1 – Схема управления материальными и информационными потоками при транспортировке грузов в шахте

С учетом вышеизложенного функциональные требования к локальной системе, ее структура и технический уровень (виды управления), выбор технических средств реализации должны определяться на основе:

- а) общих требований, предъявляемых АСУ шахты к локальным системам управления и специфическим требованиям к данной системе;
- б) технологических и технико-экономических требований к управлению процессами перемещения породы в условиях неопределенности;
- в) технологических блокировочных взаимосвязей локальных систем, которые реализуют технологические взаимосвязи процессов погрузки породы в шахтные вагоны, перемещения составов в подземных выработках сложной конфигурации и выгрузки породы из вагонов в бункер.

С учетом требований [50, 51] и функций ДКН, выполняемых при перемещении грузов в нетипичных условиях шахтной среды, структура АСУДКН нового поколения должна включать: аппарат управления, который регламентирует его функционирование; математическое и программное

обеспечение; центральный пункт управления с управляющей ЭВМ; технические средства съема и фиксации информации; телемеханическую систему передачи большого объема информации, а также автоматические и дистанционные локальные системы управления технологическими процессами.

По результатам выполненной оценки характерных особенностей оперативно-производственного управления шахтными грузопотоками установлено, что в функциональном отношении автоматизированная система ДКН нового поколения должна обеспечивать:

- а) централизованный контроль всех технологических процессов перемещения породы в шахте;
- б) централизованный контроль параметров безопасности;
- в) автоматизированный контроль и диагностирование оператором ДКН процесса выгрузки породы из шахтных вагонов.

В соответствии с этими требованиями техническое обеспечение АСУ ТТС должно состоять из трех частей:

- к первой части относится аппаратура сбора информации, которая располагается непосредственно в объекте управления;
- вторая часть должна быть представлена аппаратурой принятия, обработки и реализации информации, поступающей оператору ДКН с объектов управления;
- третьей ответственной частью технического обеспечения АСУ ДКН является телемеханическая система, обеспечивающая передачу потоков информации подземному диспетчеру для принятия решений.

Средства отбора и получения данных предназначены для формирования информации в виде, удобном для передачи ее с помощью телемеханической системы или введения непосредственно в вычислительный комплекс.

К автоматическим средствам следует отнести датчики положения подвижного состава и датчики состояния линейных узлов ДКН, а также специализированные устройства съема информации АСУ ТП.

Основной особенностью большинства датчиков состояния работы машин и механизмов является непрерывность характера измеряемых ими параметров [19]. Наиболее распространенные виды датчиков и устройств состояния работы горных машин и механизмов приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Датчики, применяемые в угольной промышленности

Наименование	Назначение и отрасль применения
Датчик перемещения комбайна ДПК-1	Контроль величины перемещения проходческого комбайна и его направления
Импульсный датчик контроля положения механизмов ДПК1-3,5	Контроль положения больших подвижных объектов, которые имеют ферромагнитные свойства
Устройство УСВ-1 для учета шахтных вагонеток	Для счета шахтных вагонеток в приствольных дворах и надшахтных зданиях
Электронно-гидравлические конвейерные весы ЕГВ	а) Автоматическое взвешивание материала, какой транспортируется ленточными конвейерами; б) Выдача сигналов управления технологическим процессом
Реле контроля скорости РСА, РС-67	а) Контроль скорости движения ленты конвейера (с датчиком УНДС-2); б) Контроль движения и обрыва цепи конвейера (с датчиком ДМ-2)
Датчик контроля ДЗШ	Контроль в пунктах перегрузки ПИ из конвейера на конвейер для фиксации уровня материала в бункерах
Датчик контроля схождения ленты КСЛ-2	а) Контроль аварийного схождения конвейерной ленты; б) Конечный выключатель
Аппаратура АБСС-1	Автоматическое управление сигнальными огнями и приводами стрелочных переводов рельсового транспорта
Аппаратура ЧУС-3	Для управления стрелочными переводами из кабины машиниста электровоза
Аппаратура контроля воздуха АКВ-2	Контроль количества воздуха, поданного вентиляторами местного проветривания
Аппаратура защиты РУКС-4	Отключение контактной сети электровозной откатки в случае прикосновения человека к контактному проводу; при снижении сопротивления изоляции менее 300 Ом, а также при всех видах короткого замыкания

Анализ функций ДКН в технологической системе комбайнового проведения выемочных выработок позволил сделать выводы, что приведенная в табл. 3.1 аппаратура, может быть использована не только для введения командных сигналов, но и для получения информации из рабочих мест.

Командные сигналы определяют:

- производственное включение и отключение шахтных установок;
- переключение направлений движения груженых и порожних составов;
- подачу груженых составов для выгрузки породы из шахтных вагонов.

К информативным сигналам из рабочих мест относятся сигналы:

- начала и конца движения груженых и порожних составов;
- введения кодируемой информации об объеме оставшейся породы в кузове шахтного вагона;
- шифра причин отказов и простоев эксплуатируемого оборудования;
- определения координат зон активных проявлений горного давления для обеспечения эксплуатационного состояния выемочных выработок.

3.2 Моделирование функций оперативно-производственного управления процессами перемещения породы при проведении выработок

Совершенствование системы оперативно-производственного управления процессами перемещения породы напочвенными канатными дорогами в условиях неопределенности относится к классу многофакторных задач, решение которых связано с учетом большого количества случайных характеристик, влияющих на описываемые процессы и операции. Для обоснования структурной схемы автоматизированного управления процессами перемещения грузов потребовалось разработать имитационную модель транспортирования породы от подготовительного забоя до места ее выгрузки [52, 53].

Необходимость выполнения данных исследований заключалась в том, чтобы из большого числа признаков выбрать наиболее существенные, которые определяют функции и структуру автоматизированного управления технологическими процессами.

Шахтными исследованиями доказано, что технологические процессы транспортирования породы в протяженных подземных выработках зависят от множества случайных явлений. В этой связи безотказная работа напочвенных канатных дорог может осуществляться при наличии следующих условий:

- 1) обоснованного выбора эксплуатационных параметров напочвенных канатных дорог для реальных условий шахтной среды;
- 2) своевременной передачи информации оператору ДКН о вероятности появления нетипичных условий эксплуатации;
- 3) автоматизированного управления процессами перемещения породы в пределах эксплуатационных параметров напочвенных канатных дорог.

Обеспечивать эффективное управление процессами перемещения породы в условиях неопределенности оператор ДКН может только обладая своевременной и достоверной информацией о существующей обстановке и точности прогнозирования случайных событий в характерных участках трассы. В теории надежности механических систем поведение объекта принято рассматривать как результат его взаимодействия с окружающей средой [38].

В подразделе 2.4 отмечалось, что значительная часть отказов в работе напочвенных канатных дорог обусловлена случайными событиями, связанными с технологией транспортирования и характером взаимодействия элементов ДКН в реальных условиях эксплуатации. Поэтому АСУ перемещения породы позволит с большой степенью достоверности оценивать вероятность безотказной работы транспортно-технологической системы в нетипичных условиях шахтной среды и передавать информацию оператору ДКН.

Рассматривая отказы как случайные события, которые формируются в результате негативного воздействия шахтной среды или нарушения типичных

условий взаимодействия, транспортная цепочка с ДКНП-1,6 была разбита на участки с характерными состояниями, процессами и операциями.

На рис. 3.2 символами А, В, С...F отмечены потенциально опасные участки трассы, на которых чаще всего происходят отказы в работе напочвенной канатной дороги, а также повреждения тягового органа и линейных элементов ДКН.

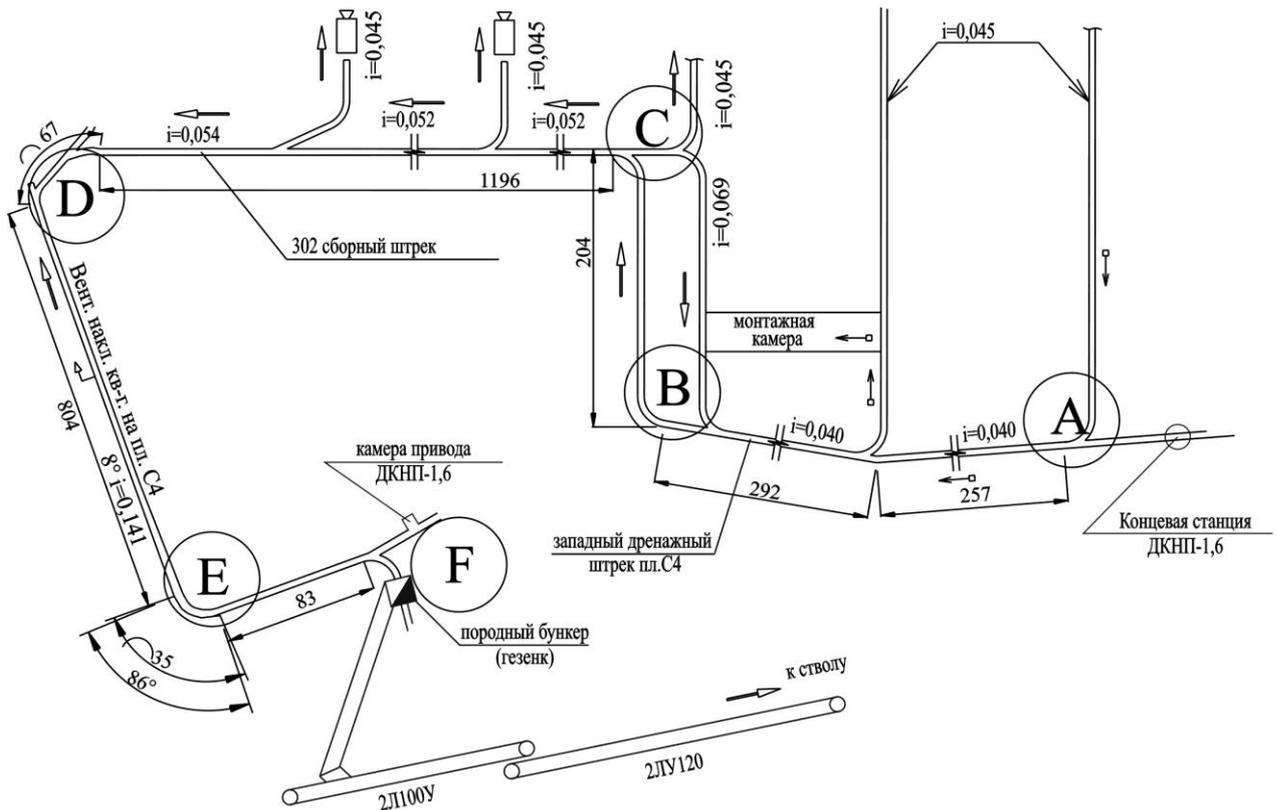


Рисунок 3.2 – Характерные состояния технологической схемы

Для характерных участков трассы с завышенными уклонами рельсового пути, таких как ВС и СД, были выполнены исследования по установлению характера изменения эксплуатационного состояния участковых и, примыкающих к ним выемочных выработок в зонах с интенсивным пучением пород почвы и обильными притоками воды (см. рис. 1.2).

Приведенные ранее на рис. 2.7 – 2.13 показатели изменения параметров трассы выемочных выработок пласта c_4 горизонта 480 м ш/у «Павлоградское» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» послужили базой для установления характерных

особенностей распределения профиля рельсового пути выемочных выработок с интенсивным пучением пород почвы на участки с превышением проектного направления трассы и с заниженным углом наклона трассы.

Результаты исследований показателей надежности ТТС проведения выемочных выработок с применением ДКН позволили установить, что их эксплуатационные параметры зависят от профиля трассы транспортирования грузов и угловых отклонений вектора направленности движения.

Установленные частоты и количественные показатели распределения участков выемочной выработки с отрицательным и положительным углом наклона трассы определяют коэффициент сложности условий эксплуатации выемочных выработок с интенсивным пучением пород почвы и обильными притоками воды. Полученные зависимости позволили прогнозировать готовность ТТС к выполнению горнопроходческих работ в подготовительных забоях, оснащенных напочвенными канатными дорогами.

Приведенные на рис. 2.11 и рис. 2.13 показатели изменения усилия на шкиве трения ДКН от угла уклона трассы послужили поводом для выдвижения гипотезы, что реакция электропривода ДКН на изменения тягового усилия в канате и шкиве трения должна информировать оператора дороги о появлении нетипичных ситуаций в эксплуатируемой выработке. Подобные события послужили поводом для координации параметров взаимодействия элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы». Причиной возникновения таких событий являются появление на трассе участков с интенсивным пучением пород почвы и обводнением выработки.

Установленная закономерность поведения ТТС «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» обусловила необходимость проведения специальных исследований по обоснованию параметров ДКН при появлении нештатных событий. Вызвано это тем, что в нетипичных условиях эксплуатации ДКН, рекомендуемые методики моделирования процессов [52] не учитывают влияние случайных факторов шахтной среды и отклонения их показателей от средних величин.

В этой связи, действие случайных факторов рекомендовано прогнозировать вероятностными категориями, т.е. путем построения и комплексного исследования модели имитации технологического процесса с учетом реакции привода ДКН на изменения эксплуатационного состояния выемочных выработок в реальных условиях шахтной среды.

Предметом прогнозирования служит идеализированный объект – расчетная схема или блок-схема, основанные на изучении предшествующего опыта проектирования и эксплуатации аналогичных объектов; результатах шахтных исследований и хронометражных наблюдений.

Задача имитационного моделирования состояла в том, чтобы на основе теории и обобщения фактических данных объяснить принципы автоматизированного управления транспортно-перемещающими процессами для характерных участков трассы в типичных условиях эксплуатации ДКН и предсказать развитие событий в нетипичных условиях шахтной среды.

Блок-схема имитационной модели включает комплекс взаимосвязанных событий, обусловленных порядком выполнения погрузочно-разгрузочных, транспортных и маневровых работ (рис. 3.3).

При комбайновом проведении выработок с использованием напочвенных канатных дорог в качестве единого транспортного средства возможно объединение некоторых процессов и операций [54, 55]. Поэтому, в рассматриваемой блок-схеме, функции блока формирования груженых составов оценивались совместно с блоком погрузки породы комбайном в составы вагонов. Критерий качества управления в данном случае комбинированный.

Необходимо отметить, что базовыми элементами анализируемых функциональных блоков являются подвижной состав, рельсовый путь и его компоненты, составляющие в целом блок путевого развития. Характерным примером блока путевого развития является типовая схема транспортирования грузов дорогой ДКНП-1,6 (рис. 3.2), состоящая из потенциально опасных событий на участках А, В, С...F.



Рисунок 3.3 – Блок-схема модели имитации работы транспортно-технологической системы при проведении выемочных выработок

Задача выбора рациональной структуры АСУ ТП перемещения породы, кроме оценки ожидаемых событий в блоках и изучения факторов, влияющих на эти события, должна включать в себя также расчеты эксплуатационных параметров ДКН; пунктов погрузки и разгрузки горной массы; обмена груженых составов на порожние; параметры аккумулирующего бункера и др.

Характеристики функциональных блоков и критерии их оценки, определяющие область эффективного действия АСУ ТП приведены в табл. 3.2.

В имитационной модели, в целях энергосбережения и компенсации простоев проходческих забоев по вине транспорта, в технологическую цепочку грузопотока породы введено промежуточное звено – аккумулирующий бункер. Блок работы аккумулирующих емкостей (породный бункер) связан с блоком путевого развития через входные и выходные состояния. Руководствуясь требованиями к функциям автоматизированных систем [56, 57] программой исследований предусмотрено, что создаваемая структура оперативного управления грузопотоками породы от подготовительного забоя до

аккумуляторного бункера будет выполнять через оператора ДКН информационные и управляющие функции, а также функции защиты системы.

Таблица 3.2 – Критерии оценки системы перемещения породы в подземных выработках

Аналитическая характеристика объекта	Критерии оценки параметров системы
<p>Блок погрузки породы в вагоны Объем горной массы $Q_{пз}$ за цикл $Q_{пз} = S \cdot l_{ц} \cdot \gamma_{ц} \cdot k_p, м^3$ Среднее значение грузопотока $u_1 = \frac{S \cdot L_{п} \cdot \gamma_{ц}}{60 \cdot t_p}, м/мин$</p>	<p>S – сечение выработки в проходке, $м^2$; $\gamma_{ц}$ – плотность угля и породы в массиве, $т/м^3$; $l_{ц}$ – подвигание забоя за цикл, $м$; k_p – коэффициент разрушения породы; t_p – время работы комбайна по погрузке в течение смены, $ч$; a_2 – емкость порожних вагонеток на погрузочном пункте; a_1 – емкость загруженных вагонеток на погрузочном пункте; $L_{п}$ – среднесменный темп проходки, $м$;</p>
<p>Блок транспорта по выработке Допустимое количество вагонов по прочности сцепки, $шт$ $Z = \frac{P_{сц}}{(m_0 + m) \cdot g \cdot (\omega \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}$ Запас прочности тягового каната $S = Q(\sin \alpha + 0,02 \cos \alpha) + 0,3q_2 L_k \cos \beta + 0,1 Q_m + 0,2 L_k$ Сила тяги холостой ветви, $Н$ $F_{1-2} = g \cdot p_k (\omega_k \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot l$ Сила тяги грузовой ветви, $Н$ $F_{3-4} = g \cdot (Z \cdot (m_0 + m) + m_{бв}) \cdot (\omega \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + g \cdot p_k (\omega_k \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot l$</p>	<p>V_b – емкость вагонетки, $м^3$; ρ_3 – коэффициент заполнения вагонетки; γ – насыпная масса груза, $т/м^3$; $P_{сц}$ – допустимая нагрузка на сцепку, $кН$; m_0 и m – масса тары и груза вагонетки, $кг$; ω – коэффициент сопротивления движения вагонетки; α – угол наклона выработки, $град$; P_k – погонная масса тягового каната; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, $м/с^2$; l – максимальная длина дороги, $м$; Z – число груженых вагонеток; $m_{бв}$ – масса буксировочной вагонетки, $кг$; $V_n = 2$ $м/с$ – номинальная скорость движения тягового органа; β – средневзвешенный угол наклона знакопеременной выработки (для выработок с односторонним уклоном $\beta = \alpha$), $град$; q – погонный вес каната, $даН/м$; Q_n – вес натяжного груза в сбегавшей со шкива ветви каната, $даН$; Q – максимальный вес состава, $даН$; $\eta = 0,8$ – КПД приводной станции; $k_c = 0,9$ – коэффициент снижения скорости; дороги.</p>
<p>Блок обмена груженых составов на порожние $t_{общ} = t_1 + t_2 \dots + t_n$</p>	<p>L_p – длина разминки, $м$; R_{min} – минимальный радиус закругления пути; C – тип стрелочных переводов; Θ_m – суммарное время маневров на сопряжении, $с$; t_1, t_2, \dots, t_n – нормативы времени выполнения маневровых работ на разминке.</p>
<p>Блок путевого развития Тяговое усилие приводного блока, $Н$ $F_{н-с} = F_{1-2} + F_{3-4}$ Мощность привода, $кВт$ $N = \frac{F_{н-с} \cdot V_n}{1000 \cdot \eta}$ $Q_p = \frac{3,6 \cdot m \cdot Z}{T}$</p>	<p>P – тип рельс, шпал; S_k – ширина колеи; α – уклон рельсового пути; Δh – превышение одного рельса над другим; ΔS_k – уширение (сужение) колеи; R_b – радиусы закругления, $м$; L_p – длина прямолинейного участка, $км$; L_p – расстояние между разминками, $км$; n – количество стрелочных переводов; S_p – расчетное разрывное (суммарное всех проволок в канате) усилие, $Н$; $[n]$ – допустимый запас прочности каната; $[n] = 6$ – при транспортировании людей; $[n] = 5$ – при транспортировании грузов</p>
<p>Блок разгрузки составов Очередность подачи вагонов под разгрузку; Время выгрузки породы из вагона, t_b; Коэффициент снижения полезного объема кузова шахтных вагонов $\mu' = \frac{s_k}{m \cdot h} = 1 - \frac{(\delta' + 0,107m)}{h}$</p>	<p>$F_{тpи}$ – сила трения породы; $G_{тpи}$ – вес горной массы в вагонетке; ψ_n – коэффициент сцепления породы с внутренней поверхностью вагона; c_{11} – вес частицы первичного слоя материала; V – емкость вагона; m – ширина вагона, $м$; h – высота вагона от головки рельсов до верхней кромки кузова, $м$; l – длина кузова по верхней кромке, $м$; γ – плотность груза в насыпке, $т/м^3$; μ – коэффициент использования объема шахтного вагона; s_k – полезная площадь поперечного сечения кузова, $м^2$; μ' – коэффициент использования поперечного сечения вагона; δ' – зазор между головкой рельса и дном кузова, $м$.</p>

То есть напочвенная дорога, оснащенная АСУ ТП должна учитывать, контролировать и автоматически передавать на пульт оператора информацию о состоянии линейных элементов ДКН, рельсового пути и эксплуатационного состояния выемочной выработки в типичных и нетипичных ситуациях.

Основными требованиями к информационным функциям АСУ ТП являются: централизованный контроль за ходом технологического процесса; диагностика состояния оборудования; регистрация истории развития процесса (опция); вычислительные и логические функции информационного характера.

Поэтому для прогнозирования возможных негативных событий был сформирован банк данных с характеристиками условий эксплуатации транспортных выработок, применяемого оборудования и требованиями к путевому хозяйству и средствам безопасности. Например, основной операцией блока путевого развития является операция перевода подвижного состава в очередное состояние с характерными событиями. Чтобы система оперативного управления могла эффективно координировать процессы перемещения грузов в диапазоне событий данного блока, оператор, с помощью программно-вычислительного комплекса, должен прогнозировать возможное развитие событий, т.е. располагать данными о характере взаимодействия элементов напочвенной канатной дороги в реальных условиях шахтной среды.

3.3 Математическое описание процесса взаимодействия тягового органа с линейными элементами напочвенных канатных дорог

3.3.1 Принципиальная схема функционирования напочвенной канатной дороги в типичных условиях эксплуатации

Для подтверждения результатов выполненного анализа эксплуатационных параметров ДКН предусмотрено выполнение теоретических исследований взаимодействия линейных элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» в нетипичных условиях горного производства. Необходимость их выполнения вызвана отсутствием

исследований и рекомендаций по данному техническому направлению и низкими показателями работы АСУТП при транспортировании грузов в условиях неопределенности.

Приведенные в подразделах 2.2 и 2.3 результаты исследований параметров ДКН в реальных условиях горного производства подтвердили факт, что основными их функциональными элементами являются привод, тяговый канат и подвижной состав. Условия их взаимодействия характеризуются состоянием трассы (условия среды), натяжением тягового каната (технические параметры) и массой подвижного состава (параметры технологии).

Исходя из практики, техническая задача АСУ ТП откатки породы ДКН характеризуется условиями взаимодействия привода и тягового каната в зависимости от состояния трассы, рельсового пути и массы подвижного состава [58]. То есть, оператор ДКН должен, на основе анализа информации об изменении параметров электропривода дороги, диагностировать техническое состояние (дефекты и повреждения) тягового каната, трассы, координировать массу подвижного состава и прогнозировать экстремальные ситуации.

В виду отсутствия базы данных о реальных причинах возникновения предельных состояний в узлах ДКН и характере развития многих неисправностей в условиях неопределенности потребовалось разработать математическую модель взаимодействия линейных элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы».

