

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



Л.Н. Ширин  
В.А. Расцветаев  
А.И. Коваль

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ  
ПРИ ПОДГОТОВКЕ ЗАПАСОВ УГЛЯ К ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКЕ**

Монография

Днепропетровск  
НГУ  
2014

УДК 622.61:622.22  
ББК 33.16:33.31  
Ш 64

Рекомендовано до друку вченою радою Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» (протокол № 8 від 29.09.2014).

Рецензенти:

**В.І. Бондаренко**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри підземної розробки родовищ корисних копалин Державного ВНЗ «Національний гірничий університет»;

**С.С. Гребьонкін**, д-р техн. наук, професор, головний науковий співробітник ДП «Донбаський науково-дослідний і проектно-конструкторський вугільний інститут».

**Ширин Л.Н.**

Ш 64      Повышение эффективности работы монорельсовых дорог при подготовке запасов угля к очистной выемке : монография / Л.Н. Ширин, В.А. Расцветаев, А.И. Коваль; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 144 с.

ISBN 978-966-350-513-8

Рассмотрены вопросы повышения эффективности работы подвесных монорельсовых дорог при подготовке запасов угля к очистной выемке в условиях шахт Западного Донбасса. Предложены ресурсосберегающие технологические схемы комплексного использования адаптивных возможностей подвесных дизельных монорельсовых дорог для интенсификации подготовительных работ и повышения темпов подготовки и отработки выемочных столбов в сложных горно-геологических условиях при разработке тонких угольных пластов.

Для студентов, научно-педагогических и научно-технических сотрудников высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов и проектных организаций, а также для инженерно-технических работников угледобывающих предприятий.

Ил. 51. Библиогр: 104 назв.

УДК 622.61:622.22  
ББК 33.16:33.31

ISBN 978-966-350-513-8

© Л.Н. Ширин, В.О. Расцветаев, О.І. Коваль, 2014  
© Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2014

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое внедрение на шахтах Западного Донбасса механизированных очистных комплексов нового поколения явилось причиной дальнейшей интенсификации темпов подготовки запасов угля к очистной выемке. Однако в условиях периодического понижения горных работ увеличивается горное давление, температура и газоносность угольных пластов и пород, что негативно сказывается на темпах проведения подготовительных выработок, возникает необходимость многократного их перекрепления и ремонта для обеспечения проектных сечений и пропускной способности. В связи с этим предъявляются особые требования к технологическим схемам транспорта при проектировании и проведении подготовительных выработок.

Снижение степени влияния перечисленных выше негативных факторов на темпы проведения подготовительных выработок может быть достигнуто различными способами. Однако на практике чаще всего применяется один из наиболее распространенных и технологически приемлемых способов увеличения проектного сечения проводимых подготовительных выработок. К тому же данный способ изначально предусматривает затраты на проведение дополнительных работ, связанных с подрывкой пород почвы и кровли. В свою очередь, выработки большого проектного сечения требуют внедрения крепи повышенной несущей способности, что приводит к увеличению объемов трудоемких ручных работ при ее возведении.

Анализ работы 65 бригад в подготовительных забоях ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» показал, что в реальных условиях проведения подготовительных выработок для выполнения технологически сложных ручных операций, как правило, задействованы горнорабочие высокого квалификационного уровня. При этом отмечается нарушение графика организации работ, что ведет к снижению темпов проведения подготовительных выработок. В особой степени это относится к выработкам, проводимым комбайновым способом с локомотивной откаткой, где преобладают непроизводительные операции, связанные с погрузкой горной массы, обменом груженных вагонеток на порожние, сооружением разминок, настилкой временных и постоянных путей.

Результаты оценки статистических данных показали, что с внедрением высокопроизводительных очистных комплексов нового поколения на многих шахтах Западного Донбасса отмечена диспропорция между очистными и подготовительными работами. Обосновывается это сокращением действующей линии очистных забоев из-за несвоевременной подготовки новых выемочных столбов. В современных условиях темпы подвигания линии очистного забоя составляют 150 – 200 м/мес. При отработке длинными столбами по падению (восстанию) и комбайновом проведении выработок необходимо обеспечивать темпы проходки в пределах 190 – 250 м/мес. Для комбайнового способа проведения выработок такие темпы являются нормативными, однако наличие незапланированных простоев подготовительных забоев значительно увеличивают сроки подготовки выемочных столбов. Одна из основных причин

этого – проявление специфических свойств слабометаморфизированных боковых пород, в частности пучение почвы подготовительных выработок.