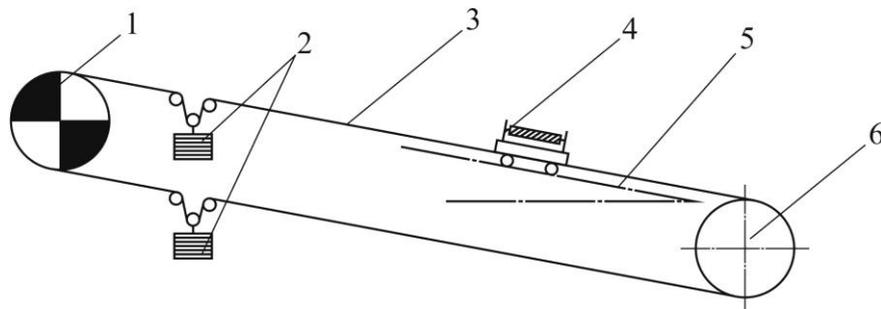
Для подтверждения выдвинутой гипотезы была разработана расчетная схема моделирования динамических нагрузок в тяговых органах ДКН. Динамические нагрузки на приводе ДКН определяют массу и скорость движения состава при вхождении вагонов в зоны со знакопеременным профилем пути и выходе из них.

Используя результаты предшествующих исследований [10, 59, 60] для решения поставленной задачи в качестве входного параметра системы принималась скорость приводного шкива, а выходным – коэффициент

динамичности, равный отношению максимального натяжения каната ($F_{\text{Дmax}}$) к его установившемуся значению (F_c)

$$k_{\text{Д}} = \frac{F_{\text{Дmax}}}{F_c}.$$

Принципиальная кинематическая схема работы напочвенной канатной дороги представлена на рис. 3.4.



1 – привод ДКН; 2 – натяжные грузовые устройства; 3 – тяговый канат; 4 – тележка буксировочная с запасом каната; 5 – рельсовый путь; 6 – концевой блок

Рисунок 3.4 – Принципиальная кинематическая схема напочвенной канатной дороги

Напочвенная канатная дорога работает по челноковой схеме. Буксировочная тележка с составом вагонеток перемещаются по рельсовому пути тяговым канатом, который при включении привода приводится в движение с помощью шкива трения. Движение каната по почве выработки регулируется направляющими роликами. Сцепление тягового каната со шкивом трения и его натяжение создаются грузовыми натяжными устройствами.

Особенность функционирования принципиальной кинематической схемы напочвенной канатной дороги заключается в следующем:

1) подсистема «подвижной состав – тяговый канат – шкив трения» имеет челноковую схему работы;

2) тяговый канат замкнут в кольцо на буксировочной тележке и поэтому не бесконечен;

3) грузовые натяжные устройства, расположенные у привода на обеих ветвях тягового каната, создают начальное натяжение, необходимое для реализации тягового усилия;

4) система расположения узлов ДКН относительно почвы выработки пространственная.

В процессе эксплуатации ДКНП-1,6 установлено, что в период неустановившегося движения возникают тяжелые условия взаимодействия каната напочвенной дороги со шкивом и роликами. Обусловлено это тем, что в подобных ситуациях в упругом звене (канате) и подвижном составе возникают вынужденные колебания, которые провоцируют проскальзывание тягового органа на шкиве привода ДКН, снижая таким образом их ресурс.

3.3.2 Алгоритм взаимодействия элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы»

Исследования эксплуатационных параметров напочвенных канатных дорог при транспортировании грузов в условиях неопределенности требуют обоснованного выбора характерного для шахт региона участка, точности измерительной техники и достаточного для обработки количества данных.

В соответствие с программой и методикой (Приложение А) шахтный эксперимент по определению диапазона эффективного действия системы автоматизированного управления движением состава для заданного маршрута между действующим подготовительным забоем (точка А) и аккумулярующим бункером (точка F) состоит из нескольких этапов.

На первом этапе криволинейная трасса рельсового пути напочвенной канатной дороги разбивается по пикетам на характерные участки с соответствующими событиями, т.е. расстояниями прямолинейных и криволинейных участков, уклонами, радиусами поворотов, заездами для маневровых работ, типами стрелочных переводов и другими признаками.

В табл. 3.3 приведены показатели, характеризующие расчетную схему (рис. 2.5) применительно к описываемому маршруту движения грузопотоков.

Таблица 3.3 – Характеристика маршрута движения грузов

Характерные участки трассы	Показатели маршрута			
	Длина участка, м	Уклон пути,	Средняя скорость, м/мин	Время движения состава, мин
AB	l_5	i_5	v_5, v'_5	t_5
BC	l_4	i_4	v_4, v'_4	t_4
CD	l_3	i_3	v_3, v'_3	t_3
DE	l_2	i_2	v_2, v'_2	t_2
EF	l_1	i_1	v_1, v'_1	t_1

Приведенные в табл. 3.3 показатели характеризуют:

$l_5 - l_1$ – длины исследуемых участков AB ... EF на маршруте A – F;

$v_5 - v_1$ – средние скорости движения груженого состава вагонеток на исследуемых участках маршрута AB – EF;

$v'_5 - v'_1$ – средние скорости движения порожнего состава вагонеток на исследуемых участках маршрута AB – EF;

$i_5 - i_1$ – уклоны пути на исследуемых участках AB – EF;

$t_5 - t_1$ – время движения составов на исследуемых участках AB – EF.

По результатам оценки условий работы ДКН выбирается характерный прямолинейный участок трассы, на котором исследуются: эксплуатационные параметры напочвенной канатной дороги в режимах различной тяжести; условия взаимодействия тягового органа с линейными элементами (блоками, шкивами, роликами), а также варианты управления процессами перемещения составов.

В основу автоматизированного управления процессами взаимодействия системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» ДКН положена идея минимизации энергозатрат при прохождении составом

характерных участков маршрута и обеспечения безопасных и безаварийных условий работы тягового органа в типичных, переходных и нетипичных производственных ситуациях.

В настоящей работе добункерную технологическую схему участкового вспомогательного транспорта предлагается представить в виде сетевого графика, который является наиболее удобной формой моделирования комплекса работ по управлению грузопотоками. Сущность предлагаемой схемы управления заключается в том, что оператор ДКН фиксируя показания датчиков и приборов, определяет уровень тяжести выполняемых транспортно-технологических операций и, путем изменения характеристик привода, может выбрать ресурсосберегающий и безопасный вариант осуществления транспортно-перемещающих работ для конкретного участка маршрута.

Исходную информацию для решения задач оперативного управления процессами откатки горной массы из подготовительных забоев выемочных выработок составляют характеристики их эксплуатационного состояния и результаты исследований режимов работы напочвенной канатной дороги [36]. Показателем эффективной работы оперативной системы управления ДКН является рациональное время движения груженого и порожнего составов при соблюдении расчетных параметров скорости, массы состава и тормозного пути в типичных условиях проведения выемочных выработок.

При установлении эксплуатационных параметров напочвенной канатной дороги в типичных условиях ее работы для выбранного прямолинейного участка пути рассчитывались допустимые весовые показатели состава, определялось расчетное время прохождения исследуемого участка пути и регистрировались показания приборов на пульте управления, отражающие характеристики привода ДКН при изменении режимов его работы.

Согласно рекомендаций [25], при циклично-поточной схеме организации труда в проходческих забоях процессы разрушения массива, погрузки горной массы в транспортные средства и собственно ее транспортирование до мест перегрузки согласовывались во времени с процессами крепления забоя.

На практике, при расчетах параметров транспортирования горной массы учитываются средние минутные грузопотоки за период работы проходческого оборудования. Согласно рекомендациям [37] среднее значение грузопотока за машинное время работы проходческого комбайна определяется как

$$u_1 = \frac{S \cdot L_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{ц}}}{60 \cdot t_{\text{р}}}, \text{ т/мин};$$

где S – сечение выработки в проходке, м²;

$\gamma_{\text{ц}}$ – плотность угля, породы или горной массы в массиве, т/м³;

$L_{\text{п}}$ – среднесменный темп проходки, м;

$t_{\text{р}}$ – время работы комбайна по погрузке в течение смены, ч.

Суммарный объем породы $Q_{\text{пз}}$, получаемой с одного цикла подвигания забоя и погружаемой комбайном в шахтные вагоны составит

$$Q_{\text{пз}} = S \cdot l_{\text{ц}} \cdot \gamma_{\text{ц}} \cdot k_{\text{р}}, \text{ м}^3;$$

где $l_{\text{ц}}$ – подвигание забоя за цикл, м;

$k_{\text{р}}$ – коэффициент разрушения породы.

В соответствие с программой и методикой шахтных исследований (Приложение А), в качестве аналога автоматизированного управления процессом вывоза горной массы из проходческого забоя принята напочвенная канатная дорога нового поколения типа ДКНП-1,6, оснащенная приводом с тяговым усилием до 60 кН и обеспечивающая скорость движения груженых составов – 2 м/с.

В типичных условиях эксплуатации показателями оперативного управления ДКН являются допустимые весовые нормы состава, расчетное время прохождения составом исследуемого маршрута, тяговое усилие приводного блока и производительность ДКН [71, 72].

Допустимое количество вагонеток в составе (весовая норма состава) из условия прочности сцепок определяется выражением

$$Z_B = \frac{P_{\text{сц}}}{(m_0 + m) \cdot g \cdot (\omega \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)}, \text{ шт.};$$

где $P_{\text{сц}}$ – допустимая нагрузка на сцепку, кН;

m_0 и m – соответственно масса тары и груза вагонетки, кг;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²;

$\omega = 0,015$ – коэффициент сопротивления движения вагонетки;

α – угол наклона выработки, град.

Масса груза вагонетки ВД-2,5 составляет

$$m = V_B \cdot \rho_3 \cdot \gamma, \text{ кг.};$$

где V_B – емкость шахтной вагонетки, м³;

ρ_3 – коэффициент заполнения вагонетки породой;

γ – насыпная масса груза, т/м³.

Расчетная схема напочвенной канатной дороги ДКНП-1,6 приведена на рис. 3.5.

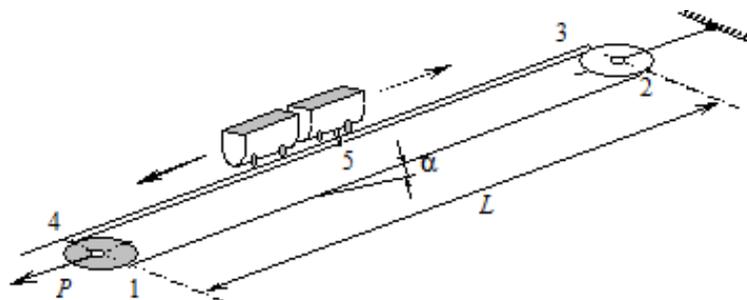


Рисунок 3.5 – Расчетная схема ДКНП-1,6

Техническую производительность и тяговое усилие приводного блока напочвенной канатной дороги в процессе движения состава груженых

вагонеток по маршруту А – F (табл. 3.3) определяют силы тяги холостой и грузовой ветвей, тяговое усилие приводного блока, мощность привода ДКН:

– сила тяги холостой ветви

$$F_{1-2} = g \cdot p_k (\omega_k \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot l, \text{ Н};$$

где $p_k = 1,85$ – погонная масса тягового каната, кг/м;

$\omega_k = 0,2$ – коэффициент сопротивления движению каната;

$l = 3200$ м – максимальная длина канатной дороги;

– сила тяги грузовой ветви

$$F_{3-4} = g(Z_B \cdot (m_0 + m) + m_{\text{бв}}) \cdot (\omega \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) + g p_k (\omega_k \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot l, \text{ Н};$$

где Z_B – число груженых вагонеток;

$m_{\text{бв}}$ – масса буксировочной вагонетки, кг.

Тяговое усилие приводного блока

$$F_{\text{н-с}} = F_{1-2} + F_{3-4}, \text{ Н}.$$

Мощность привода ДКН

$$N = \frac{F_{\text{н-с}} \cdot V_{\text{н}}}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт};$$

где $V_{\text{н}} = 2$ – номинальная скорость движения тягового органа, м/с;

$\eta = 0,8$ – КПД приводной станции.

Техническая производительность ДКНП-1,6

$$Q_p = \frac{3,6 \cdot m \cdot Z_B}{T_p}, \text{ т/ч};$$

где T_p – время рейса (цикла транспортирования), с.

$$T_p = \frac{2 \cdot L}{v \cdot k_c} + \Theta_m + \Theta_n \cdot Z_B, \text{ с}; \quad (3.20)$$

где $k_c = 0,9$ – коэффициент снижения скорости;

Θ_m – время маневров на сопряжении, с;

Θ_n – время погрузки одной вагонетки, с.

Запас прочности каната определяется относительно расчетной статической нагрузки, которую следует рассчитывать отдельно для:

– нижнего расположения привода

$$S = Q(\sin \alpha + 0,02 \cos \alpha) + 0,3q \cdot 2L_k \cos \beta + 0,5Q_n + 0,2L_k, \text{ даН};$$

– верхнего расположения привода

$$S = Q(\sin \alpha + 0,02 \cos \alpha) + qL_k (\sin \beta + 0,3 \cos \beta) + 0,1L_k, \text{ даН};$$

где Q – максимальный вес грузового состава, даН;

α – наибольший угол наклона выработки, град.;

β – средневзвешенный угол наклона знакопеременной выработки, град.;

L_k – длина одной ветви тягового каната (длина дороги), м;

q – погонный вес каната, даН/м;

Q_n – вес натяжного груза в сбегавшей со шкива ветви каната, даН.

Допустимая масса состава определяется из выше приведенных формул, при этом принято, что $\beta = \alpha/2$, а статическая нагрузка на тяговый орган рассчитана по формуле

$$S = \frac{S_p}{[n]}, \text{ Н};$$

где S_p – расчетное разрывное усилие всех проволок в канате, Н;

$[n]$ – допустимый запас прочности каната ($[n] = 6$ – при транспортировании людей; $[n] = 5$ – при транспортировании грузов).

Приведенные выше зависимости позволяют установить нормативные показатели работы транспортно-технологической системы проведения выемочных выработок в типичных условиях эксплуатации ДКН. Установлено, что структурообразующими параметрами системы оперативного управления являются: допустимое количество вагонов по прочности сцепки ($Z_{в}$); полное время рейса подвижного состава ($T_{р}$) и тяговое усилие приводного блока ($F_{н-с}$).

Для адаптации функций автоматизированного управления ДКН к процессам проведения выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов необходимо выполнить комплекс исследований режимов работы системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы».

Результаты этих исследований позволят сформировать банк нештатных производственных событий, в диапазоне которых должна функционировать структура оперативно-производственного управления технологическими параметрами проведения выемочных выработок со сложной гипсометрией пластов и эксплуатационными показателями работы напочвенных канатных дорог нового поколения, оснащенных автоматизированной системой управления процессами горно-подготовительных работ и диагностирования эксплуатационного состояния выемочных выработок.

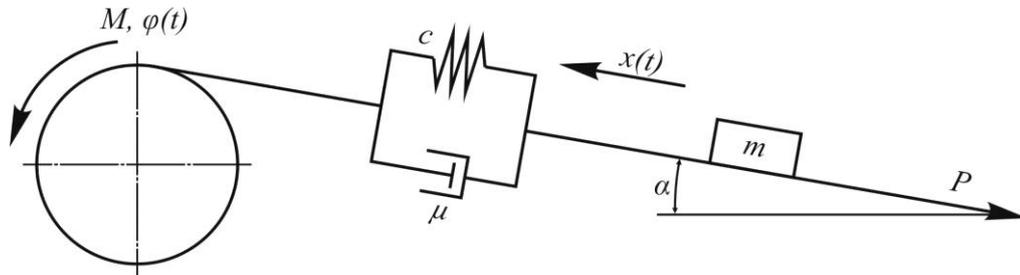
3.3.3 Обоснование расчетной схемы взаимодействия тягового органа с линейными элементами напочвенных канатных дорог

Необходимость обоснования модели и расчетной схемы взаимодействия элементов транспортно-технологической системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» обусловлена нетипичными условиями эксплуатации напочвенных канатных дорог в протяженных криволинейных выработках со знакопеременным профилем рельсового пути.

Для принципиальной схемы напочвенной канатной дороги (рис.3.4) с заданными параметрами требуется определить закон изменения приведенного к окружности шкива трения момента двигателя, обеспечивающего заданный коэффициент динамичности в периоды пуска и установившегося движения.

Практическим выходом решения поставленной задачи станет инженерная методика выбора рациональной пусковой характеристики привода, обеспечивающей постоянное ускорение состава вагонеток при пуске напочвенной канатной дороги.

В соответствие с поставленной задачей и принципиальной схемой ДКН принимаем расчетную схему, приведенную на рис.3.6.



x – линейное перемещение сосредоточенной массы; φ – угловое перемещение приводного шкива; I – момент инерции; α – угол профиля трассы; M – момент развиваемый шкивом трения; c – жесткость каната; m – масса сосредоточенного груза; r – радиус шкива трения; μ – коэффициент диссипации (вязкого трения); P – сила сопротивления перемещения.

Рисунок 3.6 – Расчетная схема режимов работы напочвенной канатной дороги

Необходимо также отметить, что для инженерных расчетов с достаточной степенью точности обтянутый канат можно принимать упругой или упруго-вязкой нитью. Это допущение значительно упрощает математическую модель системы и не вносит существенных погрешностей при установлении технических характеристик базовых элементов напочвенной дороги [61, 63].

В этой связи режим пуска напочвенной канатной дороги и рациональную пусковую характеристику привода будем рассматривать как процесс взаимодействия функциональных элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы».

Исходя из вышеизложенного принимаем следующие допущения:

1) канат, перемещающийся по роликам, принят гибкой упруго-вязкой нитью [61] постоянного сечения;

2) массы каната учтены по методу Рэлея. Согласно ряду работ [65 – 67] учет массы по методу Рэлея дает хорошее согласие в случае, если отношение массы каната к массе конечного груза не превосходит 0,7 – 0,8. В нашем случае это соотношение составляет 0,1 – 0,2;

3) буксировочная тележка с составом вагонеток приняты абсолютно твердым телом с сосредоточенной массой. Длина перемещаемого состава составляет 1 – 2% длины выработки;

4) масса конечного шкива пренебрежимо мала по сравнению с массой перемещаемого состава и каната;

5) шкив трения и передачи привода принимаем абсолютно жесткими;

6) поперечными колебаниями каната пренебрегаем, считаем их малыми, т.к. канат предварительно натянут и расположен на роликах [68];

7) параметрические колебания каната не учитываются, ввиду относительно малого изменения перемещения каната в период пуска, считаем его жесткость неизменной.

Сила сопротивления P , действующая на перемещающийся состав, приведена к точке крепления каната к буксировочной тележке.

3.3.4 Аналитическое описание процесса перемещения породы напочвенной канатной дорогой

Уравнения движения системы, расчетная схема которой представлена на рис.3.6, составляем, используя уравнения Лагранжа 2 рода [69]

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = 0; \quad (3.1)$$

где T – кинетическая энергия системы; Π – потенциальная энергия системы;

D – диссипативная функция; ∂q_i – обобщенная координата; t – время, мин.

В качестве обобщенных координат принимаем φ и x . Для принятой расчетной схемы кинетическая энергия системы определится

$$T = \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m \dot{x}^2, \text{ Дж.} \quad (3.2)$$

Потенциальная энергия

$$\Pi = M\varphi + \frac{1}{2} c(\varphi r - x)^2 - mg(W \pm \alpha)x, \text{ Дж.} \quad (3.3)$$

Диссипативная функция

$$D = \frac{1}{2} c\mu(\dot{\varphi} r - \dot{x})^2. \quad (3.4)$$

В формулах 3.2 – 3.4 $\sin \alpha$ заменен α , а $\cos \alpha$ – единицей ввиду малости угла α ($\alpha \leq 6^\circ$); I – момент инерции привода, приведенный к оси шкива трения, кг·м²; m – масса сосредоточенного груза, состоящая из массы состава и одной трети массы каната, т.к. весомость каната учтена по методу Рэля, кг; M – момент шкива трения, Н·м; r – радиус шкива трения, м; c – жесткость каната, Н/м; α – угол наклона трассы, град; $g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с²; W – коэффициент сопротивления движению; μ – коэффициент диссипации (вязкого трения).

Продифференцировав (3.2 – 3.4) по $x, \dot{x}, \varphi, \dot{\varphi}$ получим:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} &= I \dot{\varphi}; & \frac{\partial T}{\partial \dot{x}} &= m \dot{x}; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial \varphi} &= M + cr(\varphi r - x); & \frac{\partial \Pi}{\partial x} &= -c(\varphi r - x) - mg(W \pm \alpha); \\ \frac{\partial D}{\partial \dot{\varphi}} &= c\mu r(\dot{\varphi} r - \dot{x}); & \frac{\partial D}{\partial \dot{x}} &= -c\mu(\dot{\varphi} r - \dot{x}). \end{aligned} \quad (3.5)$$

Подставив выражения (3.5) в (3.1) получим систему уравнений

$$\begin{cases} I\ddot{\varphi} + c\mu r^2\dot{\varphi} - c\mu r\dot{x} + cr^2\varphi - crx = -M; \\ m\ddot{x} - c\mu r\dot{\varphi} + c\mu\dot{x} - cr\varphi + cx = mg(W \pm \alpha). \end{cases} \quad (3.6)$$

При достижении шкивом трения заданной угловой скорости, определяемой технологическими операциями, процесс пуска заканчивается и начинается установившееся движение с постоянной угловой скоростью.

Иначе, при установившемся движении ускорение барабана $\ddot{\varphi}$ и груза \ddot{x} можно считать равными нулю, т.е.

$$\begin{cases} c\mu r^2\dot{\varphi} - c\mu r\dot{x} + cr^2\varphi - crx = -M; \\ -c\mu r\dot{\varphi} + c\mu\dot{x} - cr\varphi + cx = mg(W \pm \alpha). \end{cases}$$

Умножив нижнее уравнение системы на r , получим

$$\begin{cases} c\mu r^2\dot{\varphi} - c\mu r\dot{x} + cr^2\varphi - crx = -M; \\ -c\mu r^2\dot{\varphi} + c\mu r\dot{x} - cr^2\varphi + crx = rmg(W \pm \alpha). \end{cases}$$

Сложив оба уравнения системы получим

$$M = rmg(W \pm \alpha). \quad (3.7)$$

Таким образом, теоретически было доказано, что при установившемся движении подвижного состава момент силы привода ДКН зависит от радиуса шкива r , веса состава mg , коэффициента сопротивления движению (трения) W и угла наклона трассы α .

Применительно к нашему случаю момент силы привода ДКН можно представить как «вращающую силу» его двигателя, измеряемую в (Нм). В абсолютной величине момент силы определяется как произведение

$$M = F \cdot r,$$

где F – сила тяги;

r – радиус приводного шкива.

Другими словами, сила тяги двигателя ДКН представляется как

$$F = \frac{M}{r} = m \cdot g(W \pm \alpha). \quad (3.8)$$

Выражая мощность привода ДКН через силу тяги и скорость движения груженого состава получим

$$S = \frac{F \cdot v \cdot k}{1000 \cdot \eta}, \quad (3.9)$$

где η – КПД приводной станции;

k – коэффициент режима работы ДКН.

При вхождении поезда в участки со знакопеременным профилем пути возрастание усилия (момента) привода учитывается введением коэффициента адаптации k подвижного состава ДКН в нетипичных условиях шахтной среды (искривление трассы, изменение профиля пути, обильные притоки воды и др.).

Подставив значение выражения 3.8 в формулу 3.9 получим

$$S = \frac{m \cdot g(W \pm \alpha) \cdot v \cdot k}{1000 \cdot \eta}. \quad (3.10)$$

Для учета затрат энергии на перемещение породы в подземных горных выработках мощность двигателя привода ДКН выразим через силу тока и напряжение в сети

$$S = I \cdot U. \quad (3.11)$$

Приравняв выражения 3.10 и 3.11 получим

$$I = \frac{m \cdot g(W \pm \alpha) \cdot v \cdot k}{1000 \cdot \eta \cdot U}. \quad (3.12)$$

В полученной зависимости (3.12) все величины, кроме коэффициента сопротивления движению W , являются константами. Следовательно, можно сделать вывод, что сила тока I , потребляемая двигателем напочвенной канатной

дороги, напрямую зависит от коэффициента сопротивления движению W подвижного состава. В нетипичных условиях шахтной среды, с увеличением сопротивления движению груженных составов пропорционально увеличивается сила тока, потребляемая двигателем ДКН.

По результатам выполненных исследований можно сделать вывод, что функции и структура оперативного управления процессами перемещении породы напочвенными канатными дорогами в нетипичных условиях эксплуатации должны быть ориентированы на координацию показателей силы тока, потребляемой двигателем ДКН и коэффициента сопротивления движению подвижного состава. Указанные показатели зависят от множества технических и технологических факторов, негативно влияющих на коэффициент адаптации подвижного состава и, поэтому являются потенциальными источниками автоматизации ДКН в условиях неопределенности.

3.4 Экспериментальные исследования режимов работы ДКН при транспортировании грузов

3.4.1 Общие положения методики шахтных исследований

Исследованиями автора диссертационной работы установлено, что при протяженных и многоступенчатых породных маршрутах с наличием наклонных и искривленных участков в подобных ситуациях необходимо располагать автоматизированной системой управления приводом ДКН, обеспечивающей оптимальные тяговые характеристики на всей длине маршрута, искривленного в профиле и плане.

Программа исследований ориентирована на формализацию функций действующей АСУ для оперативного диагностирования параметров ДКН в нетипичных условиях эксплуатации. Предполагается, что автоматизированная обработка информации и базы данных, позволит оператору ДКН правильно оценивать возникающие негативные события и принимать квалифицированное

решение для предупреждения вынужденных отказов. Для достижения поставленной цели программа шахтных исследований предусматривает:

- установление диапазонов влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на параметры напочвенных канатных дорог, в пределах которых должна эффективно функционировать АСУТП транспортирования грузов в искривленных подготовительных выработках;
- систематизирование причин и характера возникновения предельно допустимых нагрузок в тяговых органах, шкивах и роlikоопорах ДКН;
- разработку рекомендаций по совершенствованию системы диагностирования параметров ДКН в нештатных режимах их работы;
- формализацию функций и структуры автоматизированного управления режимами работы ДКНП-1,6 для координации параметров энергопотребления при транспортировании породы в сложных условиях эксплуатации.

3.4.2 Исследование нештатных режимов работы напочвенной канатной дороги

В соответствие с программой и методикой на данном этапе шахтного эксперимента искусственно создаются нетипичные (близкие к запредельным) условия работы напочвенной канатной дороги.

Нетипичными условиями эксплуатации напочвенной канатной дороги в прямолинейных участках трассы следует считать производственные ситуации, когда нагрузка на тяговый канат и привод будет достигать предельно допустимого усилия на сцепке ($P_{сц}$).

При эксплуатации ДКН в выемочных выработках со знакопеременным профилем пути и обильными притоками воды нетипичные и экстремальные производственные ситуации возникают в результате комплексного воздействия большого количества внешних и внутренних факторов. Для условий шахт Западного Донбасса первостепенными внешними факторами следует считать факторы устойчивости и пучения горных пород; факторы подвижного состава, конструкции шахтного рельсового пути, а также ремонта и содержания

транспортных выработок.

На участках трассы со знакопеременным профилем пути электропривод ДКН адекватно реагирует на изменения угла наклона трассы. По результатам моделирования условий взаимодействия элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» установлено, что при прохождении составом участков выработки с отношением величины пучения пород почвы к длине состава $b/L_c \leq +5\%$ усилие на шкиве трения привода напочвенной канатной дороги экспоненциально увеличивается до 1,29 кН, а при спуске состава в зоны с уклоном пути до $-2,4\%$ уменьшается до 0,54 кН.

Итоги моделирования процесса оперативного управления грузопотоками породы в подземных выработках со знакопеременным профилем пути по реакции электропривода ДКН подтвердили результаты теоретических исследований и выводы предварительных исследований [72].

Динамические процессы, происходящие в результате многократного воздействия подвижного состава на рельсовый путь можно поделить на долго- и кратковременные.

К кратковременным процессам относятся процессы взаимодействия подвижного состава с профилем пути и тягового каната со шкивом и роликами.

К долговременным - относятся невозвратимые процессы искривления трассы и деформации рельсового пути в результате пучения пород почвы и обильных притоков воды. Прогнозировать долговременные процессы практически невозможно, поэтому ликвидация их последствий осуществляется путем проведения энергоемких ремонтно-восстановительных работ.

Программой исследований действие кратковременных процессов предусматривается координировать с помощью АСУДКН, контролирующей нагрузки в тяговом органе и усилия в приводе и обеспечивающей:

- диагностирование особенностей функционирования элементов дороги в нетипичных условиях эксплуатации;
- прогнозирование возможных экстремальных ситуаций;
- принятие решений по адаптации ДКН в реальных условиях среды.

Процедура определения рационального диапазона автоматизированного управления параметрами движения состава путем изменения характеристик привода заключается в следующем. Для типичных условий прямолинейного участка рельсового пути по формулам, приведенным в разделе 3.3.2, рассчитываются весовые показатели состава (количество груженных вагонеток, суммарный вес груза, доставляемого за один рейс); устанавливаются затраты времени на прохождение составом характерного участка, узлов сопряжения и издержки, не связанные с перевозками. На пульте управления ДКН и в журнале наблюдений фиксируются показатели режимов работы привода в типичных условиях.

Имитация нетипичных режимов работы напочвенной канатной дороги осуществляется путем повышения на 5, 10 - 25% нагрузки на тяговый орган до предельного состояния системы по условию прочности сцепок применяемых шахтных вагонов, т.е. до состояния, за которым могут наступить экстремальные ситуации и отказы в работе подвижного состава. Достигается это поэтапным увеличением расчетного веса состава путем прицепки к нему дополнительных вагонов (n_k) с калиброванным грузом, массой $(0,05 - 0,25) \cdot Q_r$.

Расчетный вес груза Q_r (кН), перемещаемого ДКНП-1,6 за один рейс, для грузовых дорог составит:

$$Q_r = (Q - n \cdot Q_{бр} - Q_k - \sum G_0 - \sum G) \cdot g, \text{ кН};$$

где Q – допустимый вес состава, кН;

n – число буксировочных вагонеток;

$Q_{бр}$ – вес буксировочной вагонетки, кН;

Q_k – вес запаса каната на буксировочной вагонетке, кН;

G_0, G – соответственно вес тары и груза грузовых вагонеток, кН.

Число груженных вагонеток в составе

$$n_r = \frac{Q - nQ_{бр} - Q_k}{G_0 + G}, \text{ шт.}$$

Таким образом, увеличивая допустимый вес состава, а следственно и сопротивление движению, искусственно создаются запредельные (нештатные) режимы работы ДКН для прямолинейных участков трассы. На пульте управления дороги функциональный модуль и оператор синхронно регистрируют показания датчиков и выдают команду на принятие решения.

Согласно расчетам, при увеличении предельно-допустимой весовой нормы состава на 25% и более начинается расчаливание каната, износ роликов, истирание вкладышей приводного шкива и другие технические неисправности, приведенные в табл. 2.3 и отмеченные в работе [75].

По результатам серии измерений устанавливается тарированный график изменения характеристик привода при переходных и штатных режимах работы напочвенной канатной дороги на прямолинейных участках трассы.

Дальнейшие шахтные исследования повторяются на участках трассы с различными уклонами пути, радиусами поворота выработки и другими ограничивающими внешними факторами. Сопоставляя зафиксированные при этом показания замерных станций с результатами исследований в искусственно созданных экстремальных условиях можно, с некоторыми допущениями, составить для любого участка пути графики изменения режимов работы напочвенной канатной дороги в нетипичных и близких к критическим ситуациям.

Таким образом, путем координации тягового усилия привода ДКН и скорости движения подвижного состава, определяются рациональный вариант суммарных затрат энергии и диапазон эффективного действия системы автоматизированного управления ДКН в выемочных выработках, подверженных негативному воздействию процессов пучения пород почвы.

Полученные результаты позволяют внести поправки в отраслевые методики расчета пропускной способности участковых подготовительных выработок и нагрузок на тяговый орган напочвенных канатных дорог нового поколения.

3.4.3 Результаты стендовых испытаний модуля автоматизированного управления режимами работы привода транспортной установки

Для построения структурной схемы автоматизированного управления процессами взаимодействия элементов подсистемы «привод – замкнутый тяговый орган – состав вагонеток» программой настоящих исследований предусмотрено проведение стендовых испытаний по установлению влияния режимов работы ДКН на эксплуатационные характеристики ее привода.

Методика стендовых испытаний [76, 77] предусматривает проведение комплексных лабораторных исследований показателей работы привода ДКН в условиях изменения нагрузок на замкнутый тяговый орган. В связи с отсутствием данных о фактических режимах работы привода напочвенных канатных дорог тяжелого типа ДКНП-1,6 стендовые испытания строились на принципах имитации режимов работы привода в диапазоне расчетных показателей возможно допустимых нагрузок на гибкий тяговый орган [78].

При планировании экспериментов предусматривалось выполнить общепринятый комплекс исследований по определению основных параметров привода [79 – 85], а именно: обеспечение плавного пуска привода; имитация нетипичных режимов работы и обеспечение плавного торможения;

Имитация режимов работы привода ДКН проводилась на стационарном испытательном стенде лаборатории конвейерного транспорта НГУ, представляющем собой короткий ленточный конвейер с замкнутым гибким тяговым органом (рис. 3.7).

Дополнительная нагрузка на привод экспериментальной установки создавалась специальным устройством путем торможения концевого барабана конвейера. Измерение усилий, прилагаемых для торможения барабана, выполнялось динамометрами, а синхронный контроль и диагностика режимов работы привода конвейера автоматизировано программируемым измерительным комплексом на базе контроллера Open SCADA, разработанного НИП «ДИЯ» и адаптированного нами к условиям эксперимента.



Рисунок 3.7 – Испытательный стенд конвейерной установки с замкнутым тяговым органом

Принципиальная схема измерительного комплекса приведена на рис. 3.8.

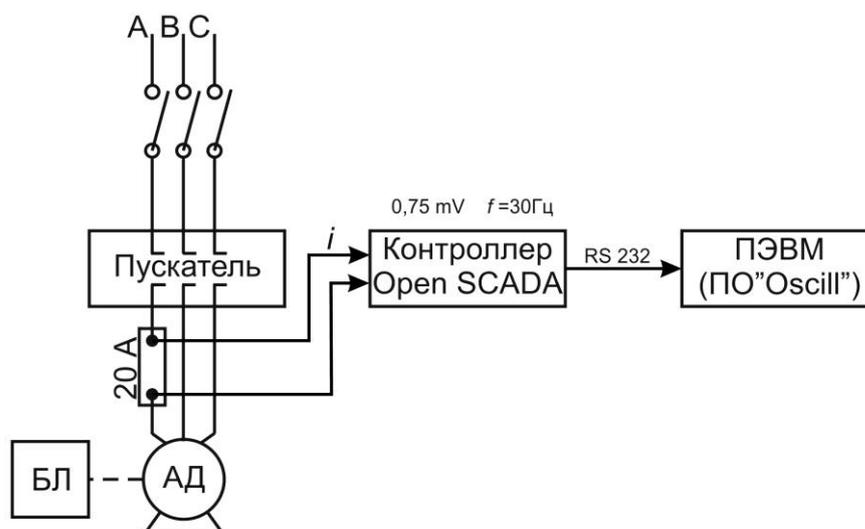


Рисунок 3.8 – Принципиальная схема измерительного комплекса

В соответствие с принципиальной схемой режимы работы привода экспериментальной установки осуществлялись трехфазным асинхронным двигателем, подключенным через пускатель и воздушный разъединитель в сеть

переменного тока с напряжением 220 V. Асинхронный двигатель установки собран по схеме треугольник.

Для измерения мгновенных значений переменного тока частотой 50 Гц в одну из фаз устанавливался шунт, ориентированный на максимальное значение тока 20 А. Сигнал с шунта 0,75 mV подавался на вход контроллера и обрабатывался с частотой 30 КГц.

Контроллер Open SCADA по интерфейсу RS232 передавал оцифрованный сигнал на ПК в котором установлено программное обеспечение «Oscill». Построенный таким образом программно-технический комплекс с достаточной для практики точностью представлял на дисплее графики синусоидального переменного тока.

В процессе изменения нагрузок в двигателе экспериментальной установки записывались и сохранялись в файлах осциллограммы показаний фазного тока в переходном и стационарном режимах работы привода (рис. 3.9).

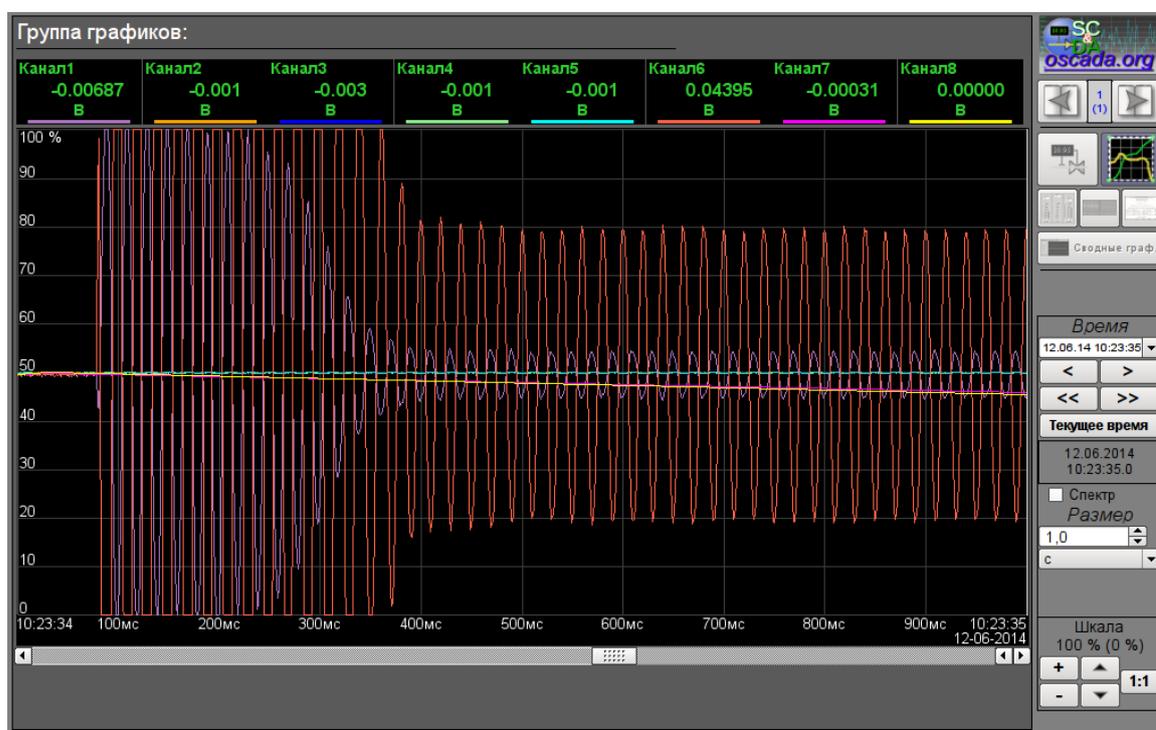


Рисунок 3.9 – Осциллограмма изменения показаний фазного тока при стационарных режимах работы привода экспериментальной установки

Поскольку нагрузка по фазам симметричная, то можно считать, что в каждой фазе ток одинаков. Фазное напряжение в процессе эксперимента оставалось неизменным и измерялось вольтметром с классом точности 1,0. Снятые по осциллограммам амплитудные значения токов пересчитывались в действующие значения по формуле

$$I_{\text{д}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}}, \text{ А.}$$

Полная мощность S определялась по формуле (3.10), приведенной в разделе 3.3.3.

3.5 Формирование функций автоматизированного управления параметрами напочвенных канатных дорог

Рассматривая отказы как случайные события, которые формируются в функциональных блоках в результате негативного воздействия шахтной среды, было рекомендовано технологическую цепочку с ДКН разбивать на участки с характерными состояниями, процессами и операциями, а потенциально опасные участки классифицировать как объекты автоматизированного управления транспортно-перемещающими процессами и операциями.

На основании вышеизложенного и рекомендаций [93, 94] можно утверждать, что система АСУ ДКН в протяженных выемочных выработках должна включать в себя пообъектное изучение производственных ситуаций, принятие решений и их реализацию.

Для получения достоверных результатов показатели, характеризующие поведение объектов транспортно-технологической системы в условиях неопределенности, были сгруппированы на регулируемые (А) и нерегулируемые (Б) классы. Перечень объектов автоматизации с разделением по классам выполняемых ими функций приведен в табл.3.4.

Таблица 3.4 – Объекты автоматизированного управления транспортно-технологическими процессами с напочвенными канатными дорогами

Объекты автоматизации	Функции объекта автоматизации	Показатели управления	Класс объекта
Блок погрузки породы	<p><i>Контроль:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – процесса погрузки; – степени наполнения вагона; – объема не погруженной породы; – количества груженных вагонов; – массы груженных составов. <p><i>Управление:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – подача вагонов под погрузку; 	$Q_{п.з.}, т;$ $G, т;$ $V_{н.п.}, м^3;$ $Q_{max},$	Б
Блок путевого развития	<p><i>Контроль:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – состояния трассы; – положения состава; – вписывания состава в кривые; – взаимодействия каната с линейными элементами ДКН <p><i>Управление:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – стрелочными переводами; – скоростью движения 	$i, ‰;$ $\alpha, град;$ $L, м;$ $R, м;$ $k_{ад};$ W $t, с;$ $V_{доп}, м/мин$	А
Блок обмена составов	<p><i>Контроль:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – положения груженных составов; – положения порожних составов; <p><i>Управление:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – стрелочными переводами; – маневрами на разминовках; – стопорение 	$l_{гр.с.}, м;$ $l_{п.с.}, м;$ $t_{сп}, с;$ $t_{м}, с;$	А
Блок разгрузки составов	<p><i>Контроль:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – выгрузки породы из вагона; – налипания породы в кузове <p><i>Управление:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – подачи вагонов под разгрузку; – загрузка бункера породой; – выпуск породы из бункера; – подбункерными конвейерами 	$t_p, с;$	Б
Блок оператора	<p><i>Контроль:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – нетипичных участков трассы; – режимов работы ДКН; – режимов работы бункера. <p><i>Управление:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – режимами работы привода ДКН 	$F_{н-с};$	А

К классу А были отнесены объекты с регулируемыми параметрами, требующими локальной автоматизации: численность обслуживаемых ДКН проходческих забоев; темпы их подвигания; количество вагонов в составе, подаваемых в забой; время выполнения маневровых операций; время крепления забоя, к окончанию которого должен быть подан состав порожних вагонов.

В класс Б вошли объекты с нерегулируемыми параметрами, такие как: время погрузки и разгрузки вагонов; время движения составов по проводимой и участковой выработкам; длительность простоя забоев по вине транспорта и др.

Приведенные в табл. 3.4 результаты шахтных исследований параметров технологических схем транспорта послужили основанием для утверждения, что формируемые функции АСУТП перемещения породы ДКН в условиях неопределенности должны быть направлено на: ресурсо- и энергосбережение; совершенствование методов учета и анализа производственных состояний и событий, спонтанно возникающих в протяженных криволинейных выработках с интенсивным пучением пород почвы; поиск средств технического диагностирования узлов ДКН; непрерывный контроль степени выгрузки породы из прибывающих вагонов и уровня наполнения ее в бункере.

Комплексные исследования эксплуатационных параметров напочвенных канатных дорог позволили установить, что функции этих модулей могут оперативно управлять процессами транспортирования и синхронно контролировать усилия в тяговом органе и линейных элементах ДКН [96, 97].

Выводы по разделу

1. Автоматизированное управление параметрами подвижного состава и тяговыми усилиями привода в диапазоне расчетных показателей позволяет, в отличие от традиционных методов, оперативно координировать эксплуатационные параметры транспортно-технологической системы путем изменения скорости движения составов и их массы в протяженных выработках со знакопеременным профилем пути.

2. Лабораторными исследованиями режимов работы напочвенных канатных дорог в выработках со сложной трассой откатки доказано, что автоматизированное управление нестационарными режимами работы ДКН в условиях неопределенности характеризуется реакциями показателей мощности привода на смену нагрузок в тяговом органе.

3. По результатам теоретических исследований параметров взаимодействия элементов системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы» и математического моделирования установлена закономерность изменения момента усилия на шкиве трения ДКН от коэффициента сопротивления движению и угла наклона трассы.

4. Имитация нештатных режимов работы напочвенной канатной дороги и предельно допустимых значений показателей мощности привода достигается путем поэтапного повышения нагрузки на тяговый орган до предельного состояния системы по условию прочности сцепок шахтных вагонов, т.е. до состояния, за которым могут наступить экстремальные ситуации и отказы в работе системы «привод – подвижной состав – произвольный профиль трассы».

РАЗДЕЛ 4

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПОЧВЕННЫХ КАНАТНЫХ ДОРОГ

4.1 Рациональные способы автоматизированного управления технологическими процессами транспортирования породы

В условиях интенсификации горного производства повышение требований техники безопасности и рационального использования энергетических ресурсов не могут быть обеспечены без проведения работ по автоматизации технологических процессов транспортирования грузов в подземных горных выработках. Переход к более высокому уровню оперативно-производственного управления ТТП проведения выемочных выработок состоит в замене большинства существующих средств локальной автоматизации на унифицированные комплекты аппаратуры в виде программируемого контролера, построенного на основе микропроцессоров.

Акцент на создание автоматизированной системы управления технологическими процессами проведения выемочных выработок и эксплуатации напочвенных канатных дорог в нетипичных условиях шахтной среды должен базироваться на предыдущем опыте использования систем оперативно-производственного управления транспортными средствами и достижений в смежных областях горнодобывающей отрасли.

Современные системы комплексной и полной автоматизации производства создаются на основе достижений теории управления, использующих экономико-математические методы и новейшие средства вычислительной и управляющей техники. Классифицируются такие системы как автоматизированные системы управления технологическими процессами, представляющие качественно новую ступень развития методов и средств управления технологическими процессами.

В отличие от систем локальной автоматизации, в современных АСУ ТП для оптимизации управления используются не только технические (физические), но и технологические и технико-экономические параметры и критерии.

С учетом вышеизложенного, при формировании принципов автоматизированного контроля и управления технологическими процессами откатки породы напочвенными канатными дорогами в условиях неопределенности был изучен отечественный и зарубежный опыт решения подобных задач [86 – 90].

В качестве аналогов, были выбраны унифицированные телекоммуникационные системы диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами (УТАС), разработанные ГП «Петровский завод угольного машиностроения», а также комплексы электрической централизации на микропроцессорах ZDC30-2.0 (рис.4.1), выпускаемые в Китае для управления механическими узлами напочвенных канатных дорог [91].

Представленный на рис 4.1 взрывозащищенный блок управления *1* с помощью датчика положения может получать сведения о месторасположении подвижного состава в выработках и путем расчета и обработки поступившей информации визуально показывать его позиции на экране жидкокристаллического дисплея. Достигается это за счет оптимального функционирования системы контроля и диагностирования транспортно-технологических процессов и обеспечения их безопасности.