В результате пучения пород почвы при применении традиционных схем проведения выработок с использованием напочвенных видов рельсового транспорта в большинстве случаев на отдельных участках и по всей длине подготовительной выработки наблюдается знакопеременный профиль рельсовой колеи. Снижается также пропускная способность транспортной выработки. Это приводит к тому, что невозможно своевременно подготовить запасы к очистной выемке.

Опыт подготовки запасов угля в условиях интенсификации горных работ подтверждает, что при комбайновом способе проведения выработок для решения этой проблемы необходимо осуществить техническое перевооружение подготовительных забоев и перейти к малооперационным технологическим схемам с циклично-поточной организацией работ. Шахтными исследованиями доказано, что достичь планируемых проектных показателей проведения выработок можно путем сокращения непроизводительных операций, связанных с ликвидацией последствий пучения почвы, снижением трудоемкости работ при разгрузке-погрузке вспомогательных материалов, а также затрат времени на выполнение маневровых операций по замене груженных составов на порожние.

В последние годы шахтные подвесные монорельсовые дороги находят применение при подготовке запасов на некоторых угольных шахтах Украины. Однако по оценке экспертов технико-экономические показатели работы подготовительных забоев, в которых они эксплуатируются, оказались ниже прогнозируемых. К основным причинам нестабильной их работы следует отнести незапланированные простои подготовительных забоев, связанные с ликвидацией несовершенств технологических схем транспорта, возникающих в процессе взаимодействия подвижного состава с монорельсом и арочной крепью, а также отсутствие соответствующего методического обеспечения по рациональному использованию монорельсовых дорог во времени при подготовке выемочных столбов.

По результатам исследований эксплуатационных характеристик подвесных монорельсовых дорог на шахтах Красноармейского региона Донбасса установлено, что основными причинами увеличения времени простоев и энергозатрат на перемещение грузов по выработке в суммарной продолжительности горноподготовительных работ являются малоисследованные процессы взаимодействия подвесной монорельсовой дороги с крепью и массивом горных пород. Поэтому при обосновании и разработке высокоадаптивных энергосберегающих технологических схем и методов организации проведения подготовительных выработок с применением монорельсовых дорог впервые предлагается рассматривать процессы их взаимодействия как систему «горный массив – крепь – монорельсовая дорога». Системный подход подтверждает важность такого научного направления и актуальность его для горной промышленности Украины.

# 1. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ УГЛЯ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ

## 1.1. Особенности подготовки выемочных столбов в условиях интенсификации процессов добычи угля

Учитывая тенденцию, направленную на обеспечение Украины собственными энергоносителями, необходимо довести общую добычу угля в 2030 году до 120 млн т. Это обстоятельство подтверждает важность строительства новых и реконструкцию действующих шахт. Одной из основных составляющих этого технологического преобразования является повышение темпов проведения участковых подготовительных выработок для своевременной подготовки фронта очистных работ [1, 2].

В условиях шахт Западного Донбасса, где преимущественно ведется отработка тонких пластов по падению (восстанию), возникает ряд горно-геологических и горнотехнических ограничений, характерных для данного региона.

К горно-геологическим ограничениям следует отнести: малую мощность и сложную гипсометрию вынимаемых пластов, высокую обводненность, активное пучение почв и др.

К горнотехническим – ограничения, связанные с сооружением участковых наклонных выработок, сложность горно-геологических условий, низкая пропускная способность выработок и несовершенства транспортно-технологических схем, базирующихся на применении колесно-рельсовых видов транспорта [3].

С учетом этих ограничений и рекомендаций отраслевых проектных организаций [4] на шахтах Западного Донбасса традиционно ведут отработку запасов одинарными лавами с повторным использованием транспортных выработок.

Необходимо отметить, что принятый в регионе порядок отработки запасов (рис. 1.1) обусловлен также низкими темпами подготовки новых выемочных столбов к очистной выемке.

Согласно действующим нормам проектирования угольных шахт темпы проведения подготовительных выработок для своевременного обеспечения фронта очистных работ должны превышать на 25 % [3] скорости подвигания очистных забоев, т. е.:

$$t_{\min}^{nodo} = 0,75t_{\min}^{omp}. \quad (1.1)$$

Проведенный на шахтах региона анализ производственных ситуаций позволил выделить существенные недостатки действующих схем подготовки с необходимостью периодического выполнения работ по подрывке вспученных пород, балластировке рельсовых путей и поддержанию проектных сечений повторно используемых выработок, подверженных пучению пород почвы (рис. 1.2).