В соответствие с рекомендациями [92], функции оператора ДКН в реальных условиях эксплуатации сводятся к заданию программ управления по отдельным агрегатам, выбору режимов работы оборудования в пределах функционального блока и наблюдению за общим ходом производственного процесса и координации их с учетом изменений условий шахтной среды.

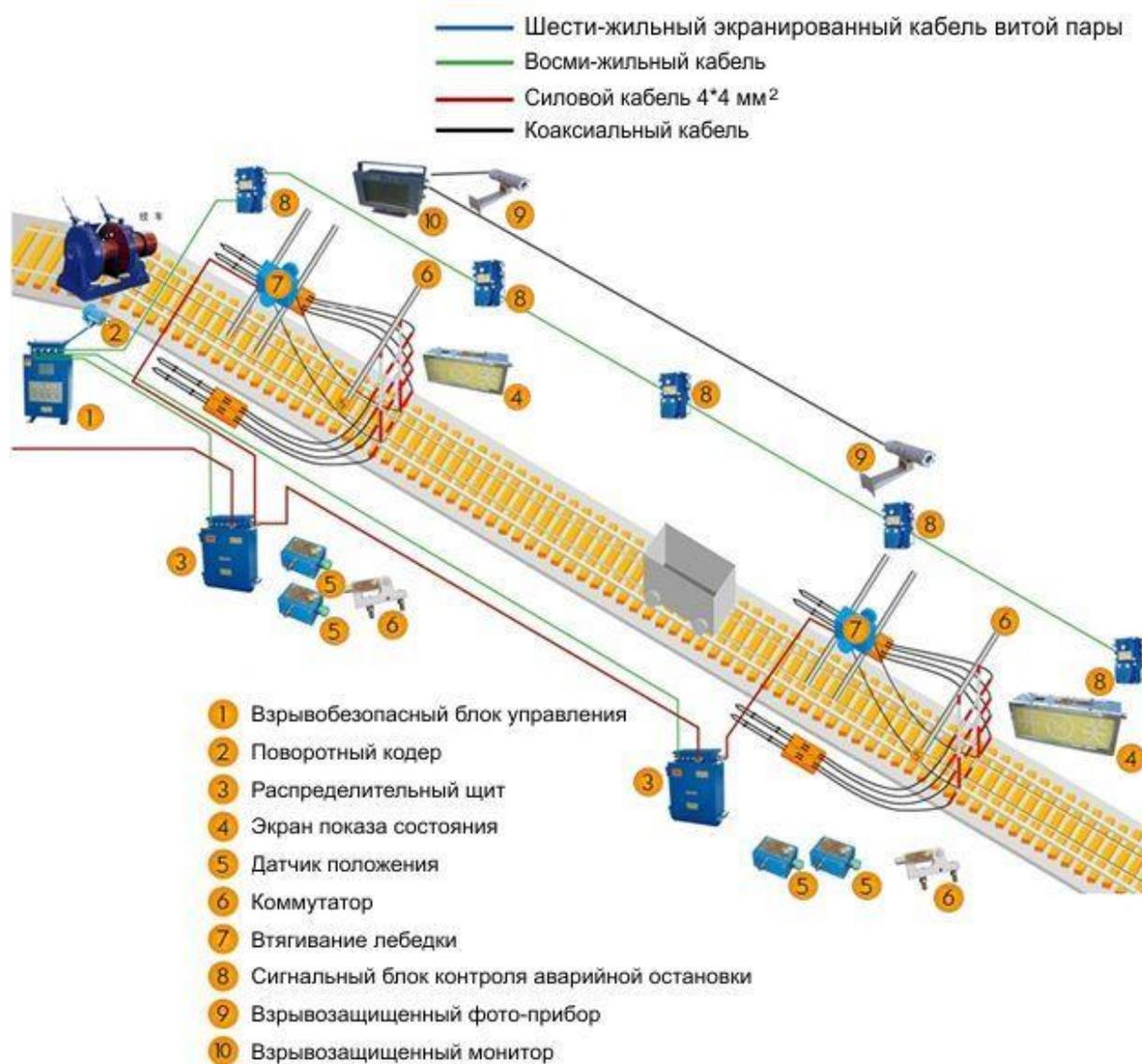


Рисунок 4.1 – Структура автоматизированного управления узлами канатной дороги с электрической централизацией на микропроцессорах

С учетом изученного опыта, целями обоснования функций и структурной схемы автоматизированного управления процессами транспортирования шахтной породы ДКН при проведении выемочных выработок в условиях неопределенности являются: повышение пропускной способности участковых выработок и безопасных условий труда; снижение удельных энергозатрат на вывоз горной массы из подготовительных забоев и ресурсосбережение.

Установленные по результатам теоретических и экспериментальных исследований функции автоматизированного управления процессами транспортирования шахтной породы напочвенными канатными дорогами были систематизированы по общим признакам. Структурная схема функций автоматизированного управления ДКН приведена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Структурная схема функций АСУТП с применением ДКН

Необходимо отметить, что отсутствие опыта эксплуатации АСУ ТП перемещения породы в криволинейных подземных выработках с интенсивным пучением пород почвы не позволяют оперативно устанавливать признаки, характеризующие состояние ДКН в нештатных режимах работы. В этой связи персоналу, обслуживающему транспортные процессы проведения выработок, приходится постоянно сталкиваться не только с отказами линейных узлов ДКН, но и с вынужденными простоями функциональных блоков ТТП таких как:

пункты погрузки и разгрузки вагонов; обмена груженых вагонов на порожние; аккумуляирования горной массы; блок путевого развития и др.

Обусловлено это тем, что при традиционных схемах локальной автоматизации ДКН, применяемые методы диагностики не позволяют оперативно прогнозировать начальные стадии развития дефектов в узлах и деталях напочвенных канатных дорог. Как следствие, оператор ДКН регистрирует уже последствия, то есть отказы и аварии технического, технологического и организационного происхождения.

Отсутствие исходной информации об источниках происхождения отказов и характере их развития не позволяет оперативно управлять ТТП и технологической системой в целом. Более того низкий уровень концентрации подземных горных работ при доработке запасов у границ шахтных полей и невысокая интенсивность грузопотоков породы из подготовительных забоев (по сравнению с грузопотоками угля) снижают перспективы развития АСУ ТП при проведении выемочных выработок.

4.2 Формирование требований к функциям и структуре автоматизированного управления технологическими процессами перемещения породы

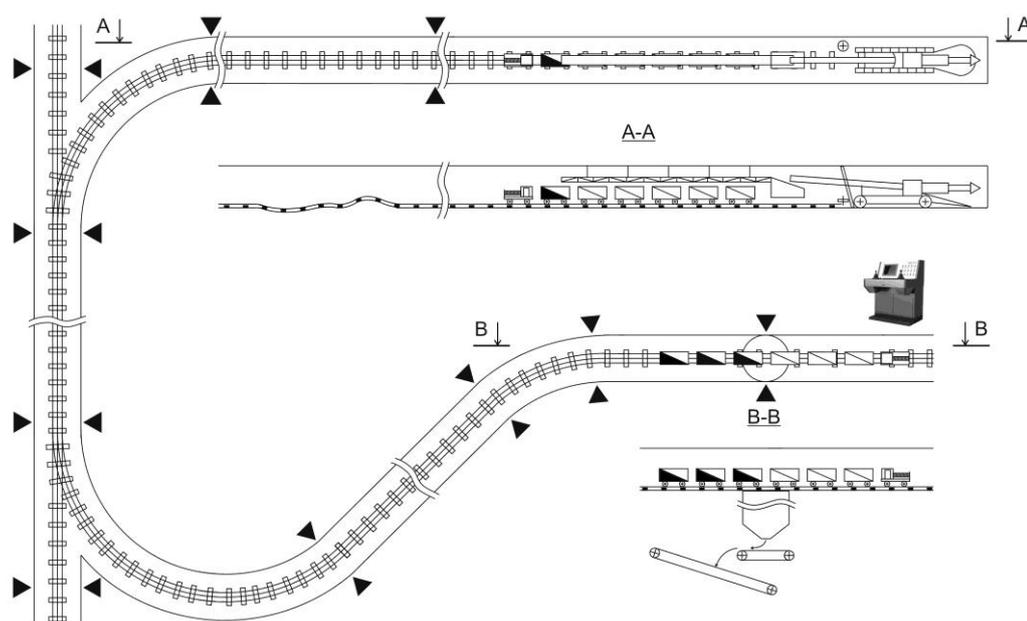
В соответствие с ГОСТ 34.602-89 к основным функциям оперативно-производственного управления сложными динамическими системами относятся информационные, управляющие и защитные функции [56]. Для координации транспортно-технологических процессов перемещения породы в криволинейных выработках со знакопеременным профилем пути разработаны «Исходные требования на разработку и эксплуатацию автоматизированной системы оперативно-производственного управления технологическими процессами транспортирования шахтной породы напочвенными канатными дорогами в экстремальных условиях эксплуатации» (Приложение Б). В исходных требованиях рекомендовано внести в создаваемую структуру АСУ

ТП новые информационные и управляющие модули, оснащенные программируемыми контроллерами на основе микропроцессоров [16, 17, 95, 96, 97].

Сформированные требования предусматривают наличие в системе управления модулей с функциями прогнозирования, контроля и учета действий случайных факторов, т.е. учитывающих влияние негативных факторов на параметры транспортирования породы в условиях неопределенности.

По результатам исследований производственных процессов, связанных с доставкой породы ДКН по участковым подземным выработкам от пункта ее погрузки в составы вагонов до пункта их разгрузки, определен комплекс технологических операций, представляющих потенциальные объекты автоматизации.

Функциональная структура автоматизированного управления ДКН, адаптированная к технологическим процессам транспортирования породы в реальных условиях шахтной среды представлена на рис. 4.3.



А-А – пункт погрузки породы в вагоны; В-В – пункт разгрузки вагонов;
С-С – зона активного пучения пород почвы; ► ◀ – зоны диагностирования узлов ДКН

Рисунок 4.3 – Функциональная структура автоматизированного управления технологическими процессами транспортирования породы ДКН

По результатам ранее выполненных исследований установлено, что для реализации функций управления информация, поступающая на пульт оператора ДКН, должна обеспечивать: централизованный контроль за ходом технологического процесса; диагностику состояния транспортно-технологического оборудования; регистрацию истории развития процесса (опция); вычислительные и логические функции информационного характера.

Экспериментально доказано, что в реальных условиях шахтной среды к указанным информационным функциям АСУ ДКН предъявляется комплекс соответствующих требований. Установленные по результатам выполненных исследований функции и структура АСУТП ДКН приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Требования к функциям и структуре АСУТП

Требования к функциям АСУТП с применением ДКН		
Информационные	Управляющие	Защитные
<p><i>Обеспечение:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – централизованного контроля за ходом технологического процесса; – диагностики состояния транспортно-технологического оборудования; – регистрации истории развития процесса (опция); – вычислительных и логических функций информационного характера 	<p><i>Регулирование:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – скорости движения состава; – условий взаимодействия тягового каната со шкивом и линейными элементами ДКН; – тягового усилия приводного блока; – подачи вагонов под разгрузку; – степени заполнения бункера породой; – коэффициента использования объема шахтного вагона; – программно-логического управления процессами пуска и торможения ДКН по заданному алгоритму 	<p><i>Обеспечение:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> – дистанционного управления подвижным составом; – автоматического учета и контроля остановок и отказов; – защиты тягового органа и привода ДКН от перегрузок; – поддержания рабочего состояния ДКН в экстремальных ситуациях
Требования к структуре		
Система верхнего уровня	Система среднего уровня	Система нижнего уровня
Автоматизированное рабочее место оператора на базе промышленного компьютера с прикладным программным обеспечением	Контроллер управления технологическим процессом транспортирования породы, оборудованием погрузочно-разгрузочных пунктов и ПАЗ (противоаварийной защиты)	Средства КИПиА (контрольно-измерительные приборы и автоматизация)

Централизованный контроль за ходом технологического процесса должен обеспечивать:

- периодическое измерение значений технологических параметров;
- оперативное отображение значений технологических параметров:
 - графическое и цифровое отображение значений технологических параметров и взаимосвязей между ними на мнемосхемах;
 - графическое и цифровое отображение истории процесса;
 - отображение изменения состояния оборудования цветом на мнемосхемах;
- обнаружение, оперативное отображение, регистрация в архиве и сигнализация отклонений значений технологических параметров и показателей состояния оборудования от установленных пределов.
- отображение результатов диагностики состояния оборудования на экране панели оператора.

Диагностика состояния транспортно-технологического оборудования в типичных, нетипичных и экстремальных условиях эксплуатации напочвенных канатных дорог нового поколения должна включать:

- диагностику и контроль состояния тягового каната, линейных элементов ДКН и технологического оборудования;
- самодиагностику микропроцессорного контроллера привода ДКН;
- диагностику канала связи с контроллером;
- диагностику измерительных каналов.

Для формирования истории процесса функциональные модули системы автоматизированного управления процессами перемещения породы должны обеспечивать архивирование: мгновенных значений параметров технологического процесса; изменений состояния элементов ДКН (архив событий) и нарушений технологического процесса.

Вычислительные и логические функции информационного характера заключаются в машинном решении задач, которые должны отражать: формирование и просмотр (печать опция) технологического журнала за смену;

формирование технологического журнала за сутки; формирование и просмотр протокола нарушений границ технологических параметров.

При классификации объектов автоматизации в схемах участкового транспорта (таблица 3.4) с применением напочвенных канатных дорог в качестве основных функций рассматривались функции контроля и управления процессами перемещения породы.

По результатам выполненных исследований установлено, что управляющие функции в нетипичных состояниях шахтной среды должны автоматически регулировать следующие параметры:

- скорость движения состава:
 - в прямолинейных участках трассы;
 - при прохождении закруглений;
 - при маневровых операциях.
- условия взаимодействия тягового каната со шкивом и линейными элементами ДКН;
- тяговое усилие приводного блока;
- подачу вагонов под разгрузку;
- степень заполнения бункера породой;
- коэффициент использования объема шахтного вагона;
- программно-логическое управление процессами пуска и торможения ДКН по заданному алгоритму.

В процессе исследований эксплуатационных параметров экспериментального образца напочвенной канатной дороги ДКНП-1,6 в протяженных криволинейных выработках ш/у «Павлоградское» ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь» было установлено, что в условиях негативного воздействия шахтной среды, функциональный блок контроля и защиты ДКН должен обеспечивать:

- дистанционное управление подвижным составом;
- автоматический учет и контроль остановок и отказов;
- защиту тягового органа и привода ДКН от перегрузок;

- поддержание рабочего состояния ДКН в экстремальных ситуациях;

В соответствии с программой исследований структурную схему АСУТП комбайнового проведения выемочных выработок и контроля параметров и ДКН при перемещении породы в искривленных выработках с интенсивным пучением пород почвы предложено рассматривать как трехуровневую систему, включающую комплекс технических средств:

- систему верхнего уровня – автоматизированное рабочее место оператора на базе промышленного компьютера с прикладным программным обеспечением, интегрированным в АСУ ТП шахты.

- систему среднего уровня – контроллер управления технологическим процессом транспортирования породы, оборудованием погрузочно-разгрузочных пунктов и ПАЗ (противоаварийной защиты);

- систему нижнего уровня – средства КИПиА.

Система верхнего уровня должна выполнять все функции контроля, выдачи команд управления, передачи информации в АСУ ТП шахты и включать панель оператора, блок оценки состояния ДКН и блок прогнозирования с программным обеспечением визуализации фирмы Siemens.

Системы среднего и нижнего уровней выполняют все функции сбора и первичной обработки сигналов, управления, противоаварийной защиты, обмена информацией с контроллерами АСУТП перемещения породы и включают: контроллер с программным обеспечением; клеммное поле; кабельные трассы, датчики, измерительные преобразователи, исполнительные механизмы.

Связь с верхним уровнем осуществляется по сети Industrial Ethernet.

В системе среднего уровня, кроме штатного контроллера, должен быть дополнительный модульный универсальный программируемый контроллер для построения систем автоматизации низкой и средней производительности.

В соответствии с вышеизложенными требованиями была выполнена формализация действующей структуры автоматизированного управления режимами работы ДКН. Адаптированная к технологическим процессам

перемещения породы в реальных условиях шахтной среды структурно-функциональная схема АСУ ТП приведена на рис. 4.4.

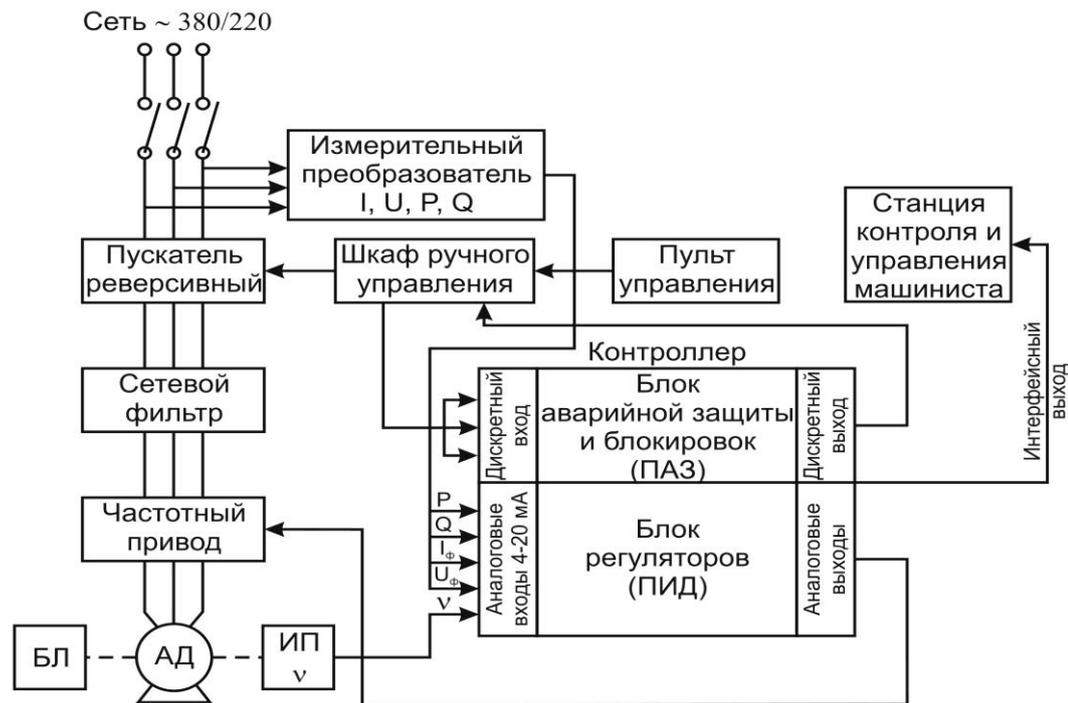


Рисунок 4.4 – Структурно-функциональная схема АСУ ТП.

В состав АСУ ТП перемещения породы входят:

- асинхронный трехфазный двигатель (АД) к валу которого присоединен барабан лебедки (БЛ);
- измерительный преобразователь скорости вращения барабана лебедки в унифицированный выходной сигнал 4 – 20 мА;
- частотный привод асинхронного двигателя, обеспечивающий плавное регулирование его скорости;
- сетевой фильтр, не пропускающий высокочастотные помехи в сеть;
- пускатель реверсивный, подключенный к сети $\approx 220/380$ В через разъединитель Р;
- шкаф ручного управления приводом лебедки;
- измерительные преобразователи тока, напряжения, активной и реактивной мощности, потребляемой АД, преобразующие вышеуказанные параметры в унифицированные сигналы 4 – 20 мА;

– дополнительный контроллер, обеспечивающий автоматические защиты, блокировки и управление канатной дорогой;

– существующий пульт ручного управления лебедкой;

– станция контроля и управления оператора, выполненная на базе ПЭВМ.

Функционирование АСУ ТП осуществляется следующим образом.

Унифицированные токовые сигналы 4 – 20 мА поступают на аналоговые входы контроллера и направляются в блок аварийных защит и блок регуляторов.

Блок регуляторов, структурная схема которого представлена на рис.4.5, сравнивает поступающий сигнал по скорости барабана лебедки с заданием по пропорциональному закону регулирования.

Для повышения быстродействия и недопущения перегрузок по мощности в состав регулятора включена дифференциальная составляющая, действующая по первой производной поступающего сигнала и интегральная составляющая, обеспечивающая требуемую точность регулирования скорости барабана лебедки.

Для определения места нахождения состава на канатной дороге в блок регуляторов включен регулятор задания пройденного пути составом, который определяется интегрированием скорости вращения барабана лебедки на всем пути.

Введение блока регулирования позволяет вводить коррекцию скорости состава на закруглениях и тяжелых участках рельсового пути с помощью программируемого корректора скорости в функции значения текущей длины пути. Поскольку длина пути с продвижением фронта работ меняется, то машинисту будет представляться возможность ее ручного ввода в систему управления и корректировки места нахождения участков с негативными производственными событиями.

Конструкция контроллера должна обеспечивать свободное наращивание возможностей при модернизации системы. Например, по результатам предыдущих исследований, в действующую схему управления приводом

ДКНП-1.6, было рекомендовано ввести дополнительный модуль автоматизированного контроля изменений параметров двигателя на базе датчика тока ДТА-1, обеспечивающего устойчивую работу системы УТАС в реальных условиях шахтной среды. В тоже время при формировании принципов энергосбережения потребовалось провести комплекс специальных исследований по обоснованию целесообразности введения в блок разгрузки составов дополнительных функций автоматизированного контроля и управления процессами выгрузки породы из шахтных вагонов в бункер [98].

4.3 Обоснование принципов автоматизированного контроля остаточного объема породы при разгрузке шахтных вагонов

Необходимость обоснования функций и структуры автоматизированного контроля и управления процессами выгрузки породы из шахтных вагонов и загрузки ее в бункер обусловлена тем, что из подготовительных забоев шахт региона выдается на поверхность горная масса (порода, уголь) влажностью более 50 % и липкостью до 75 г/см². В процессе транспортирования горной массы в протяженных искривленных выработках со знакопеременным профилем пути происходит интенсивное уплотнение влажной породы и налипание ее в кузове вагонеток.

По результатам анализа работ [99, 100] можно утверждать, что выявленная проблема до настоящего времени остается малоизученной. В литературных источниках [101, 102] отражены вопросы динамики шахтных вагонеток и моделирования грузопотоков, поступающих на ППП дискретного действия [103, 104], однако все они не связаны с контролем и учетом остаточного объема породы при разгрузке шахтных вагонов. Это послужило поводом для проведения исследований по изучению причин и характера налипания породы в кузове вагонеток, способов контроля и методов диагностирования данного процесса.

В виду отсутствия методических рекомендаций параметры снижения полезной емкости кузова вагонеток определялись путем механической их очистки от налипших слоев породы и порционного взвешивания после выполнения первого, второго и последующих технологических циклов погрузочно-разгрузочных работ.

Объемы налипшей породы определялись путем пересчета веса отбитой горной массы в объем в соответствие с общепризнанным выражением $G = V \cdot \gamma$. Шахтными исследованиями установлено, что полезный объем шахтного вагона снижался в конце смены на 25 – 30 % из-за послойного налипания породы в кузове вагонетки. При темпах подвигания подготовительных забоев $v \geq 2,4$ м/см (три и более цикла) нарушались графики вывоза породы из забоев, снижались темпы проведения и пропускная способность транспортных выработок, а также повышались удельные энергозатраты, связанные с транспортированием «мертвого груза».

Кроме количественных показателей в процессе эксперимента определялась качественная картина характера налипания первичного и последующих слоев породы на днище и стенки вагона и затраты времени на очистку вагонов. На рис. 4.5 приведены установленные зависимости снижения полезного объема шахтных вагонов из-за налипания породы в кузове после выполнения первого и последующих циклов погрузочно-разгрузочных работ.

Программой шахтных экспериментов предусматривалось обосновать методы оперативного контроля объемов не выгруженной породы и диагностирования состояния вагонов после их разгрузки.

Анализ существующих способов контроля операций по выгрузке сыпучих материалов из вагонов показал, что на зарубежных рудниках цветной металлургии, добывающих редкие и благородные металлы, широко распространен метод диагностирования данного процесса путем взвешивания груженых и порожних составов. В работах [105 – 108] описаны также методы контроля добычи горнорудной массы с помощью модулей АСУ ТП-Д и специальных устройств взвешивания вагонов АКРВ-87 производства Болгарии.

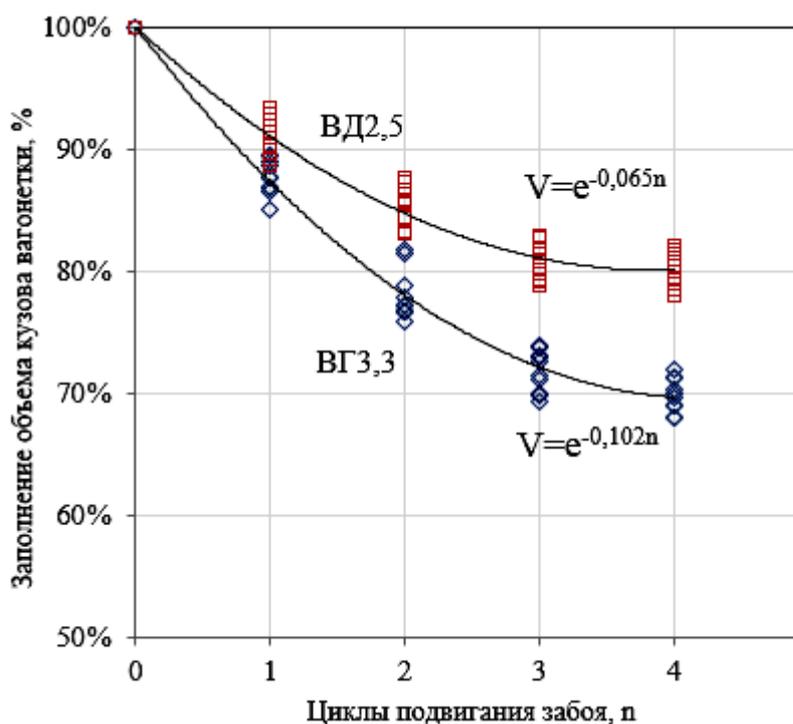


Рисунок 4.5 – Графики зависимости заполнения объема вагонетки при налипании породы от количества циклов подвигания забоя

Необходимо отметить, что поточная технология ведения горных работ на угольных шахтах не предусматривает выполнение операций, связанных со взвешиванием вагонов. По этой причине на предприятиях отрасли отсутствует опыт создания автоматизированных систем, ориентированных на контроль и диагностирование подобных процессов.

По результатам выполненных исследований была выдвинута гипотеза, что основными факторами, провоцирующими интенсивное налипание влажной породы в кузове, следует считать: деформации кузова; гармонические колебания подвижного состава при движении в выработках сложной конфигурации; удары на стыках рельсов; вес породы в вагонетке и коэффициент сцепления (трения) породы с внутренней поверхностью кузова.

Следует отметить, что при разгрузке вагонов в опрокидывателях околоствольного двора, контроль качества разгрузки составов и периодическую оценку состояния вагонов выполняют горнорабочие ОД и участка ВШТ. В соответствии с графиком, операции по очистке вагонов выполняются

периодически через каждые два-три часа с привлечением одного-двух горнорабочих. Средние затраты времени на механическую очистку одного вагона с глухим кузовом типа ВГ-3,3 составляют 3 – 4 минуты.

Недостатком технологических схем участкового транспорта с применением напочвенных канатных дорог и разгрузкой породы в бункер является отсутствие в структуре автоматизированного управления ДКН функциональных модулей контроля качества выгрузки породы из вагонов.

Для решения данной технической задачи был выполнен анализ применяемых способов борьбы с налипанием породы и очистки транспортных сосудов, изучены методы контроля технического состояния кузова шахтных вагонов и разработан алгоритм диагностирования процесса выгрузки породы.

Известно [99], что прилипание любого материала к чистой поверхности произойдет в том случае, если вес налипшего первичного слоя материала $\sum_1^n gc_{i_1}$ будет меньше силы его сцепления (трения) с поверхностью (рис. 4.6 а)

$$\sum_1^n gc_{i_1} < F_{\text{тр}1},$$

где $g = 9,81$ – ускорение свободного падения частиц материала, м/с²;

c_{i_1} – вес частицы первичного слоя материала.

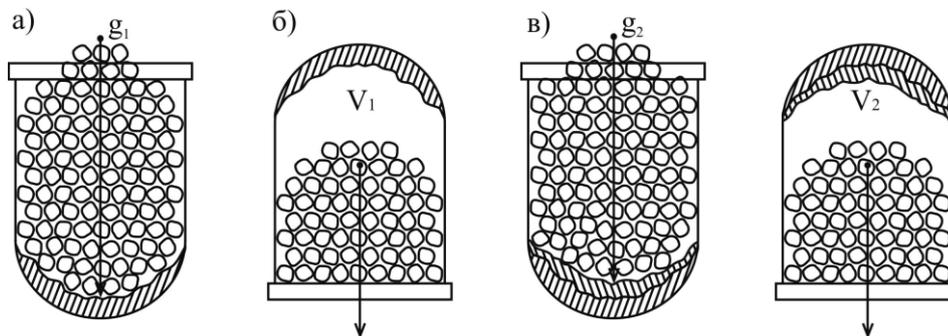


Рисунок 4.6 – Стадии снижения емкости кузова вагонетки и объема перевозимой породы:

a – полезный объем кузова вагона; *б* – емкость (*V*) кузова при налипании первичного слоя породы; *в* – тоже, при налипании последующих слоев

Сила трения $F_{\text{тр}i}$ породы зависит от веса горной массы в вагонетке $G_{\text{гр}i}$ и коэффициента сцепления ее с внутренней поверхностью кузова вагона.

После выгрузки породы из вагона на днище и стенках вагонетки остается первичный слой налипшей горной массы объемом Q_1 .

Налипание второго слоя на первичный и последующих слоев друг на друга будет происходить в процессе очередных циклов загрузки вагонетки породой и выгрузки ее из вагона (рис. 4.6 б).

Условия налипания второго слоя породы на первичный сохранятся, если вес горной массы будет меньше силы внутреннего трения ее частиц между собой, т.е.

$$\sum_1^n gc_{i_2} < F_{\text{тр}2}.$$

При взаимодействии последующих слоев сила трения $F_{\text{тр}i}$ будет зависеть от веса очередной порции породы, загруженной в вагонетку $G_{\text{гр}i}$ и коэффициента сцепления частиц породы между собой $f_{\text{тр}i}$

$$\sum_1^n F_{\text{тр}i} = \sum_1^n f_{\text{тр}i} \cdot \sum_1^n G_{\text{гр}i}$$

Вероятность нарастания слоя налипшей породы тем больше, чем больше коэффициент трения (сцепления) $f_{\text{тр}i}$ и вес ее в вагонетке $G_{\text{гр}i}$.

Установлено, что при постоянном числе вагонов в составе и объеме породы, вынимаемой комбайном при каждом цикле проходки, происходит превышение нормы погрузки породы в вагоны на величину налипшего слоя и соответственно превышение массы состава. В результате превышения массы состава изменяются тяговые характеристики приводного блока ДКН и запас прочности тягового каната.

Согласно рекомендаций [109 – 112], основным заданием функций и структуры АСУ ТП в условиях неопределенности является решение задач генезиса, т.е. изучение процессов образования и развития негативных явлений (развитие

деформаций кузова, снижение вместимости вагона, отказы узлов и др.), а также их распознавание при работе ДКН в выработках сложной конфигурации.

Таким образом, для адаптации ДКН в подземных выработках сложной конфигурации необходимо, в действующую структуру АСУ режимами работы, дополнительно включить функциональные модули контроля качества выгрузки породы из шахтных вагонов и их диагностирования.

Согласно требованиям ГОСТ 22269 – 76, указанные функциональные блоки, а также рабочее место оператора ДКН (пульт управления) должны быть компактно размещены для обеспечения возможности визуального контроля режимов работы технологических звеньев транспортной системы [113].

4.4 Визуально-оптический метод контроля процесса выгрузки породы из вагонов

При обосновании структуры автоматизированного управления ТТП с применением ДКН были проанализированы известные способы оперативного контроля состояния тяговых канатов и технические решения, применяемые в горной промышленности и смежных отраслях при разгрузке сыпучих грузов из прибывающих составов.

Установлено, что в практике технического диагностирования канатов подъемных машин широкое применение находят физические методы неразрушающего контроля металлоемкого оборудования (акустический, визуально-оптический, электромагнитный, ультразвуковой дефектоскопии, радиационный и др.). Указанные методы контроля обладают индивидуальными достоинствами и недостатками, которые определяют область их применения.

Например, в стационарных условиях широкое применение находят радиационные методы контроля, обладающие высокой достоверностью, наглядностью и возможностью длительно сохранять полученную видеoinформацию на снимках. На базе этого метода разработаны современные комплексы цифровой радиографии типа ФОСФОМАТИК, позволяющие с

помощью цифровой обработки полученного изображения изменять его яркость и контрастность, а также дистанционно передавать видеоизображения оператору [114]. К аналогам этого комплекса можно отнести портативные рентгеновские дефектоскопы АРИНА, рентгеновские серии РПД и импульсные аппараты типа САРМА. Однако высокие требования к условиям применения методов цифровой радиографии не позволяют в ближайшей перспективе использовать данный метод в условиях шахтной среды.

На бурогольных шахтах Германии наблюдения за деформациями конвейеров и стационарного подземного оборудования основаны на применении методов фотограмметрии с использованием осе-временного параллакса, позволяющего измерять перемещение объекта параллельно плоскости изображения камеры. Вертикальные перемещения объектов определяются стереоскопическим измерением координатных параллаксов на фотографиях, полученных последовательно (по оси времени) при одном и том же положении камеры. Деформационные параллаксы Δp^1_z являются мерой вертикальных перемещений Δz объекта [39]. При надлежащем обслуживании подобные системы можно использовать для диагностирования состояния рельсового пути и линейных элементов ДКН, подвергаемых вертикальным перемещениям вследствие пучения пород почвы.

Следует отметить, что в зарубежной практике диагностирования технического состояния металлоконструкций около 80 % среди всех методов неразрушающего контроля приходится на виброакустические методы, основанные на ультразвуковых колебаниях и волнах. Используя свойство ультразвука распространяться направленно в однородной среде без затуханий и практически полностью отражаться на границе раздела двух сред данный метод можно применить для контроля полноты выгрузки горной массы из вагонов. Однако важным условием применения данного метода является создание акустического контакта путем покрытия металлических поверхностей консистентной масляной смазкой [40]. С учетом этих требований необходимо чтобы шероховатость внутренних поверхностей вагонетки соответствовала

чистоте обработки не менее третьего класса, что в условиях агрессивной шахтной среды достичь невозможно.

Для определения остаточного ресурса и повреждений тягового органа применимы методы неразрушающего контроля, основанные на определении магнитных свойств материала каната или на регистрации магнитных полей рассеивания. В зарубежной практике [39] при определении остаточного ресурса тяговых органов подвесных канатных дорог, подвергаемых коррозии, широко используются дефектоскопы, предназначенные для определения механического износа внутренних и наружных проволок прядей каната и его сечения. Дефектоскоп, контролируя скорость (0,5 м/с) перемещения тягового органа подвесной канатной дороги, сканирует последовательно исследуемые участки каната путем измерения относительной (до 20 %) потери его сечения. Сущность работы дефектоскопа заключается в определении разности параметров электрического поля при перемещении проводника с постоянным током в магнитном поле.

Несмотря на широкое разнообразие применяемых методов неразрушающего контроля и средств диагностирования технического состояния металлоемких конструкций, по мнению дефектоскопистов, самым информативным методом на данный период считается визуально-оптический метод [39, 117, 118, 119].

В настоящей работе приведены результаты исследований потенциальных возможностей визуально-оптического метода контроля, на базе которых были разработаны рекомендации на создание системы диагностирования линейных узлов ДКН и блока разгрузки вагонов с использованием эффекта стереовидения.

Идея технического решения заключается в использовании эффекта компьютерного зрения в пункте разгрузки вагонов для нормализации режимов работы подготовительных забоев, которые вынуждены в конце каждой смены нарушать график организации горнопроходческих работ из-за невозможности закончить цикл работ по разрушению массива и подготовки призабойного

пространства к процессу крепления. Обусловлено это тем, что в соответствии с рис. 4.6 и графиком, приведенным на рис. 4.5, к концу смены объем шахтного вагона снижается на 25 – 30 % из-за налипания породы в кузове. По этой причине, закрепленный за ДКН состав вагонов не в состоянии принять планируемый объем извлекаемой породы. В результате по центру забоя оставляется целик, который, по причине транспорта, вынуждены извлекать горнорабочие следующего звена.

В этой связи, для оперативного определения коэффициента использования габарита вагона предложено применить систему стереовидения, которая, по результатам визуального анализа трехмерных изображений объемов породы, остающейся в кузове вагона после ее выгрузки, позволяет устанавливать фактическую емкость вагона после каждого цикла горнопроходческих работ.

Оценивая технические возможности компьютерного зрения, применительно к решаемым задачам был сделан вывод, что систему стереовидения можно успешно применять для анализа полноты выгрузки горной массы из вагонов и диагностики технического состояния кузова на участках трассы, приведенных на рис. 4.3.

Для реализации идеи оперативного контроля и управления процессом выгрузки породы из вагонов потребовалось разработать программный комплекс, а также методику диагностирования технологического состояния подвижного состава ДКН, бункера и блока разгрузки вагонов.

При планировании эксперимента предусматривалось, что программный комплекс и, применяемая система стереовидения, должны совмещать в себе следующие функции: регистрацию движения состава; поиск в кадре вагона, устанавливаемого для разгрузки породы в бункер; фиксацию в кадре вагона с налипшими остатками породы; обработку кадра с поиском отклонений от нормы; передачу обработанной информации оператору ДКН для принятия решения.

В соответствие с приведенными функциями была разработана методика поэтапных теоретических и экспериментальных исследований характеристик системы стереовидения и, основанного на ее применении, метода диагностирования процесса разгрузки шахтных вагонов.

Архиважным условием эффективной работы стереосистемы в шахте является обеспечение стабильной интенсивности освещения в местах установки видеокамер, достаточной для получения качественного изображения исследуемого объекта. Основными показателями эффективности, применяемых в шахтных условиях источников света, являются яркость, срок службы, начальная эффективность источника и различимость цвета. На практике при выборе источников света руководствуются требованиями стандартов, касающиеся освещения в шахтах.

По результатам анализа источников света установлено, что наиболее приемлемыми для применения визуально-оптического метода контроля процессов разгрузки шахтных вагонов являются лампы накаливания и дневного света, которые широко используются для освещения камер околоствольного двора, ремонтного депо, дробильных установок, а также конвейерных линий и погрузочно-разгрузочных пунктов подземного транспорта.

Условием применимости визуально-оптического метода диагностирования является получение четких стереоизображений шахтных объектов для создания карты глубины их изображения. Под картой глубины [120, 121] подразумевается изображение, где каждый пиксель представляет не цвет, а расстояние от объекта до камеры. Чем темнее объект на карте, тем он дальше от камеры.

Получение четких изображений шахтных объектов зависит не только от их освещенности, но и от многих технических факторов, связанных с разрешающими способностями камер. К таким факторам относятся ориентация камер относительно объекта и расстояние до сканируемого объекта.

Алгоритм решения задачи управления процессом выгрузки породы с помощью системы стереовидения вагонов можно разделить на две части:

первая – поиск состава груженных вагонов в видеопотоке; вторая – оценка проблемных событий после выгрузки породы.

В нашем случае к проблемным событиям относятся деформации кузова вагона и факты налипания породы на его стенках и днище. Вероятность данных событий может произойти или не произойти при выполнении определенного комплекса условий. В этой связи создаваемая стереосистема должна включать операции анализа видеоизображения и определения объема породы, оставшейся в вагоне после его разгрузки, т.е. объема породы налипающей на дно и стенки кузова вагонеток в процессе транспортирования. Узким звеном предлагаемой системы диагностирования является отсутствие оценочных показателей качества выгрузки влажной породы из шахтных вагонов. Поэтому для оценки эффективности работы блока разгрузки составов, был введен коэффициент использования объема кузова.

Эксплуатационными параметрами шахтных вагонов являются их емкость (V) и грузоподъемность (G), которые рекомендовано выражать через линейные размеры и коэффициент использования объема кузова шахтного вагона [122]

$$V = m \cdot h \cdot l \cdot \mu, \text{ м}^3; \quad (4.1)$$

$$G = V \cdot \gamma = m \cdot h \cdot l \cdot \mu \cdot \gamma, \text{ т}; \quad (4.2)$$

где m – ширина вагона, м;

h – высота вагона от головки рельсов до верхней кромки кузова, м;

l – длина кузова по верхней кромке, м;

γ – плотность груза в насыпке, т/м³;

μ – коэффициент использования объема шахтного вагона, зависящий от геометрической формы кузова (рис.4.7).

Необходимость определения коэффициента использования объема вагона обоснована тем, что система стереовидения, предлагаемая для обнаружения объемов остающейся в кузове вагонетки породы, также основана на

регистрации линейных размеров шахтных вагонов и их конструктивных особенностей.

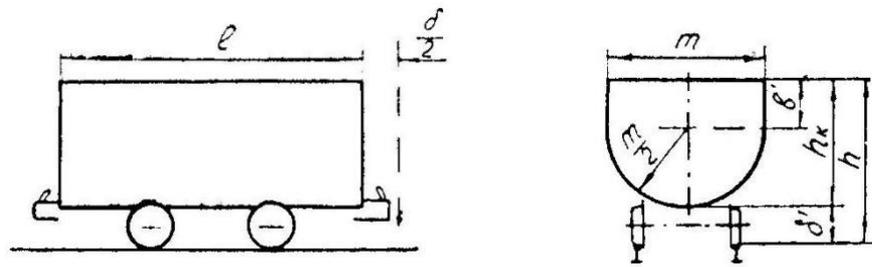


Рисунок 4.7 – Расчетная схема к определению использования объема шахтного вагона с глухим кузовом при налипании породы (типа ВГ 3,3)

Обусловлено это тем, что алгоритм вычисления глубины изображения учитывает такие исходные данные, как длина, ширина и высота вагонетки; расстояние от днища и верхней кромки кузова шахтного вагона до камер. Таким образом, эксплуатационные параметры подвижного состава, коэффициент использования объема кузова шахтного вагона и параметры, определяемые системой стереовидения, взаимосвязаны.

С учетом вышеизложенного коэффициент использования объема кузова вагона можно определить из выражений (4.1) и (4.2)

$$\mu = \frac{V}{m \cdot h \cdot l} = \frac{G}{m \cdot h \cdot l \cdot \gamma} \quad (4.3)$$

При использовании вагонеток с прямыми торцевыми стенками кузова емкость вагона будет равна:

$$V = s_k \cdot l = m \cdot h \cdot l \cdot \mu', \text{ м}^3;$$

где s_k – полезная площадь поперечного сечения кузова вагонетки, м^2 ;

μ' – коэффициент использования поперечного сечения вагона.

$$\mu' = \frac{s_{\kappa}}{m \cdot h} = \frac{s_{\kappa} \cdot l}{m \cdot h \cdot l} = \frac{V}{m \cdot h \cdot l}. \quad (4.4)$$

Из (4.3) и (4.4) следует, что для вагонов с прямыми торцевыми стенками кузова $\mu = \mu'$.

Для вагонов с прямоугольным кузовом

$$\mu = \frac{m \cdot h_{\kappa}}{m \cdot h} = \frac{h_{\kappa}}{h} \quad \text{или} \quad \mu = h - \frac{\delta'}{h} = 1 - \frac{\delta'}{h}, \quad (4.5)$$

где h_{κ} – высота кузова, м;

δ' – зазор между головкой рельса и днищем кузова, м.

Из (4.5) следует, что значение μ остается постоянным при сохранении h и δ' и увеличивается с повышением h для различной емкости вагона.

У вагона с полукруглым днищем

$$s_{\kappa} = m \cdot b' + \frac{\pi \cdot m^2}{8}, \text{ м}^2; \quad (4.6)$$

где b' – высота прямой стенки кузова, м.

Заменив в выражении (4.6) $b' = h - \frac{m}{2}$ и $h_{\kappa} = h - \delta'$ и выполнив преобразования, получим

$$s_{\kappa} = [h - (\delta' + 0,107m)] m, \text{ м}^2. \quad (4.7)$$

Тогда

$$\mu' = \frac{s_{\kappa}}{m \cdot h} = 1 - \frac{(\delta' + 0,107m)}{h}. \quad (4.8)$$

Из (4.8) видно, что при сохранении δ' и h значение μ' уменьшается с увеличением толщины слоя налипшей породы на стенках и днище кузова вагона.

Для формализации функций и принципов работы стереосистемы в процессе выгрузки породы из шахтных вагонов потребовалось провести испытания рекомендуемых комплекта оборудования стереосистемы, программного комплекса и методики диагностирования технологического состояния подвижного состава.

4.5 Результаты экспериментальных исследований параметров взаимодействия стереосистемы и шахтного подвижного состава

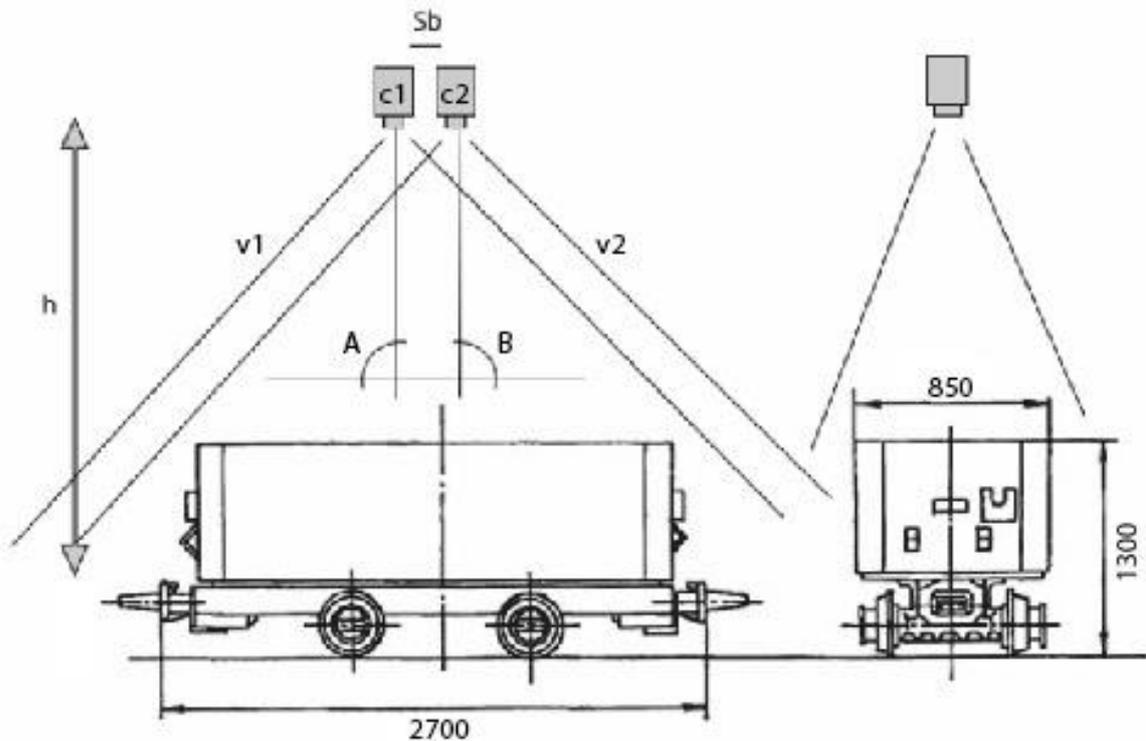
В соответствие с методикой экспериментальных исследований принципы действия и параметры стереосистемы определялись в лаборатории рельсового транспорта НГУ с использованием действующего шахтного оборудования.