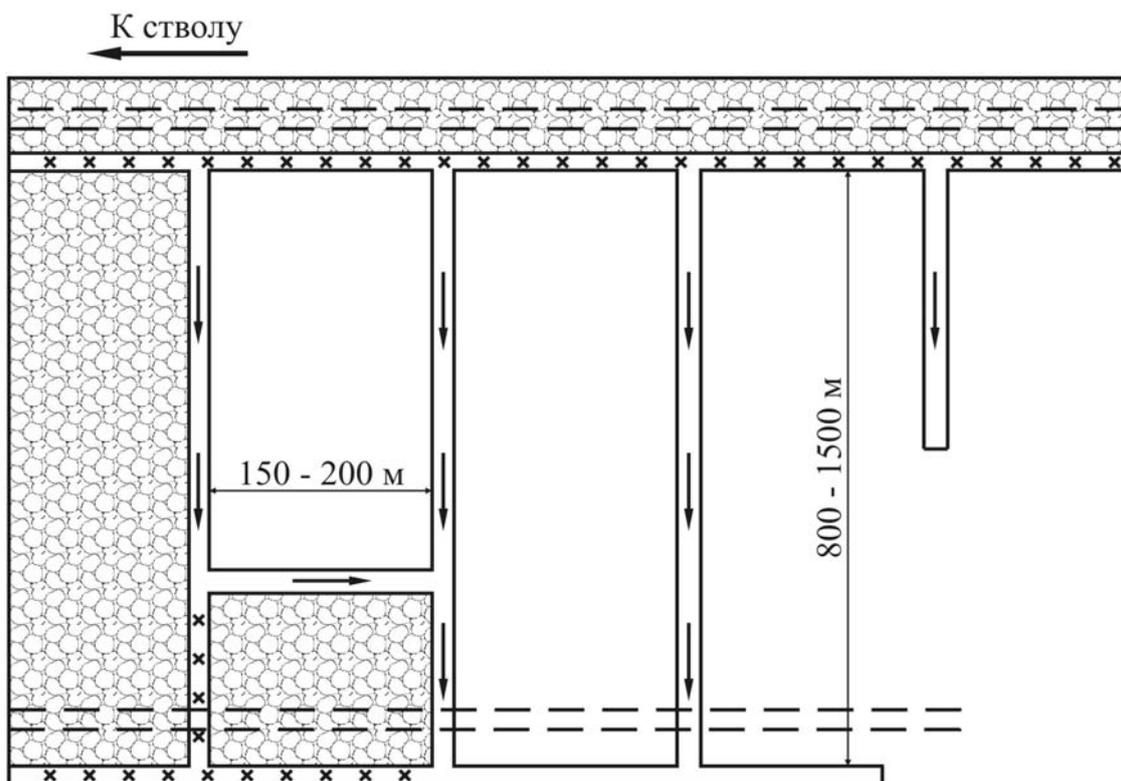


Рис. 1.1. Система разработки длинными столбами по восстанию (падению) одинарными лавами

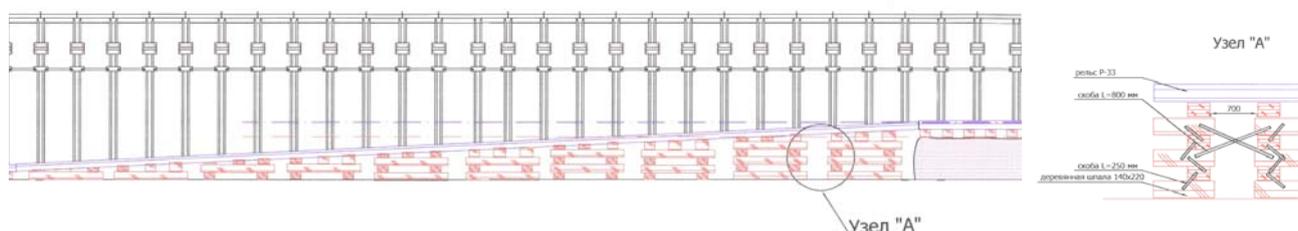


Рис. 1.2. Балластировка рельсовых путей в выработках

С внедрением энергоемких механизированных очистных комплексов нового поколения к указанным ограничениям добавились проблемы, связанные с увеличением параметров и темпов подготовки новых выемочных столбов.

Длина выемочных столбов в современных условиях ведения горных работ достигает 2500 – 3000 м, а длина лав – 360 м, что существенно увеличивает транспортные затраты при подготовке и отработке запасов, а также при выполнении монтажно-демонтажных работ [5, 6].

Последнее обусловлено тем, что в отличие от традиционных схем монтажно-демонтажных работ [7] монтаж секций механизированных крепей нового поколения осуществляется путем их перемонтажа из лав, заканчивающих отработку выемочного столба, в разрезную печь подготавливаемого столба без разбора секций механизированной крепи на транспортабельные узлы.

Шахтными исследованиями отмечена высокая трудоемкость доставки крупногабаритных и металлоемких грузовых единиц традиционными колесно-рельсовыми видами транспорта по деформированным выработкам со знакопеременным профилем пути (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Знакопеременный профиль пути – вентиляционный наклонный квершлаг на пл. С<sub>4</sub>, шахта «Павлоградская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»

Сравнительная характеристика конструктивных параметров секций механизированных крепей, традиционно эксплуатируемых на тонких пластах, и крепей нового поколения приведена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

**Конструктивные параметры механизированных крепей,  
эксплуатируемых на тонких пластах**

Секции механизированных крепей		Конструктивные параметры, мм			Масса секции, т
		Высота	Ширина	Длина	
Традиционно применяемые	ДГ	880 – 4100	1440	4640 – 5020	9,6 – 17,5
	КДД	740 – 2400	1410	4500 – 5090	7,9 – 8,6
	ДМ	610 – 1500	1440	4486	7,4
	КД90	600 – 2000	1420	4835	6,75 – 9,6
	КД80	560 – 1315	1300	4810	5,9 – 6,2
	М 138	905 – 1610	1400	5169 – 6170	9,75 – 14,3
Нового поколения	МКЮ 2	600 – 2600	1392 – 1660	5315 – 8215	9,0 – 34,5
	МКЮ 4	1090 – 2200	1400 – 1520	5169 – 15910	11,2 – 19,3
	ОМП	630 – 6000	1500 – 1750	5059 – 6239	8,0 – 30,0
	FAZOS	700 – 5300	1500 – 1750	5290 – 7880	10,4 – 24,42
	MVPO	550 – 3200	1160 – 1460	5040 – 7230	2,5 – 12,0
	OSTROJ	650 – 5600	1200 – 1756	5240 – 6140	2,4 – 17,5

При внедрении высокопроизводительных механизированных комплексов нового поколения следует также обратить внимание на увеличение трудозатрат при ведении монтажно-демонтажных работ, связанных с увеличенным весом (120 – 150 кН) и габаритными размерами секций механизированных крепей повышенной несущей способности. Установлено, что при транспортировке таких секций в собранном состоянии возникают дополнительные трудности вписывания укрупненных грузовых единиц в узлах сопряжения магистральных и участковых выработок, участковой выработки и разрезной печи (монтажной камеры) и др. [7].

Предварительная разборка секций механизированных крепей нового поколения для удобства монтажно-демонтажных работ существенно увеличивает объем погрузочно-разгрузочных работ и общие затраты времени на подготовку выемочного столба к очистной выемке [8].

Таким образом, можно констатировать, что действующие технологические схемы транспорта и оборудования не адаптированы к интенсивным способам подготовки запасов, вызванным сменой поколений очистного и проходческого оборудования, и требуют кардинального изменения.

При проведении подготовительных участковых выработок и последующем ведении монтажно-демонтажных работ одной из важных составляющих является поддержание площади поперечного сечения транспортных выработок. Это условие оказывает непосредственное влияние на схему и темпы ведения монтажно-демонтажных работ без предварительной разборки механизированных крепей [8].

В результате применения традиционных средств напочвенного рельсового транспорта активное пучение пород почвы и обильные водопритоки в участковых пластовых выработках существенно снижают их пропускную способность. Это требует прогнозирования и планирования дополнительных затрат, связанных с подрывкой почвы подготовительных выработок и выполнением работ по текущей балластировке рельсовых путей [9].

Кроме названных проблем, следует отметить тенденцию, характерную для подземной добычи угля, – неуклонный рост средней глубины ведения горных работ. Анализ статистических данных показывает, что каждые 10 – 15 лет средняя глубина ведения горных работ увеличивается на 9 – 12,6 метров. При этом отмечается повышение крепости вмещающих пород, их газообильности и температуры [10].

Постоянно ухудшающиеся горно-геологические условия и весьма низкий уровень эксплуатационной надежности морально устаревшего транспортного оборудования являются основной причиной резкого сокращения объемов проведения подготовительных выработок на угольных предприятиях. Это оказывает существенное влияние на скорость подготовки запасов к выемке, что приводит к сокращению среднедействующей линии очистных работ и, как следствие, объемов добычи угля.

Для выхода из создавшейся ситуации настоящей работой предусматривается увеличение темпов проведения участковых

подготовительных выработок путем синтеза потенциальных возможностей проходческого и транспортного оборудования нового поколения. Обязательным условием при этом является улучшение основных технико-экономических показателей подготовки выемочных столбов, базирующихся на применении научно-обоснованных технологических схемах комбайнового проведения подготовительных выработок с использованием высокоадаптивных подвесных монорельсовых дорог с дизельным приводом.