Для проведения натурального эксперимента в лабораторных условиях в комплект стереосистемы были включены две камеры Logitech C110 и компьютер с процессором Intel Core i5 1.7 GHz. В качестве шахтного оборудования использовалась шахтная вагонетка типа ВГ-1,6.

Особенности функционирования стереосистемы определили необходимость выполнения комплекса предварительных мероприятий, связанных с подготовкой и корректировкой измерительной аппаратуры и места проведения исследований. На предварительном этапе выполнялось согласование параметров помещения, его освещенность и место расположения камер с параметрами стереокомплекса.

В процессе установки стереосистемы потребовалось рассчитать положение камер, высоту расположения системы стереокамер относительно шахтной вагонетки, длину стереобазы и угол, под которым располагались камеры относительно друг друга. Для выполнения расчетов были использованы характеристики используемых в эксперименте типов шахтных вагонеток и рельсового пути, данные о габаритах помещения и параметрах его освещения в местах установки системы, а также технические характеристики камер.

Расчетная схема к определению высоты расположения камер стереосистемы относительно рельсового пути приведена на рис. 4.8.



$c1, c2$ – камеры стереосистемы; $v1, v2$ – поле зрения каждой камеры;
 h – высота расположения стереосистемы относительно рельсового пути

Рисунок 4.8 – Схема к расчету высоты расположения камер

Расчет высоты установки камер производился в соответствие с выражением:

$$h = \frac{A_B f}{mh} + H_B, \text{ м};$$

где A_B – горизонтальный размер вагонетки, м;

mh – горизонтальный размер матрицы, мм;

f – фокусное расстояние, мм;

H_B – высота вагонетки, м.

При проведении натурального эксперимента использовались камеры с фокусным расстоянием $\sim 4,8$ мм и горизонтальным размером матрицы – 4 мм.

Применительно к реальным условиям эксперимента для вагонетки ВГ-1,6 минимальная высота установки камер, согласно расчетам составила 3,1 м, а для вагонетки ВД-2,5 – 4,3 м.

Для формирования банка исходных данных были выполнены расчеты по определению рациональной высоты установки стереокамер для основных типов шахтных грузовых вагонов, серийно выпускаемых заводами угольного машиностроения.

Рассчитать рациональное фокусное расстояние камеры, с которого она сможет успешно получать кадры, вмещающие габариты шахтной вагонетки с высоты 2,5 – 3,0 м, технически возможно, используя формулу фокусного расстояния f :

$$f = \frac{\nu \cdot h \cdot S}{H}, \quad (4.9)$$

где ν – вертикальный размер матрицы, мм;

S – расстояние до объекта, м;

h – горизонтальный размер матрицы, мм;

H – горизонтальный размер объекта, м.

Исследуемым параметром экспериментальных исследований являлся коэффициент использования объема кузова шахтного вагона. Поэтому стереокамеры должны были качественно определять количество породы, остающейся в кузове вагонетки после ее разгрузки.

Определение рационального расстояния от камеры до днища кузова вагонетки выполнялось по схемам, приведенным на рис. 4.7 и 4.8 путем вычитания величины зазора δ' между головкой рельса и днищем кузова из общей высоты установки камеры. Экспериментально установлено, что для исследуемого типа шахтного вагона рациональное расстояние $S_{\text{дн}}$ от камеры до днища вагонетки будет составлять 3,1 м.

В соответствии с выражением (4.9), расчетное фокусное расстояние для камер с шириной фотосенсора 35,8 мм, при расстоянии до объекта диагностирования $S_{\text{дн}} = 3,1$ м, составило $f = 0,0172$ м = 17 мм. Однако, по результатам натурных экспериментов было установлено, что для более качественного фиксирования объема горной массы, остающейся в кузове вагона типа ВГ-1,6, необходимо систему стереокамер с шириной матрицы ~ 35мм и фокусным расстоянием ~ 17 мм устанавливать на высоте $h \geq 2,5$ м. То есть, чтобы вместить вагонетку типа ВГ-1,6 в один кадр, стереосистема камер должна быть установлена на высоте более 1,0 м от верхней кромки кузова. При таком расстоянии камеры должны быть направлены параллельно друг другу и под углом 90° относительно рельсового пути и вагонеток. Такая установка направления стереокамер обусловлена взаимосвязями основных параметров подвижного состава и сечений подземных транспортных выработок.

По результатам натурных экспериментов установлено, что для получения качественных изображений содержимого шахтного вагона достаточно сохранять дистанцию между камерами в пределах стандартной стереобазы (50 – 80 мм). Более точные значения регулируются освещением и характеристиками камеры. Применительно к условиям лаборатории стереосистема была расположена на высоте 2,3 м.

Этап подготовки стереосистемы к работе заканчивался установкой направления камер и занесением в компьютер исходных данных, таких как: высота установки камер; расстояние от днища и верхней кромки кузова до камер, конструктивные параметры вагонетки.

Алгоритм диагностирования процесса выгрузки породы из вагонов начинается с включения в работу системы камер, поочередной обработки каждого изображения из потока видео и распознавания движения (рис. 4.9).

Если в кадре обнаруживается движение, система выделяет движимые области и с помощью поиска горизонтальных линий, делит область на отдельные объекты. Если размеры одного из объектов сопоставимы с

пропорциями вагонетки изображение сохраняется для обработки и последующего построения карты глубины на его основе.



Рисунок 4.9 – Алгоритм работы системы диагностики

Обработка изображения и построение карты глубины выполняется поэтапно. Вначале, в найденной и распознанной в потоке видео вагонетке, выделяется полученная область изображения. Процедура выделения области обусловлена необходимостью снижения нагрузки на компьютер, поскольку при

диагностировании нас интересует не все изображение, а только часть кузова вагонетки с налипшей породой.

После получения стереоизображения вагонетки начинается выполнение алгоритма, а именно: получение глубины изображения, корректировка изображений левой и правой камер, удаление неиспользуемой информации и корреляция, т.е. соединение двух изображений в одно с помощью поиска парных точек на входных изображениях. В дальнейшем, по найденным точкам, определяются трехмерные координаты точек и их прообраза в трехмерном пространстве. Зная трехмерные координаты прообраза, вычисляется глубина изображения и создается матрица глубины для текущей пары кадров.

Матрица глубины – это значения расстояния каждого пикселя до камеры. По результатам экспериментальных исследований установлено, что чем больше значение элемента матрицы, тем ближе пиксель расположен к камере, т.е. элементы матрицы равные нулю соответствуют частям изображения, которые находятся на максимальном удалении от камер. Нулевые значения элементов матрицы (RGB: 0,0,0) на карте глубины окрашены в черный цвет. Чем выше значение элемента в матрице, тем участок изображения ближе к камере и тем светлее полученный пиксель. Например, значению 168 будет соответствовать серый цвет (RGB 168, 168, 168), а 255 – белый цвет (RGB 255, 255, 255).

Зная, что 0 – это значение, равное расстоянию от камер до днища кузова вагонетки, а 255 – расчетному расстоянию от камеры до объекта и, рассчитав по схеме (рис. 4.8) расстояние от камеры до верхней кромки кузова вагонетки можно определить значение верхней границы насыпного груза в кузове вагона. В качестве наглядного примера на рис. 4.10 представлены исходное изображение груза в кузове вагонетки и вычисленная карта глубины изображения.

По представленной карте глубины можно установить, что вагонетка заполнена немного больше, чем наполовину. Объясняется это тем, что большая часть ее содержимого окрашена в светло серый цвет.

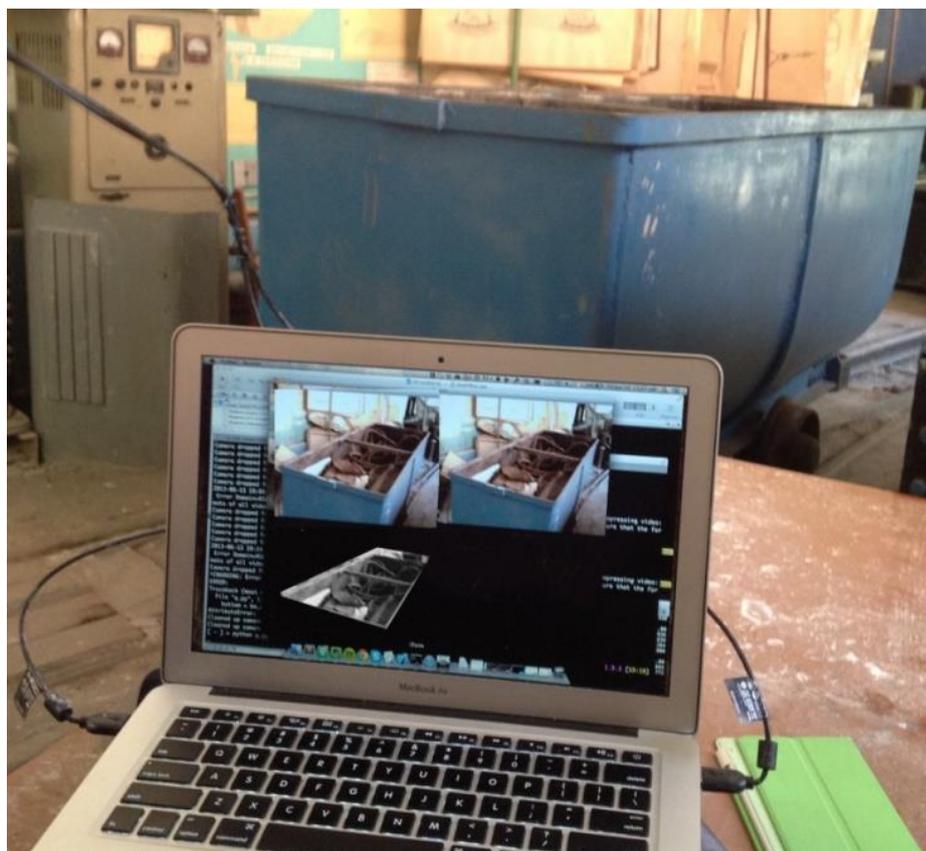


Рисунок 4.10 – Активное окно программы с картой глубины изображения

В процессе лабораторных исследований было также установлено, что повышение точности алгоритма достигается увеличением горизонтального размера окна и количеством итераций алгоритма, однако, в этих случаях, значительно возрастет время исполнения алгоритма.

4.6 Формирование требований к функциям программно-технического комплекса контроля процесса выгрузки породы из вагонов

Полученные аналитические взаимосвязи параметров подвижного состава при неуправляемых процессах разгрузки шахтных вагонов позволили определить функции и структуру предлагаемого способа обнаружения объемов не выгруженной породы с помощью системы стереовидения.

Установлено, что поскольку основные параметры шахтных вагонов известны, то каждое отклонение коэффициента использования объемного габарита шахтного вагона должно регистрироваться автоматизированной системой с помощью компьютерного зрения, а программа должна оперативно выполнить анализ видеок кадров и оповестить оператора о состоянии подвижного состава.

Необходимо отметить, что важным условием, разрабатываемого визуально-оптического метода диагностирования, является мотивированный выбор камер, компьютера и библиотеки для обработки стереоизображений, а также программы калибровки камер. Последнее необходимо для «связывания» полученных измерений камерой с измерениями в реальном, трехмерном мире.

В соответствие с рекомендациями [118 – 121] для получения качественного стереоизображения необходимо использовать две или более камеры. В практике фотограмметрии применяют системы стереовидения, состоящие из двух камер и комплекта специального оборудования. Например, в состав фотограмметрической системы, разработанной Брейсвеллом и Клементом [124], входят:

- 1) эргономический блок, в котором предусмотрен звуковой выход для подсказок оператору;

- 2) полный набор программного обеспечения, включающий трехмерную графику, банк данных и большое число специальных процедур для оперативных измерений и интерпретации данных в диалоговом режиме;

- 3) интерфейсы к трехмерным системам автоматизированного проектирования.

Обязательным условием при комплектации устройств системы стереовидения является идентичность камер. В зарубежной практике для исключения прецедентов получения изображений с различными параметрами цвета, шумов и разрешения применяют калибровку видеооборудования и алгоритмы для обработки и очистки изображений.

В работах [123, 125] в качестве библиотеки для обработки видео рекомендуют использовать Open CV – библиотеку компьютерного зрения с открытым исходным кодом (Open Source Computer Vision Library), содержащую более 500 функций, задействованных под выполнение в реальном времени. Библиотека содержит алгоритмы: для обработки, реконструкции и очистки изображений; распознавания образов; захвата видео; слежения за объектами; калибровки камер и др.

По результатам проведенных экспериментальных исследований установлено, что одним из важнейших параметров, влияющим на получение качественной и достоверной карты глубины является расположение камер.

В расположении камер существенными параметрами являются:

- расстояние между камерами (стереобаза);
- расстояние от середины стереобазы до сканируемого объекта;
- направление камер (угол между линией стереобазы и направлением камер).

Согласно инструкций [125] по установке стереосистем, при расчете рациональной высоты установки камер и их направления необходимо руководствоваться данными о размерах шахтных вагонеток, об освещении подземных горных выработок и технических характеристиках камер. От расстояния между объективами двух камер зависит точность полученной карты глубины.

Важным условием адаптации данного технического решения было установление функции, относительно которой должна строиться объединенная структура и информация. В этой связи структура автоматизированного управления режимами работы ДКН, укомплектованная специальным контроллером стереосистемы, должна гарантировать оптимальное функционирование и безопасность процесса выгрузки породы из вагонов (табл. 4.2).

По результатам стендовых испытаний функций и структуры способа обнаружения объемов не выгруженной породы установлено, что перспективной целью данного технического решения является создание банка данных для формирования исходных требований на применение модулей системы

стереовидения в структуре автоматизированного управления процессами транспортирования породы и разгрузки вагонов в шахте.

Таблица 4.2 – Требования к функциям и структуре АСУ ДКН, укомплектованная специальным контроллером стереосистемы

Оптимальное функционирование процесса выгрузки породы из вагонов	Безопасность технологического процесса
<ul style="list-style-type: none"> ▪ оперативное представление информации обслуживающему персоналу ДКН о степени заполнения бункера породой; ▪ автоматическое регулирование очередности подачи вагонов для разгрузки груженого состава; ▪ контроль процесса разгрузки очередного вагона; ▪ автоматизированное диагностирование технического состояния внутренней поверхности кузова после выгрузки породы из вагона; ▪ формирование диагностической матрицы о форме и объемах налипшей породы в кузове шахтной вагонетки после очередного цикла ее выгрузки; ▪ контроль действий операторов, управляющих информационными потоками о ходе выполнения разгрузочных работ; ▪ архивирование показателей налипания породы и типизации процессов ее выгрузки для формирования информационной базы о закономерностях снижения полезного объема кузова шахтной вагонетки. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ осуществление контроля и анализа хода технологического процесса выгрузки породы из вагонов; ▪ применение программно-технических средств высокой надежности; ▪ рациональное использование потенциальных ресурсов; ▪ согласование эксплуатационных показателей шахтных вагонов после разгрузки с потребностями подготовительных забоев; ▪ автоматизация процедур защит и блокировок бункера от перегрузки; ▪ прогнозирование режимов работы проходческого оборудования при выполнении процессов и операций последующего цикла.

Для реализации данной идеи при разработке исходных требований были использованы результаты экспериментальных исследований программного

комплекса компьютерной системы контроля и диагностики процесса выгрузки породы. На базе этих исследований в исходных требованиях были сформированы информационные, управляющие и защитные функции и соответствующие им требования.

Выводы по разделу

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований производственных процессов, связанных с доставкой породы напочвенными канатными дорогами по выемочным выработкам от пункта ее погрузки в составы вагонов до пункта их разгрузки послужили базой для установления принципов АСУТП комбайнового проведения выемочных выработок с применением напочвенных канатных дорог нового поколения.

2. По результатам выполненных исследований установлено, что для реализации функций АСУТП информация, поступающая на пульт оператора ДКН, должна обеспечивать: централизованный контроль за ходом технологического процесса; диагностику состояния транспортно-технологического оборудования; регистрацию истории развития процесса, а также вычислительные и логические функции информационного характера.

3. Для обеспечения устойчивой работы АСУТП в реальных условиях шахтной среды в действующую схему управления приводом ДКНП-1.6, было рекомендовано ввести дополнительный модуль автоматизированного контроля изменений параметров двигателя на базе датчика тока ДТА-1.

4. Для обоснования рациональной структуры автоматизированного управления процессами перемещения породы в подземных выработках сложной конфигурации с применением ДКН разработана энергосберегающая модель транспортно-технологической системы, в которой процессы и операции были объединены по функциональному назначению в самостоятельные блоки, выполняющие определенные функции в характерных для них интервалах.

5. Установленная экспоненциальная зависимость снижения коэффициента использования полезного объема шахтного вагона от толщины налипающего слоя горной массы и программно-технический комплекс диагностирования процесса ее выгрузки с применением системы стереовидения обеспечивают снижение удельных энергозатрат на повторное транспортирование породы, остающейся в кузове вагонетки после выполнения очередного цикла горно-подготовительных работ.

6. Введение в структуру управления ДКН функционального модуля контроля качества выгрузки из вагонов горной массы влажностью более 50 % и липкостью до 75 г/см^2 , обеспечивает своевременное удаление продуктов разрушения за пределы проводимой выработки и планируемые темпы проведения выработок.

РАЗДЕЛ 5

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ПРОВЕДЕНИЯ ВЫРАБОТОК ПУТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

5.1 Разработка алгоритма моделирования энергосберегающих технологических схем проведения выработок с применением ДКН

При интенсификации горнопроходческих работ для машин и оборудования внутришахтного транспорта, работающих циклично (по календарному графику), наибольшее значение приобретают повышение степени их загрузки и количество рабочих циклов, т.е. повышение пропускной способности ТТС. Шахтными исследованиями эксплуатационных параметров действующих схем участкового транспорта с применением ДКН установлено, что резервами производственного потенциала напочвенных канатных дорог являются: повышение их надежности и универсализация; обеспечение ресурсо- и энергосбережения, а также расширение диапазона выполняемых функций путем рациональной расстановки технологического оборудования и обоснованной схемой автоматизированного управления производственными процессами.

Необходимо отметить, что обеспечение безаварийной работы ДКН в искривленных выработках с интенсивным пучением пород почвы и ресурсосбережение их узлов относятся к основным задачам АСУ ТП.

По результатам оценки работоспособности ДКН в типичных и нетипичных режимах их работы, обусловленных природными явлениями или техническими и организационными ошибками, было установлено, что ресурсосбережение в значительной степени зависит от нагрузок, действующих на элементы напочвенной дороги. Поэтому прогнозирование ресурса каната, роlikоопор и других элементов следует рассматривать как одну из

неотъемлемых частей алгоритма повышения энергоэффективности технологических схем транспорта.

В процессе шахтных испытаний эксплуатационных параметров опытного образца ДКНП-1,6 было установлено, что удельные показатели энергозатрат на перемещение породы в подземных выработках зависят от скорости и длины транспортирования, массы перевозимого груза, средневзвешенного угла наклона выработки и профиля трассы, а также от сложности схем маневровых операций.

В этой связи, разрабатываемая структура автоматизированного ОПУ грузопотоками породы при проведении выемочных выработок, должна обеспечивать прогнозирование условий взаимодействия функциональных элементов ДКН в нетипичных режимах их работы. В разработанных исходных требованиях (Приложение Б) в целях универсализации ДКНП-1,6 было рекомендовано использовать транспортно-технологическую схему комбайнового проведения выемочных выработок с применением ДКН в сочетании с породными бункерами и АСУ процессами погрузки, транспортирования и выгрузки породы из шахтных вагонов. Шахтными экспериментами установлено, что в такой компоновке напочвенная канатная дорога должна совмещать функции основного и вспомогательного транспорта и отвечать всем требованиям предъявляемым к обоим видам транспорта.

Исходя из опыта эксплуатации средств вспомогательного транспорта надежность ДКН нового поколения следует оценивать стабильностью их действия в специфических условиях горного производства и длительностью вынужденных простоев, обслуживаемых ими проходческих забоев. В условиях неопределенности достигнуть стабильных показателей работы ДКН при минимальных энергетических затратах можно путем внедрения АСУТП, которая позволит диагностировать параметры ДКН и эксплуатационное состояние выемочных выработок.

На основе диагностирования и оперативной обработки исходной информации и накопленного банка данных подобная система управления

позволит оператору ДКН правильно оценить создавшуюся ситуацию, принять квалифицированное решение для ликвидации вынужденных простоев и повысить безопасность ТТП в условиях неопределенности.

В соответствии с рекомендациями [54] при выборе и компоновке функциональных элементов технологических схем транспорта с применением ДКНП-1,6 учитывались факторы, определяющие эффективность энергомеханической системы – высокая пропускная способность, малые энергопотребление и расходы на обслуживание, низкая стоимость эксплуатации и длительный срок применения. При обосновании принципов энергосбережения были использованы результаты маркшейдерской съемки действующей сети горных выработок, для которой вначале проектировался базовый вариант технологической схемы транспорта с искривленной трассой для ДКН и определялись исходные данные для получения расчетных показателей (рис. 5.1).

В дальнейшем, путем компоновки основных элементов погрузочно-транспортных комплексов и моделирования структурных схем их взаимного расположения в сети горных выработок, создавались альтернативные варианты схем откатки породы, которые сопоставлялись с базовым вариантом.



Рисунок 5.1 – Базовый вариант компоновки погрузочно-транспортных комплексов с применением ДКН

Для объективного сравнения расчетных вариантов были разработаны многоуровневая блок-схема формирования технологических схем транспорта подготовительных выработок с применением напочвенных канатных дорог (рис. 5.2) и алгоритм расчета показателей эффективности их работы.