Оценка перспективных планов развития отрасли и технико-экономических характеристик разрабатываемого проходческого оборудования показала, что на ближайшие 10–15 лет основным направлением совершенствования схем комбайнового проведения выработок по породам крепостью  $f = 4 - 8$  будет создание и внедрение проходческих комбайнов нового технического уровня типа КСП–32, П–110 и др. [11]. При этом абсолютно не учитывается роль транспорта в технологической цепи подготовки запасов в сложных горно-геологических условиях залегания тонких угольных пластов.

Более того, по-прежнему остается неразрешенной проблемой устойчивость транспортных выработок, оказывающая непосредственное влияние на их пропускную способность в процессе эксплуатации.

Анализ научных разработок в области совершенствования технологических схем вспомогательного транспорта показал отсутствие подобного подхода при определении эксплуатационных параметров подготавливаемых выработок.

В исследование проблемы, связанной с обеспечением устойчивости подземных подготовительных выработок в сложных горнотехнических условиях с учетом напряженно-деформированного состояния, внесли значительный вклад А.Ф. Булат, В.И. Бондаренко, А.А. Борисов, В.И. Бузило, М.П. Зборщик, М.М. Протодьяконов, И.А. Кияшко, Я.Э. Некрасовский, Г.Н. Кузнецов, А.В. Савостьянов, И.А. Ковалевская, С.Ф. Власов, О.В. Колоколов, Е.А. Сдвижкова, А.М. Кузьменко, В.Ю. Куклин, И.А. Садовенко, А.И. Зильберман, Л.Н. Ширин, А.М. Шашенко, В.Г. Перепелица, Ю.М. Халимендик, С.Н. Александров, Б.М. Усаченко, В.Г. Черватюк, С.И. Скипочка, М.С. Четверик, В.В. Виноградов, А.Ф. Борзых, Г.Г. Литвинский, Л.В. Новикова и др. [12 – 24]. По результатам анализа их исследований установлено, что для повышения устойчивости подготовительных горных выработок необходимо заранее прогнозировать параметры напряженно-деформированного состояния в породных слоях и на их контактах для последующего обоснования нагрузок на крепь. Вместе с тем в работах указанных авторов не учитывались дополнительные нагрузки, передаваемые на крепь и окружающий массив при перемещении грузов по выработкам. Исключение составляют работы, в которых рассматривается устойчивость участковых выработок [25] в зонах влияния техногенной вибрации конвейерных установок и разработана методика расчета крепи горных выработок и тоннелей некруглого поперечного сечения [26] на

сейсмические воздействия, а также принято следующее допущение: решение квазистатических контактных задач о взаимодействии крепи с линейно-деформируемым массивом горных пород возможно только при действии длинных сейсмических волн.

Анализом статистических данных установлено, что в сложных горно-геологических условиях шахт Донбасса суммарная трудоемкость работ по ремонту и перекреплению выемочных выработок в настоящее время составляет около 80 % общих трудозатрат на проведение выработок. На шахтах Донбасса ежегодно ремонтируется и перекрепляется более 25 % общего количества поддерживаемых выработок, что составляет более 2000 км в год. При этом уровень механизации ремонтных работ не превышает 3 – 5 % [27].

Для выявления направлений совершенствования технологии комбайнового проведения выработок потребовалось выполнить ряд исследований в области организации горноподготовительных работ, которая базируется на применении эффективных схем взаимодействия горнопроходческого оборудования с подвесными монорельсовыми дорогами и исключением непроизводительных ручных операций, характерных при ликвидации аварийных ситуаций, связанных с пучением почв горных выработок.

## **1.2. Оценка действующих схем вспомогательного транспорта при комбайновом проведении подготовительных выработок**

В процессе подготовки запасов к очистной выемке в засбросовых частях шахтных полей были выявлены существенные изменения горнотехнических условий проведения подготовительных выработок. Прежде всего это сказалось на росте сечений подготовительных выработок и их пропускной способности.

С одной стороны, рост сечений подготовительных выработок связан с увеличением температуры и газообильности вмещающих пород [10, 28]. С другой – увеличение сечений подготовительных выработок обусловлено необходимостью повышения их пропускной способности в связи с появлением новых образцов очистного и транспортного оборудования. Широкое распространение очистных механизированных комплексов, работающих с выносом приводных головок забойного конвейера на штрек [10], потребовало разработать схемы участкового транспорта.

В участковых выработках действующих шахт Донбасса, где разрабатываются тонкие угольные пласты, удельный вес конвейерного транспорта достигает 96 %. Конвейерными линиями оборудованы до 30 % магистральных горизонтальных и до 93 % наклонных выработок. На шахтах, где разрабатываются пласты пологого и наклонного залегания, широкое (до 70 %) распространение получили технологические схемы с полной конвейеризацией транспорта основного грузопотока, от очистных забоев до ствола. Следует отметить достаточно высокий удельный вес комбинированных схем транспорта основного грузопотока, при которых транспортирование грузов по горизонтальным выработкам осуществляется локомотивным

транспортом, а по наклонным – ленточными конвейерами. Это привело к появлению так называемых конвейерных выработок, в которых конвейер является основным транспортным средством, а колесно-рельсовый транспорт играет роль вспомогательного. В ряде случаев дополнительный рельсовый путь в этих выработках рассчитан на движение по нему специальных платформ, имеющих уменьшенные по сравнению со стандартными вагонетками типоразмеры [29]. В наклонных конвейерных выработках, где невозможна работа локомотивного транспорта, для доставки материалов и оборудования рекомендовано применять напочвенные канатные и подвесные монорельсовые дороги.

На рис. 1.4 приведена гистограмма распределения сечений подготовительных выработок при комбайновом проведении их в условиях шахт Западного Донбасса [30].

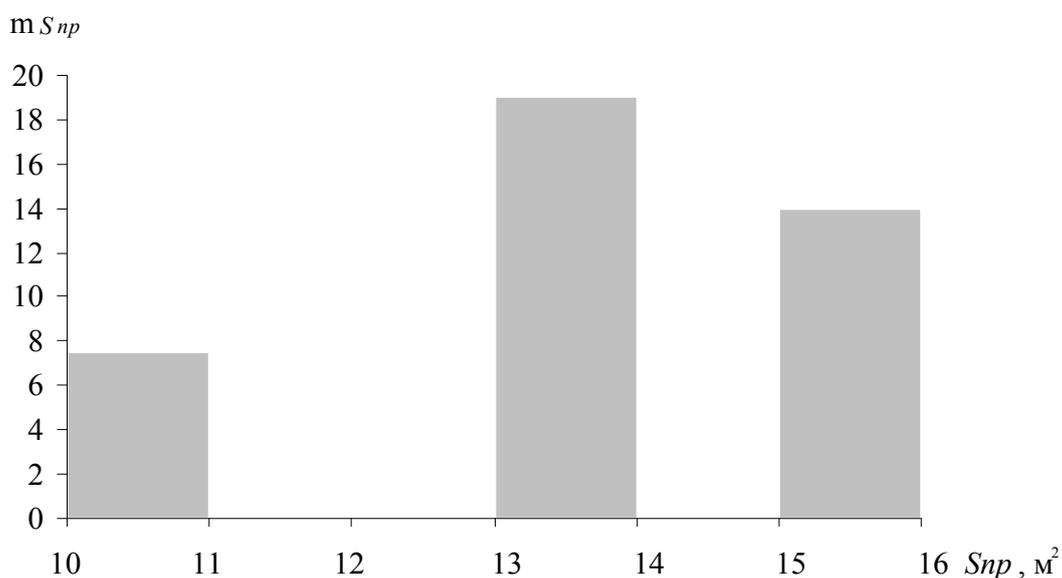


Рис. 1.4. Гистограмма распределения площади поперечного сечения в проходке

Рост сечений подготовительных выработок и особенности проявления горного давления в условиях активного пучения пород почвы потребовали изменить принятую технологию и организацию работ по проведению выработок. Интенсификация горноподготовительных работ при использовании традиционных технологических схем, содержащих в своем составе значительные объемы немеханизированных и непроизводительных операций, возможна лишь при следующих условиях: изменение принятой организации работ и сокращение продолжительности немеханизированных операций за счет увеличения числа горнорабочих, задействованных на их выполнение; совершенствование применяемой техники и технологии ведения работ с механизацией всего комплекса основных процессов и операций проходческого цикла.

За последние 20 – 25 лет существенных изменений в технологии комбайнового проведения подготовительных выработок не произошло. Основная причина такого положения – низкий уровень развития техники и технологии раздельного транспортирования угля и породы при проведении

участковых подготовительных выработок. Именно поэтому наиболее распространенные технологические схемы, несмотря на увеличенное сечение выработок, по-прежнему базируются на применении напочвенного рельсового транспорта.

В комплексе производственных процессов при подготовке фронта очистных работ у границ шахтных полей и в засбросовых их частях транспорт в подготовительных выработках является одним из основных элементов. От бесперебойной его работы во многом зависит своевременная подготовка выемочных столбов и стоимость технологических операций по проведению горных выработок.