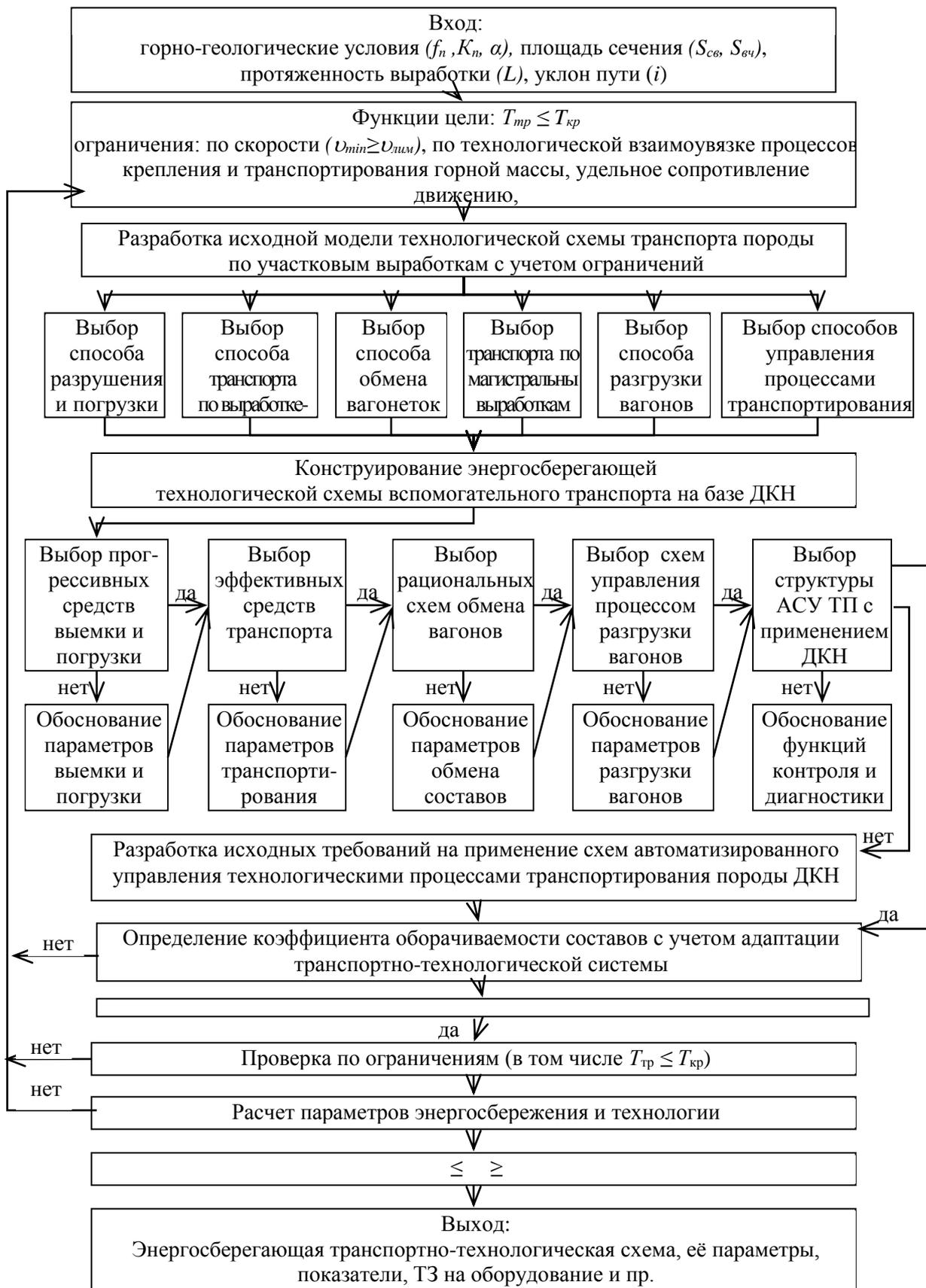


Рисунок 5.2 – Блок-схема технологического моделирования энергосберегающих схем транспортирования породы с применением ДКН

Альтернативные варианты технологических схем транспорта базировались на составлении качественно отличных комбинаций оборудования, выполняющего транспортно-перемещающие процессы и операции в соответствие с блок-схемой, приведенной в разделе 3 (рис.3.3.).

При составлении альтернативных вариантов определялись: средневзвешенные значения длины откатки и уклона пути; радиусы закруглений выработок; число вагонеток в составе и вместимость кузова; вес вагонетки и плотность груза в насыпке и др.

По результатам проверочных расчетов устанавливались эксплуатационные параметры ДКН и транспортно-технологических схем с учетом которых определялись удельные энергозатраты: тяговые характеристики и мощность привода; допустимая масса подвижного состава; максимальное натяжение и запас прочности тягового каната; время цикла транспортирования и др.

Следует отметить, что для протяженных участковых выработок, непрямолинейных в профиле и плане время рейса является важным показателем автоматизированного управления технологической схемой участкового транспорта.

Полное время рейса подвижного состава ДКН равно

$$T_p = \frac{2L}{v_{cp}} + t_m + n \left(\frac{1}{k_n Q} + \frac{\tau_p}{G} \right), \text{ мин}, \quad (5.1)$$

где L – длина транспортирования, м;

v_{cp} – среднеходовая скорость движения, м/с;

t_m – время маневров у погрузочного пункта и на разминовках, мин;

Q – производительность погрузочного пункта, т/час;

n – количество вагонеток, шт;

k_n – коэффициент неравномерности;

τ_p – время разгрузки одного вагона, мин;

G – грузоподъемность состава, т.

Преимущества и недостатки одного варианта на любом элементе технологической схемы по сравнению с другим вариантом, определялись в соответствии с «Программой и методикой шахтных исследований режимов работы напочвенных канатных дорог при транспортировании грузов в сложных горнотехнических условиях эксплуатации» (Приложение А).

Хронометражными исследованиями доказано, что при эксплуатации ДКН в прямолинейных выработках длиной до 2000 м большую часть полного времени рейса занимают не движение составов по участковым горным выработкам, а процессы маневрирования при обмене груженых вагонов на порожние, погрузки и разгрузки горной массы повышенной влажности и липкости. Результаты шахтных исследований (табл. 2.2) являются основанием для утверждения, что погрузочно-разгрузочные и маневровые операции являются потенциальными источниками уменьшения времени рейса составов и простоев подготовительных забоев, оборудованных канатными дорогами нового поколения.

В соответствии с исходными требованиями (Приложение Б) рекомендовано, для повышения эффективности транспортно-перемещающих операций, обосновать модель АСУ приводом ДКН, в основу которой положен принцип минимизации энергозатрат при выполнении транспортно-перемещающих операций. Идея заключается, в использовании закономерностей поведения функциональных элементов ДКН в типичных условиях эксплуатации и прогнозирования нетипичных условий для обоснованного выбора стратегии принятия решений по управлению ТТП и операциями.

При автоматизированном управлении транспортно-перемещающими процессами у оператора ДКНП-1,6 появляется возможность фиксировать на пульте управления различные условия транспортирования грузов, анализировать и обрабатывать поступившую информацию и, путем изменения характеристик привода, реализовывать решения по предупреждению возможных неисправностей.

5.2 Обоснование рациональной схемы организации горнопроходческих работ с автоматизированным управлением параметров напочвенных канатных дорог и грузопотоков породы

Результаты выполненных теоретических и экспериментальных исследований послужили базой для утверждения, что в условиях интенсификации очистных работ горнопроходческие работы должны удовлетворять ряду требований.

С учетом современных подходов к конструированию и выбору АСУТП основными требованиями являются:

- обеспечение отдельной выемки и транспортировки угля и породы из подготовительных забоев;

- совершенствование организации производства и труда путем создания специальных служб по контролю, управлению и обеспечению транспортно-технологических процессов при комбайновом проведении участковых подготовительных выработок;

- снижение суммарных затрат энергии путем универсализации напочвенных канатных дорог нового поколения с автоматизированным управлением их эксплуатационных показателей.

Для рациональной организации работы автоматизированной ТТС комбайнового проведения выемочных выработок приведенный комплекс мероприятий должен предусматривать повышение пропускной способности выработок искривленных в профиле и плане. В этой связи при обосновании рациональной схемы организации горнопроходческих работ в циклично-поточную технологическую схему проведения выемочных выработок был введен аккумулирующий бункер. Эксплуатационные параметры бункера устанавливались с учетом рационального места его установки в сети горных выработок.

По результатам технологического моделирования и экспертной оценки действующих в регионе технологических схем комбайнового проведения

выработок с использованием ДКН был отдан приоритет схеме (рис. 5.3) с комплексом оборудования (комбайн КСП-32 – перегружатель ППЛ-1 – вагонетки ВД2,5 – ДКНП-1,6 – породный бункер),

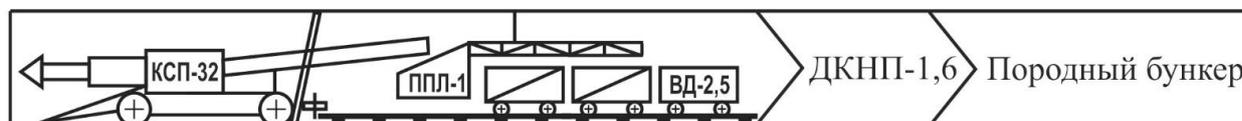


Рисунок 5.3 – Рекомендуемый вариант компоновки погрузочно-транспортного комплекса с применением ДКН

В соответствие с идеей работы рекомендуемый погрузочно-транспортный комплекс с применением ДКН и породного бункера должен обеспечивать синхронизацию процессов и операций взаимодействующей системы «Подготовительный забой – транспорт по выработке» в которой

$$T_{ГР,С} + \sum T_M + T_{Р,С} + T_{ПР,С} \leq T_{КР}, \text{ мин} \quad (5.2)$$

где $T_{ГР,С}$ – время движения груженого состава от подготовительного забоя до бункера;

T_M – суммарное время маневров для установки состава под разгрузку;

$T_{Р,С}$ – время разгрузки состава;

$T_{ПР,С}$ – время движения порожнего состава от бункера до погрузочного пункта подготовительного забоя.

В приведенном выражении и при разработке графиков организации работ в проходческом забое (рис.5.4) время загрузки состава под перегружателем комбайна ($T_{з.с.}$) не рассматривается, поскольку процессы разрушения массива комбайном и погрузки породы в составы выполняются одновременно. В связи с переходом шахт региона на применение комбинированной крепи при проведении участковых выработок (установка анкеров и рам постоянной крепи типа КШПУ) на рис.5.4 приведен график организации работ в проходческом забое с применением ДКН.

НАИМЕНОВАНИЕ РАБОТ	1 смена						2 смена						3 смена						4 смена					
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7
Приёмка и сдача смены																								
Разработка забоя комбайном КСП-32																								
Зачистка почвы выработки																								
Установка рам постоянного крепления																								
Подноска креп.матер.,затягив.боков выр.																								
Бурение шпуров, установка анкеров																								
Наращивание п/п трубопр., вент. труб, настил. рельс. путии ремонтные работы																								
Транспортирование горной массы																								
Обслуживание компрессора																								

Рисунок 5. 4 – График организации работ в проходческом забое (при укомплектованном звене – 6 чел)

Предлагаемый по результатам теоретических и экспериментальных исследований подход решения задачи совершенствования технологии комбайнового проведения участковых подготовительных выработок позволит найти рациональный вариант суммарных затрат энергии путем изменения эксплуатационных показателей ТТС: времени рейса и длины транспортирования; грузоподъемности и скорости движения подвижного состава; тяговых характеристик привода ДКНП-1,6, а также полноты выгрузки породы из вагонов, длительности погрузочно-разгрузочных и маневровых операций.

5.3 Эффективность транспортно – технологических схем проведения выработок с применением системы автоматизированного управления ДКН

Для определения ожидаемого экономического эффекта от внедрения АСУ эксплуатационными параметрами ДКН использованы данные среднемесячных объемов проведения подготовительных выработок в ш/у «Павлоградское» ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь». В соответствие с отраслевыми методиками ожидаемый экономический эффект за счет оперативного управления режимами

работы рекомендованной транспортно-технологической схемы проведения одной выемочной выработки составит

$$\mathcal{E}_{\text{ОЖ}} = K_c \frac{C_{\text{ш}} D_1 \gamma_{\text{п.з.}}}{100} \frac{V_y}{V_{\text{ш}}} \left(1 - \frac{v_1}{v_2} \right), \text{ грн};$$

где $K_c = 0,8$ – коэффициент несоответствия уменьшения числа действующих подготовительных забоев темпам роста скорости проведения выработок;

$C_{\text{ш}}$ – производственная (общешахтная) себестоимость 1т угля, грн;

D_1 – годовая добыча угля на шахте, т;

$\gamma_{\text{п.з.}} = 5 - 12 \%$ – доля условно-постоянных затрат при проведении подготовительных выработок в производственной себестоимости угля;

$V_y = 168, V_{\text{ш}} = 1435$ – среднемесячный объём проведения подготовительных выработок на участке, где внедрена АСУ ДКН (V_y), и в целом по шахте ($V_{\text{ш}}$), м;

$v_1 = 168, v_2 = 216$ – среднемесячная скорость проведения подготовительных выработок до и после внедрения АСУ ДКН, м/мес.

$$\mathcal{E}_{\text{ОЖ}} = 0,8 \cdot \frac{342 \cdot 1000000 \cdot 5}{100} \cdot \frac{168}{1435} \cdot \left(1 - \frac{168}{216} \right) \approx 356 \text{ тыс. грн}$$

При этом себестоимость проведения 1-го погонного метра выемочной выработки, для условий ш/у «Павлоградское» ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь», уменьшится на 202,3 грн.

Сравнительная характеристика технико-экономических показателей проведения выемочной выработки, для условий ш/у «Павлоградское» ПАТ «ДТЭК Павлоградуголь» представлена в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Сравнительная характеристика технико-экономических показателей проведения выемочной выработки

Показатели	Фактические темпы проведения выработок 168 п. м.	Проектные темпы проведения выработок 216 п. м.	+, - к базовому варианту
Сечение выработки:			
вчерне, м	12,7	12,7	–
в свету, м	11,2	11,2	–
Тип крепления	КШПУ 11,0	КШПУ 11,0	–
Способ проведения	Комбайновый	Комбайновый	–
Тип выемочного механизма	КСП-32	КСП-32	–
Число заходок:			
за смену, зах	2,33	3	–
за сутки, зах	7	9	–
Подвигание за сутки, м	5,6	7,2	+1,6
Подвигание за месяц, м	148,4	190,8	+ 42,4
Численность суточной комплексной бригады проходчиков:			
явочная, чел	20	20	–
списочная, чел	38	38	–
Производительность труда проходки:			
на выход, м. п.	0,28	0,36	+ 0,08
на месяц, м. п.	3,91	5,02	+ 1,11
Себестоимость 1 м.п. выработки, грн.	11725	11522,7	– 202,3
Стоимость проведения выработки, грн. (L = 1,76 км)	20636000	20279952	– 356048
Сроки прохождения выработки, мес. (L = 1,76 км)	10,5	8,2	– 2,3

Выводы по разделу

По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований сделаны следующие выводы:

1. В технологических схемах проведения выработок с применением ДКН нового поколения безопасность и энергосбережение решаются путем

повышения адаптационной способности транспортных средств в реальных условиях шахтной среды, оперативного управления процессами непрерывной разгрузки вагонов и контроля за полнотой выгрузки породы из шахтных вагонов.

2. Разработанный алгоритм технологического моделирования энергосберегающих схем транспортирования породы с применением ДКН позволил установить, что наиболее эффективной в горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса является технологическая схема проведения выработок комбайном КСП-32 в сочетании с ДКН и породным бункером.

3. Определено, что экономически целесообразным для деятельности шахты в целом является такой вид, тип и место расположения породного бункера, когда обеспечивается условие синхронизации элементов системы «Подготовительный забой – транспорт по выработке».

4. Рациональный вариант суммарных затрат энергии при транспортировании породы из подготовительного забоя определяется путем изменения времени рейса и длины транспортирования, грузоподъемности и скорости движения подвижного состава, а также тяговых характеристик привода ДКНП-1,6.

5. Разработаны требования и рекомендации по использованию ДКН нового поколения в качестве единого транспортного средства при проведении участковых подготовительных выработок в экстремальных производственных ситуациях.

6. Ожидаемый экономический эффект от внедрения АСУ эксплуатационными параметрами ДКН и оперативного управления режимами работы рекомендуемой транспортно-технологической системы проведения выработок составит $\mathcal{E}_{\text{ож}} \approx 356$ тыс. грн.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является завершенной научной работой, в которой на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований решена новая актуальная задача, которая заключается в установлении зависимостей технологических параметров комбайнового проведения наклонных протяженных выемочных выработок от угловых отклонений вектора трасы транспортно-технологической системы, с учетом параметров ДКН нового поколения. Это позволило обосновать модель АСУТП перемещения породы и контроля параметров подвижного состава в горных выработках со знакопеременным профилем рельсового пути.

Выполненные в работе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В условиях шахт Западного Донбасса проведение выемочных выработок с интенсивным пучением пород почвы требует разработки модели оперативного управления процессами перемещения грузов напочвенными канатными дорогами с автоматизированным контролем эксплуатационного состояния выработок и параметров транспортно-технологической системы.

2. Обоснованы критерии оценки технических, технологических и организационных отказов транспортно-технологических схем проведения выемочных выработок и ДКН по категориям тяжести их устранения.

3. Установлены пределы типичных и нетипичных условий эксплуатации ДКН, в диапазоне которых должны эффективно работать функциональные модули автоматизированной системы оперативно-производственного управления процессами вывоза шахтной породы из подготовительных забоев.

4. Установлены зависимости угловых отклонений вектора профиля откатки породы, которые снижаются по экспоненте на участках с интенсивным поднятием подошвы и по логарифмической зависимости в зонах с отрицательным углом наклона при увеличении длины участка пучения почвы в подготовительных выработках, пройденных по падению (восстанию) угольного пласта.

5. Впервые разработана модель оперативно-производственного управления процессами перемещения породы напочвенными канатными дорогами, функции которой позволяют в автоматизированном режиме координировать характеристики привода ДКН и параметры подвижного состава при проведении выемочных выработок в нетипичных условиях шахтной среды.

6. Выполнена формализация функций управления эксплуатационными параметрами ДКН при проведении выемочных выработок в условиях неопределенности изменения профиля откатки и разработана многоуровневая блок-схема формирования энергосберегающих технологических схем участкового транспорта.

7. Мотивирована целесообразность введения в действующие методики оценки технологических параметров комбайнового проведения выемочных выработок поправочных коэффициентов адаптации ДКН к реальным условиям эксплуатации.

8. Установлена экспоненциальная зависимость снижения коэффициента использования полезного объема вагонетки от толщины налипшего слоя горной массы влажностью более 50 % и липкостью до 75 г/см² при проведении выемочных выработок в слабых горных породах и обоснована целесообразность оснащения транспортно-технологической системы программно-техническим комплексом для функционального диагностирования процесса выгрузки породы из вагонеток.

9. Разработанные «Программа и методика шахтных исследований режимов работы ДКН при транспортировке грузов в сложных горнотехнических условиях» вошли в «Исходные требования на создание и внедрение технологии комбайнового проведения выемочных выработок с автоматизированным управлением процессами транспортировки шахтной породы напочвенными канатными дорогами». Расчетный экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составит $\Delta_{\text{ож}} \approx 356$ тыс. грн при проведении подготовительной выработки с применением ДКН.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Обоснование параметров энергосберегающих технологических схем подземного транспорта в условиях отработки совместных запасов шахт «Павлоградская» и «Герновская» ОАО «Павлоградуголь»: отчет о НИР. – Д.: НГУ, 2005. – 135 с. – № ГР0105U007350.

2. Повышение долговечности узлов канатных напочвенных дорог / А.В. Денищенко, А.В. Мухин, А.П. Демченко [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №3. – С. 59 – 61.

3. Геомеханика нагружения крепи очистных и подготовительных выработок в слоистом массиве слабых пород: монография / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А., Черватюк В.Г.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 233 с.

4. Кузьменко А.М. Напряженно-деформированное состояние горного массива в зоне расположения горной выработки при приближении очистных работ / А.М. Кузьменко, А.А. Козлов, А.В. Хейло // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2011. – Вип. 95. – С. 80 – 84.

5. Експериментальні дослідження здимання порід підпошки підготовчих виробок на пологих пластах Донбасу: монографія / [Бондаренко В.І., Ковалевська І.А., Симанович Г.А., Снігур В.Г.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – 224 с.

6. Обобщение опыта крепления и охраны подготовительных выработок / С.И. Егоров, Ю.М. Халимендик, Э.П. Курченко [и др.] // Уголь Украины. – 2002. – № 5. – С. 19 – 21.

7. Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони: СОУ 10.1.00185790.011:2007. – Мін-во вугільної промисловості України. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 116 с.

8. Экспериментальные исследования в промышленных условиях параметров способов проведения подготовительных выработок смешанным забоем по пологим угольным пластам с применением гидродинамического воздействия / К.К. Софийский, Д.П. Силин, В.Г. Золотин [и др.] // Геотехнічна механіка:

міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2010. – Вип. 89. – С. 96 – 105.

9. Анализ потерь времени при ведении очистных работ и проведении горных выработок на шахтах ОАО «Павлоградуголь» за 2009 год / [Электронный ресурс]. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Донецк: ПАО «ДТЭК», 2009. – 11 с.

10. Руководство по поддержанию горных выработок на шахтах Западного Донбасса. – СПб.: ВНИМИ, 1992. – 51 с.

11. Технологический регламент крепления и охраны выемочных выработок на пологих пластах: науч.-практ. пособие / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Черватюк В.Г. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – 106 с.

12. Денищенко А.В. Повышение эффективности шахтного вспомогательного транспорта / А.В. Денищенко // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №10. – С. 21 – 26.

13. Ширин А.Л. Транспортные проблемы производительной работы подготовительных забоев и перспективы их решения / А.Л. Ширин, Л.Н. Посунько, В.А. Расцветаев // Materiały Krakowskiej konferencji młodych uczonych. – Kraków: PATRIA, 2011. – Р. 505 – 512.

14. Задачи систем автоматизированного управления процессами транспортирования грузов канатными напочвенными дорогами тяжелого типа / Л.И. Мещеряков, А.Л. Ширин, Л.Н. Посунько [и др.] // Збірник наук. праць НГУ. – Д.: НГУ, 2012. – №39. – С. 28 – 33.

15. Кияшко Ю.И. Минимизация производственных затрат на крепление горных выработок в тяжелых условиях эксплуатации / Ю.И. Кияшко, А.В. Кириченко // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2009. – Вип.83. – С. 105 – 113.

16. Батицкий В.А. Автоматизация производственных процессов и АСУТП в горной промышленности / Батицкий В.А., Куроедов В.И., Рыжков А.А. – М.: Недра, 1991. – 303 с.

17. Пучков Л.А. Автоматизированные системы управления в горнодобывающей промышленности: учебник для ВУЗов / Пучков Л.А., Федунец Н.И., Потресов Д.К. – М.: Недра, 1987. – 285 с.
18. Шуцкий В.И. Электрические аппараты и средства автоматизации горных предприятий: учебник для ВУЗов / В.И. Шуцкий, А.В. Ляхомский. – М.: Недра, 1990. – 284 с.
19. Транспортно-складська логістика гірничих підприємств: навч. посіб. / [Будішевський В.О., Салов В.О., Ширін А.Л. та ін.]. – Д.: НГУ, 2010. – 433 с.
20. Оцінка факторів обмеження ефективності транспортних схем при підготовці запасів вугілля в умовах шахт Західного Донбасу / В.О. Расцветаев, Л.М. Посунько, А.Л. Ширін [та ін.] // Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб. – Д.: Літограф, 2015. – С. 117 – 124.
21. Пиньковський Г.С. Організація і технологія проектування шахт: монографія / Г.С. Пиньковский. – Д.: НГУ, 2013. – 600 с.
22. Єдині норми виробітку (часу) на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт. – Мінвуглепром України. – К.: Донецький ЦОП, 2004. – 302 с.
23. Гидродинамические способы воздействия на напряженные газонасыщенные пласты: монография / [Софийский К.К., Гаврилов В.И., Житленок Д.М. и др.]. – Донецк: Східний видавничий дім, 2015. – 364 с.
24. Децентрализованное управление: монография / [Пивняк Г.Г., Проценко С.Н., Стадник С.М., Ткачев В.В.]. – Д.: НГУ, 2007. – 107 с.
25. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах / под ред. Е.Д. Дубова. – Донецк: ДОНУГИ, 2007. – 39 с.
26. Организация и планирование очистных и подготовительных работ: учеб. пособ. для ВУЗов / [Бондаренко В.И., Ильяшов М.А., Руденко Н.К., Салли С.В.]. – Д.: НГУ, 2009. – 327 с.
27. Техника и технология погрузки, разгрузки, транспортирования и складирования в энергоемких производствах / Под. ред. В.А. Будишевского, А.А. Сулимы. – Донецк: ДонНТУ, 2000. – 350 с.