Технологическими функциями транспорта при комбайновом проведении участковых пластовых выработок принято считать: транспорт горной массы или угля и породы при отдельной выемке, вспомогательный транспорт материалов и оборудования для конструктивного оформления выработки, доставку людей по выработке к забою и обратно [31].

Технология горноподготовительных работ определяет характерные зоны действия проходческого и транспортного оборудования. Поэтому при проведении горных выработок весь транспорт принято разделять на призабойный, предназначенный для перемещения горной массы в зоне проходческого забоя, и транспорт по выработке (от устья выработки до призабойной зоны). Каждый тип транспорта выполняет свои функции и может быть представлен несколькими видами транспортных средств [30].

В соответствии с рекомендациями [11] при проведении выработок смешанным забоем, когда подача горной массы в поток угля из очистных забоев не допускается, рекомендуется применять локомотивный транспорт или концевую откатку.

Шахтными исследованиями установлено, что в подобных условиях эксплуатации в качестве средств вспомогательного транспорта по выработкам с тяжелым профилем пути целесообразно применять монорельсовые установки типа ДМКМ или напочвенные дороги типа ДКНЛ [32].

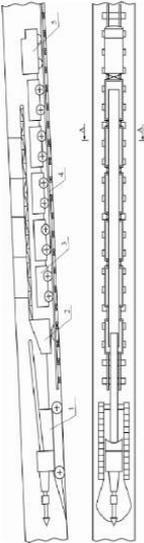
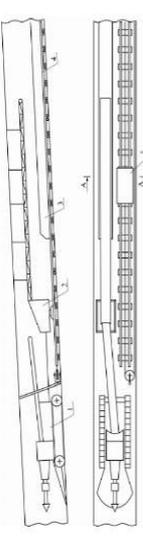
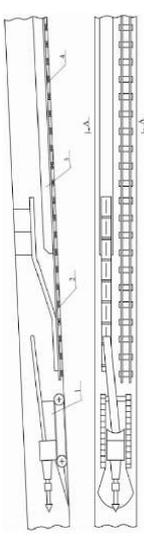
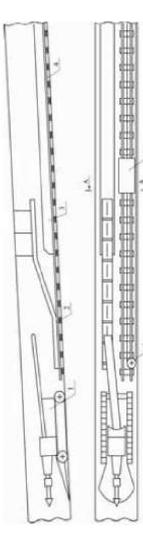
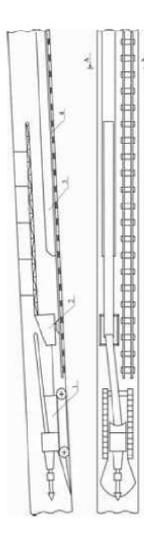
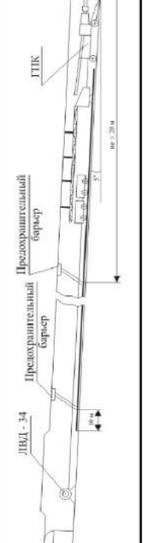
Анализ опыта комбайнового проведения выработок на шахтах Западного Донбасса позволил выделить приведенные далее транспортно-технологические схемы (табл. 1.2).

По результатам исследований показателей их работы были установлены сдерживающие факторы, характерные для конкретных из представленных схем.

Технологическая схема 1 проведения выработок с применением рельсовых видов транспорта предусматривает транспортирование горной массы, крепежных материалов и оборудования с помощью электровозов типа АМ – 8Д с использованием локомотивной тяги с усиленной (магниторельсовый тормоз) тормозной системой [30].

Таблица 1.2

## Транспортно-технологические схемы проведения выработок шахт Западного Донбасса

Технологическая схема комбайнового проведения подготовительной выработки	Комплектация транспортного оборудования	Область применения			Достоинства	Недостатки
		$S, \text{ м}^2$	$L, \text{ м}$	$\alpha, \text{ град}$		
	АМ-8Д	8,5	—	2,86	Нет ограничения по длине транспортирования	Малые углы транспортирования
	1ЛУ80, ДКН	10,3	1500	10	Нет ограничения при больших диапазонах знакопеременного профиля	Малая грузоподъемность состава при больших углах транспортирования
	1ЛТ80, АМ-8Д	10,3	—	2,86	Нет ограничения по длине транспортирования	Малые углы транспортирования
	СП-63, 1ЛУ80, ДКН	10,3	1500	10	Нет ограничения при больших диапазонах знакопеременного профиля	Малая грузоподъемность состава при больших углах транспортирования
	СП-63, АМ-8Д	10,3	—	2,86	Нет ограничения по длине транспортирования	Малые углы транспортирования
	Концевая откатка	8,5	600	5	Большая грузоподъемность при больших углах транспортирования	Затрудненная транспортировка по горизонтальным выработкам

Опыт проведения подготовительных выработок на шахтах Западного Донбасса подтверждает эффективность применения этого вида транспорта с количеством вагонеток в составе до 4 – 5 и с уклоном в грузовом направлении до 50 %. Для обеспечения наибольшей производительности комбайна в схеме применен ленточный перегружатель длиной 35 м. При ритмичной подаче порожняка, крепежных материалов и четкой организации работ достигается скорость проведения выработок до 300 м в месяц.