28. Экспериментально-расчетный метод определения коэффициента основного сопротивления движению шахтной вагонетки и профиля трассы / Н.Я. Биличенко, А.В. Денищенко, Д.А. Трухляев [и др.] // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: НГУ, 2010. – №34, Т.2. – С. 156 – 160.

29. Ширин А.Л. Особенности управления потоками породы при рекультивации земель, нарушенных подземными горными породами / А.Л. Ширин // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Безпека середовища життєдіяльності людини”. – К.: Знання України, 2012. – С. 32 – 36.

30. Shyrin A.L. Tasks of automation control system of cargo transportation by ground cable ways of heavy type / L.I. Mescheryakov, A.L. Shyrin, T.I. Morozova // Materials of Underground Mining School [Electronic resource]. – 1 electronic optical drive (CD-ROM). – Kraków: PATRIA, 2013.

31. Транспорт на гірничих підприємствах / [Біліченко М.Я., Півняк Г.Г., Ренгевич О.О. та ін.]. – Д.: НГУ, 2005. – 552 с.

32. Оценка геометрических несовершенств рельсового пути в подземных выработках шахт Западного Донбасса / А.В. Денищенко, В.В. Зиль, Л.Н. Посунько [и др.] // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №1. – С. 40 – 44.

33. Посунько Л.Н. Обоснование параметров транспортно-технологических схем проведения участковых выработок при расширении границ шахтных полей: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02 / Л.Н. Посунько. – Д., 2010. – 184 с.

34. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов. 2-е изд. (+CD) / В. Боровиков. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.

35. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие в 3-х книгах / П.И. Орлов. – М.: Машиностроение, 1977. – кн. 1, изд. 2-е, перераб. и доп. – 633 с.

36. Крайнев А.Ф. Словарь-справочник по механизмам / А.Ф. Крайнев. – М.: Машиностроение, 1981. – 438 с.

37. Shyrin A. Informatywne wskaźniki niezawodności pracy schematów technologicznych transportu wspomagającego podczas drażenia wyrobisk przygotowawczych / Artem Shyrin // Krakow conference of young scientists: conference proceedings. – Krakow: PATRIA, 2013. – P. 83 – 87.

38. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.

39. Коллакот Р. Диагностика повреждений: пер. с англ. / Р. Коллакот. – М.: Мир, 1988. – 512 с.

40. Технические средства диагностирования: справочник / Под общ. ред. В.В.Клюева. – М.: Машиностроение, 1989. – 671 с.

41. Корнеев С.В. Диагностивання заклинювання шахтних скребкових конвеєрів: монографія / С.В. Корнеев, В.І. Сафонов. – Алчевськ: ДонДТУ, 2012. – 163 с.

42. Баркова Н.А. Неразрушающий контроль технического состояния горных машин и оборудования: учеб. пособие для ВУЗов / Н.А. Баркова, Ю.С. Дорошев. – Владивосток: ДВГТУ, 2009. – 157 с.

43. Монсини К.Р. Фирма «Катерпиллар» – концепция технического обслуживания горных машин / К.Р. Монсини // Горный журнал. – М.: Руда и Металлы, 1998. – № 11-12. – С. 66 – 69.

44. Дорога канатная напочвенная усовершенствованная: руководство по эксплуатации. – Луганск: Луганскгормаш, 2000. – 64 с.

45. Денищенко А.В. Канатные напочвенные дороги при отработке засбросовой части шахты «Павлоградская» / А.В. Денищенко, Л.Н. Ширин, В.В. Мухин // Уголь Украины. – 2006. – №1 – С. 32 – 34.

46. Корнеев С.В. Адаптация шахтных скребковых конвейеров к условиям производства / Корнеев С.В., Ширин Л.Н., Плетнев М.В. – Луганск: Книжковий світ, 2005. – 215 с.

47. Исследование коэффициента сопротивления движению цепи скребковых конвейеров / Д. Ленинг, М.В. Качи, Х. Вольф [и др.] // Глюкауф. – 2002. – Август №2 (3). – С. 23 – 31.

48. Садовой А.В. Оптимизация системы управления натяжением конвейерной ленты / А.В. Садовой, Е.С. Назарова // Проблемы недропользования: сб. науч. трудов. – Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб.: 2012. – Часть I. – С. 185 – 187.

49. Груба В.Г. Технические средства автоматизации в горной промышленности / Груба В.Г., Никулин Э.К., Оголобченко А.С. – К.: ИСМО, 1988. – 373 с.

50. Горбійчук М.І. Комп'ютерна система контролю технічного стану газоперекачувальних агрегатів / М.І. Горбійчук, І.В. Щупак // Збірник наукових праць НГУ. – Д.: НГУ, 2011. – №36, т.2. – С. 105 – 111.

51. Обоснование рациональной структуры построения экспериментального модуля СППР управления технологическим процессом водоотведения в ПСП «Шахта им. Н.И. Сташкова» с последующим его расширением для интегрирования в ERP-систему корпорации: отчет о НИР. – Д.: НГУ, 2011. – 126 с. – № 030380 (ГР0105U000520).

52. Потапов В.Д. Имитационное моделирование производственных процессов в горной промышленности / В.Д. Потапов, А.Д. Яризов. – М.: Высшая школа, 1981. – 191 с.

53. Смехов А.А. Математические модели процессов грузовой работы / А.А. Смехов. – М.: Транспорт, 1998. – 256 с.

54. Ширин А.Л. Роль породных аккумулярующих бункеров при проведении подготовительных выработок / Л.Н. Посунько, А.Л. Ширин, И.В. Шипунова // Материалы VII междунар. науч. – практ. конф. «Проблемы горного дела и экологии горного производства». – Донецк: Світ книги, 2012. – С. 51 – 56.

55. Руководство по сокращению многозвенности транспортирования угля, породы и перевозки людей на действующих шахтах Минуглепрома Украины / [Чернобривец Н.Т., Сухарев В.В., Кравчинский С.Ю. и др.]. – Донецк, 1998. – 113 с.

56. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы: ГОСТ 34.602-89. – [Дата введения 1990-01-01]. – М.: Московский печатник, 2004. – 12 с.

57. Измерения, контроль, испытания и диагностика: [Машиностроение: энциклопедия в 40 томах] / [Клюев В.В., Соснин Ф.Р., Филинов В.Н. и др.]; под общ. ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1996. – Том III. – 464 с.

58. Камынин Ю.Н. Автоматизированное управление движением циклического рельсового транспорта с переменной массой груза / Ю.Н. Камынин, Я.С. Зильберман // Известие вузов. Горный журнал: научно-технический журнал. – Екатеринбург: УГГУ, 1986. – №6. – С. 39 – 46.

59. Сигалов Л.Н. Уравнения движения подземной канатной дороги при пуске / Л.Н. Сигалов, А.И. Кравцов // Известие вузов. Горный журнал: научно-технический журнал. – Екатеринбург: УГГУ, 1984. – №6. – С. 60 – 67.

60. Салов В.А. Основы эксплуатационных расчетов транспорта горных предприятий: учебное пособие / В.А. Салов. – Д.: НГУ, 2005. – 199 с.

61. Савин Г.Н. Динамика нити переменной длины / Г.Н. Савин, О.А. Горошко. – К.: АН УССР, 1962. – 232 с.

62. Вагнер Г. Запас прочности канатов для канатных дорог подземных горных выработок / Г. Вагнер, Г. Апель // Глюкауф. – 1993. – №1/2. – С. 22 – 26.

63. Безопасность горнотранспортного оборудования угольных шахт: сб. док. / [Суботин А.И., Чигирин В.Д., Беляк Л.А. и др.]. – Госгортехнадзор России: НТЦ «Промышленная безопасность». – М., 2004. – Серия 05, Вып. 12. – 108 с.

64. Киричок Ю.Г. Привод шахтных подземных установок большой мощности / Ю.Г. Киричок, В.М. Чермалых. – М.: Недра, 1972. – 336 с.

65. Руководство по ревизии, наладке и испытанию шахтных подъемных установок: нормативное производственно-практическое издание / [Бежок В.Р., Калинин В.Г., Коноплянов В.Д., Курченко Е.М.]; под общей редакцией В.А. Корсуна. – Донецк: Донеччина, 2009. – 3-е изд., перераб. и доп. – 672 с.

66. Денищенко А.В. Шахтные канатные дороги: Монография /

А.В. Денищенко. – Д.: НГУ, 2011. – 172 с.

67. Приводной шкив трения канатной напочвенной дороги нового технического уровня / С.В. Федоренко, А.В. Денищенко, Г.П. Сидоренко [и др.] // Уголь Украины. – 1994. – №4. – С. 50 – 51.

68. Денищенко А.В. Обоснование параметров и технологических схем применения канатных напочвенных дорог при проведении горных выработок: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / А.В. Денищенко. – Д.: НГАУ, 1999. – 122 с.

69. Расцветаев В.О. Додаткові навантаження від підвісних монорейкових доріг на арочне кріплення виробок в умовах шахт Західного Донбасу / В.О. Расцветаев // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2005. – Вип. 56. – С. 53 – 59.

70. Бухановский В.В. Расширение области применения и повышения эффективности использования шахтных канатных напочвенных дорог / В.В. Бухановский, А.И. Лебедев // Научно-технические направления и средства снижения затрат ручного труда при подземной добыче угля: сборник. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1994. – С. 28 – 32.

71. Коваль А.И. Решение стратегических горнотехнических задач с помощью технологии стратегического планирования развития горных работ / А.И. Коваль // Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2011. – С. 26 – 32.

72. Денищенко А.В. Влияние состояния шахтного рельсового пути на сопротивление движению подвижного состава локомотивного транспорта / А.В. Денищенко, Д.А. Лагунов, Н.В. Горшков // Науковий вісник НГУ. – 2007. – №8. – С. 52 – 54.

73. Армонт Г. Опыт эксплуатации забойных конвейеров с регулятором предварительного натяжения цепей и ДТП-муфтами / Г. Армонт, П. Брыхта, Г. Крегер // Глюкауф. – 1992. – №3. – С. 23 – 27.

74. Алгоритмы расчетов шахтных скребковых конвейеров: монография / [Корнеев С.В., Косарев И.В., Плетнев М.В., Стадник Н.И.]. – Луганск: Книжковий світ, 2006. – 95 с.

75. Пути повышения износостойкости поддерживающих устройств шахтных канатных напочвенных дорог / Р.П. Дидык, А.Н. Вьюник, А.В. Денищенко [и др.] // *Металлургическая и горнорудная промышленность: политехнический журнал*. – Д.: Укрметалургинформ, 1993. – №3. – С. 52 – 53.

76. Корчевский В.В. Базовые методы и средства измерений и испытаний в технике: учеб. пособ. для ВУЗов / В.В. Корчевский, И.Г. Румановский. – Хабаровск: ТОГУ, 2007. – 178 с.

77. Рогов В.А. Методика и практика технических экспериментов: учеб. пособ. для ВУЗов / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – М.: Академия, 2005. – 288 с.

78. О выборе мощности частотно-регулируемого электропривода ленточного конвейера / Н.И. Стадник, А.В. Мезников, И.Ю. Руденко [и др.] // *Збірник наукових праць НГУ*. – Д.: НГУ, 2011. – №36, Т.2. – С. 124 – 129.

79. Денищенко О.В. Динаміка приводу канатної дороги / О.В. Денищенко // *Науковий вісник НГУ*. – 2006. – №12. – С. 51 – 55.

80. Арнольд Х. Исследования подвесных монорельсовых и напочвенных рельсовых дорог высокой грузоподъемности / Х. Арнольд // *Глюкауф*. – 1976. №19. – С. 13 – 18.

81. Клаассен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К.Б. Клаассен. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.

82. Налимов В.В. Логические основания планирования эксперимента / В.В. Налимов, Т.И. Голиков – М.: Metallurgia, 1981. – 152 с.

83. Shyrin A. Reclamation technology of land destroyed by mining and logistics monitoring criteria / L. Mescheryakov, A. Shyrin // *International conference on fine geological exploration and groundwater & gas hazards control in coal mines*. – Xi'an, 2011. – P. 62 – 66.

84. Теорія планування експерименту: навч. посібник для студ. вищих навч. закладів / [Нечаев В.П., Берідзе Т.М., Кононенко В.В. та ін.]. – К.: Кондор, 2005. – 232 с.

85. Герике Б.Л. Вибродиагностика горных машин и оборудования: учеб. пособ. для ВУЗов / Герике Б.Л., Абрамов И.Л., Герике П.Б. – Кемерово,

2007. – 167 с.

86. Козина И.В. Координация вспомогательных грузопотоков в автоматизированных системах диспетчерского управления угольных шахт / И.В. Козина // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2006. – Вип. 62. С. 60 – 65.

87. Степаненко В.Ф. Система взвешивания грузов в движущихся рудничных вагонетках с анализом динамики механической системы вагонетка – весовая платформа: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины» / В.Ф. Степаненко. – Владикавказ, 1993. – 24 с.

88. Гавриков А.А. Опыт, некоторые результаты эксплуатации и перспектива развития автоматизированной системы управления и контроля горного давления в очистных забоях / А.А. Гавриков, А.Н. Курчевский, О.Э. Хаустович // Горная механика: журнал. – Солигорск: СИПРОП, 2005. – №2. – С. 19 – 26.

89. Ширин А.Л. Результаты исследований визуально-оптического метода диагностирования процесса выгрузки породы из шахтных вагонов / А.Л. Ширин // Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – С. 179 – 184.

90. Олифер В.Г. Компьютерные сети: принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2003. – 2-е изд. – 263 с.

91. Application of the ZigBee Wireless Communication Technology on the Endless Rope Continuous Tractor Derailment Monitoring System / Li-Rong Wan, Yi Liu, Liang Wang and Zhi-Hai Liu // International Conference on Communication, Electronics and Automation Engineering: conference proceedings. – Berlin: Springer, 2013. – P. 1313 – 1318.

92. Shyrin A. Coordinating program of cargo traffic control in coal mines in the process of disturbed land reclamation / L. Mescheryakov, A. Shyrin, T. Morozova // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – The Netherlands: CRC Press/Balkema, 2011. – P. 255 – 257.

93. Новые разработки и проекты группы компаний «Монотранс» в ООО «Трансдизель» на выставке «Уголь России и Майнинг 2005» // Глюкауф. – 2005. – №3. – С. 42 – 44.

94. Шульце-Буксло Х. Рационализация вспомогательного транспорта угольных шахт с использованием оборудования фирмы «Шарп» /Х. Шульце-Буксло, М. Хульм // Глюкауф. – 2006. – №2 (3). – С. 54 – 57.

95. Калякин С.А. Создание эффективной системы взрывозащиты угольных шахт / С.А. Калякин // Уголь Украины. – 2012. – № 2. – С. 24 – 30.

96. Ширин А.Л. Обоснование параметров энергосберегающей транспортно-технологической схемы доставки породы по подземным выработкам в сложных горно-геологических условиях / А.Л. Ширин // Materialy Krakowskiej konferencji mlodych uczonych. – Kraków: PATRIA, 2012. – P. 447 – 454.

97. Ширин А.Л. Современное состояние природоохранных мероприятий по восстановлению территорий, нарушенных подземными горными работами / А.Л. Ширин // Проблемы недропользования: сб. науч. трудов. – Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб.: 2012. – Часть II. – С. 159 – 161.

98. Shyrin A. Estimation of reliability and capacity of auxiliary vehicles while preparing coal reserves for stoping / A. Shyrin, V. Rastsvetaev, T. Morozova // Technical and Geoinformational Systems in Mining. – The Netherlands: CRC Press/Balkema, 2012. – P. 105 – 108.

99. Ситников Д.М. Самоочищающиеся вагонетки с донной разгрузкой на шахтах Подмосковского бассейна: экспресс-информация / Ситников Д.М., Потапенко Г.Д., Саутов С.Я. – М.: ЦНИЭИуголь, 1986. – 15 с.

100. Комплекс технических средств весового учёта работы подземного рельсового транспорта / Ю.И. Гаврилов, В.Ф. Степаненко, В.В. Усанов [и др.] // Состояние и перспективы автоматизации процессов на открытых и подземных рудниках: материалы совещания. – Орджоникидзе, 1982. – С. 45 – 47.

101. Техническая диагностика механического оборудования / [Сидоров В.А., Кравченко В.М., Седуш В.Я. и др.]. – Донецк: Новый мир, 2003. – 125 с.

102. Давыденко Е.Г. Автоматизация определения объемов горной массы в транспортных сосудах / Е.Г. Давыденко, Г.Е. Давыденко, Т.Г. Николаева. // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2006. – Вип. 62. – С. 33 – 37.

103. Ресурсозберігаюча екологічно чиста технологія транспортування вугілля / Э.О. Воробйов, М.О. Ніколенко, О.Г. Сохін [та ін.] // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць ІГТМ НАН України. – 2005. – Вип. 56. – С. 79 – 83.

104. Алотин Л.М. Методы исследования и математическое описание подземных грузопотоков для расчета систем внутришахтного транспорта / Алотин Л.М., Иерцалов Р.М., Солод Г.И. – Караганда: КНИУИ, 1971. – 137 с.

105. Савченко П.К. Особенности технологических процессов и оборудования золотодобывающих рудников и карьеров и состояние подготовленности их к автоматизации / Савченко П.К., Кимельман Э.А., Чечетин С.Г. – Иркутск: Иргиредмет, 1990. – 34 с.

106. Плеханов Ю.В Принципы построения автоматизированных систем учёта горной массы на рудниках Минцветмета СССР / Ю.В. Плеханов, Ю.П. Милохин, Е.Н. Карцаева // Союзруда: сборник трудов ОНТК. – М.: Недра, 1988. – С. 5 – 11.

107. Степаненко В.Ф.– Анализ вертикальных колебаний рудничной вагонетки при преодолении ею вертикальной неровности рельсового пути (наезд на платформу) / В.Ф. Степаненко, П.А. Вороник // Материалы научно-технической конференции, посвященной 60-летию СКГМИ. – Владикавказ, 1991, С. 146 – 151.

108. Левин М.А. Технические средства взвешивания и дозирования для отгрузки угля / Левин М.А., Ленский И.А., Штрахман Л.Г. – М.: ЦНИЭИуголь, 1984. – 57 с.

109. Оптимальне планування експерименту при дослідженні технологічних процесів, приладів і систем: навч. посіб. / [Кошовий М.Д., Костенко О.М., Заболотний О.В. та ін.]. – Х.: ХАІ, 2009. – 161 с.

110. Закладний О.М. Оцінка енергетичної та економічної ефективності

застосування регульованого електроприводу в насосних установках / О.М. Закладний, О.О. Закладний // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: збірник наукових праць. – Київ: КПІ, 2008. – Вип.16. – С. 90 – 97.

111. Столлингс В. Компьютерные системы передачи данных / В. Столлингс [пер. с англ. А.В. Высоцкий, А.В. Назаренко; под ред. А.В. Высоцкого]. – М.: Вильямс, 2002. – 6-е изд. – 928 с.

112. Закладний О.М. Енергозбереження засобами промислового електропривода: навчальний посібник / Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. – К.: Кондор, 2005. – 408 с.

113. Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования. ГОСТ 22269-76. – [Дата введения 1978-01-01]. – М.: Издательство стандартов, 2004. – 5 с.

114. Лопатин В.В. Методы и технические устройства экспедиционной диагностики динамического состояния системы «подъемный сосуд – жесткая армировка»: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / В.В. Лопатин. – Д., 2001. – 248 с.

115. Секацкий В.С. Методы и средства измерений и контроля: учеб. пособ. для ВУЗов / В.С. Секацкий, Н.В. Мерзликина. – Красноярск: ИПЦ СФУ, 2007. – 282 с.

116. Потапов М.Г. Диагностика обслуживания и ремонта большегрузных самосвалов / Потапов М.Г., Биденко А.В., Абрамова А.К. – М.: ЦНИЭИУголь, 1988. – 35 с.

117. Ковалевский В.А. Методы оптимальных решений в распознавании изображений / В.А. Ковалевский. – М.: Статистика, 1976. – 220 с.

118. Шапиро Л. Компьютерное зрение / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. – 760 с.

119. Форсайт Дэвид. Компьютерное зрение. Современный подход / Дэвид Форсайт, Жан Понс. – М.: Вильямс, 2004. – 928 с.

120. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения / [Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др.]. – М.: Физматкнига,

2010. – 672 с.

121. Новейшие методы обработки изображений / [Потапов А.А., Пахомов А.А., Никитин С.А., Гуляев Ю.В.]. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

122. Ширин А.Л. Визуально-оптический метод контроля процесса выгрузки породы из шахтных вагонов / А.Л. Ширин // Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості: тези доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції аспірантів, молодих учених і студентів. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. – С. 30 – 33.

123. Дьяконов В.П. MATLAB (6.5 SP1 / 7.7 SP1) Работа с изображениями и видеопотоками / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 395 с.

124. Bracewell P.A. The use of photogrammetry in piping design / P.A. Bracewell and U.R. Klement // Journal of Power and energy: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. – London: IMechE, 1983. – № 30. – P. 5 – 14.

125. Степаненко О.С. Сканеры и сканирование. Краткое руководство / О.С. Степаненко. – М.: Диалектика, 2005. – 288 с.

126. Белопольский Н.Г. Концепция программы "Повышение эффективности использования энергоресурсов Украины" / Н.Г. Белопольский, А.В. Пешко, Д.К. Турченко // Максимальное использование угля – основного энергетического сырья Украины. – К., 2005. – С. 23 – 29.

127. Кулиш В.А. Погрузка угля в забоях и на поверхности / В.А. Кулиш. – Донецк: Донбасс, 2007. – 310 с.

128. Математические модели и методы расчета параметров процессов подземных горных работ и добычного оборудования: монография / Под общ. ред. С.С. Гребенкина, В.Н. Павлыша. – Донецк: ВИК, 2007. – 385 с.

129. Розрахунок шахтного локомотивного транспорту / [Ренгевич О.О., Коптовец О.М., Дьячков П.А. та ін.]. – Д.: НГУ, 2007. – 83 с.

130. Ширин А.Л. Технологическое обоснование структуры автоматизированной системы управления процессами транспортирования породы напочвенными канатными дорогами / Л.И. Мещеряков, А.Л. Ширин // Збірник наукових праць НГУ. – Д.:НГУ, 2013. – №43. – С. 71 – 78.

131. Современные проблемы проведения и поддержания горных выработок на глубоких шахтах: монография / [Янко С.В., Гребенкин С.С., Брюханов А.М. и др.]; под общ. ред. С.В. Янко. – Донецк: ДУНГВО, 2003. – 256 с.

132. Транспорт шахтний локомотивний. Перевезення людей і вантажів в виробках з ухилом від 0,005 до 0,05 ‰. Загальні технічні вимоги: СОУ 10.1.00185790.007:2006. – К.: Мінвуглепром України. 2006. – 47 с.

133. Царев В.В. Оценка экономической эффективности инвестиций / В.В. Царев. – СПб.: Питер, 2003. – 464 с.

134. Харин С.А. Сравнительная оценка влияния различных факторов на скорость проходки горизонтальных выработок / С.А. Харин // Науковий вісник НГУ. – 2009. – №4. – С. 3 – 5.

135. Первый год эксплуатации системы УТАС / В.И. Король, Д.И. Кобзарь, Н.Н. Галушко [та ін.] // Уголь Украины. – 2012. – №8. – С. 39 – 40.