Достоинством этого варианта является возможность проведения выработок небольшого сечения ( $8,5 \text{ м}^2$  в свету).

Технологическая схема 2 проведения выработок с применением ленточного конвейера 1ЛУ80 и напочвенной дороги ДКН предусматривает доставку горной массы от комбайна со стреловидным разрушающим органом ленточным перегружателем и далее телескопическим конвейером до сопряжения штрека с магистральной выработкой. Доставка крепежных материалов осуществляется с помощью напочвенной дороги. Минимальное сечение выработки при реализации схемы  $10,3 \text{ м}^2$  в свету ( $13 \text{ м}^2$  в проходке) [30].

В технологической схеме 3 приведена выработка с применением телескопического ленточного конвейера 1ЛТ80 и электровоза АМ – 8Д. В этой схеме применяется комбайн в сочетании со скребковым и ленточным конвейерами, которые обеспечивают его непрерывную работу.

Для доставки крепежных материалов в благоприятных условиях (спокойное залегание, уклоны не более 50 %) возможно применение электровозного транспорта. По условиям размещения оборудования необходимо проведение выработки сечением  $10,3 \text{ м}^2$  в свету.

Технологическая схема 4 транспорта при проведении выработок с применением скребкового (СП – 63) и ленточного конвейеров типа 1ЛУ80 и напочвенной дороги ДКН отличается от предыдущей тем, что для доставки крепежных материалов в сложных условиях залегания пласта (знакопеременные уклоны, значительные углы залегания и т. д.) применяется напочвенная канатная дорога.

В технологической схеме 5 проведения выработок с применением проходческого скребкового конвейера типа СП – 63 и электровоза АМ – 8Д для транспортировки материалов непрерывная работа комбайна обеспечивается погрузкой горной массы на телескопический проходческий ленточный конвейер. Доставка крепежных материалов осуществляется электровозным транспортом. Схема предусматривает проведение выработок сечением  $10,3 \text{ м}^2$  в свету. Применение конвейерного транспорта влечет значительные первоначальные расходы, необходимость периодического наращивания ленты, а также применение весьма сложных средств автоматического пуска и контроля.

При концевой откатке (схема 6) для транспортирования породы, материалов и оборудования на шахтах существует два варианта расположения транспортного оборудования в зависимости от направления проведения

выработок: проходка выработок сверху вниз, когда лебедка располагается в устье выработки, порожние вагонетки транспортируются вниз, а груженные – вверх, и проходка выработок снизу вверх, когда лебедка находится рядом с комбайном, передвигаясь вслед за ней. Основные недостатки концевой откатки при проходке – малая производительность при концевой нагрузке в 2 – 3 вагонетки, что недостаточно для обеспечения заданной скорости проведения выработок; ограниченная длина откатки (до 600 м); невозможность применения при знакопеременном профиле выработки; низкий уровень безопасности работ.

Оценивая приведенные выше схемы комбайнового проведения выработок, можно констатировать, что одним из основных направлений научно-технического прогресса в области своевременной подготовки выемочных столбов является техническое перевооружение технологических схем на базе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов при обеспечении безопасных и комфортных условий труда. Установлено также, что при техническом перевооружении звеньев вспомогательного подземного транспорта, а также улучшении схем организации работ значительно повысятся темпы проведения подготовительных выработок, а следовательно, обеспечится своевременная подготовки запасов к очистной выемке.

В результате выполненной экспертной оценки [30] и с учетом вышеуказанных технологических схем можно сформулировать вывод, что схема комбайнового проведения выработок с применением подвесной монорельсовой дороги – наиболее перспективная.

### **1.3. Опыт эксплуатации схем вспомогательного транспорта с применением подвесных монорельсовых дорог**

Вспомогательный транспорт угольных шахт, обеспечивающий транспортировку оборудования, материалов и перевозку людей, представляет собой самостоятельный технологический процесс, сложившийся в результате конвейеризации основного грузопотока. Разделение грузопотоков на основной (углепородная масса) и вспомогательный потребовало создания более мобильных средств и технологических схем транспорта для оперативной доставки материалов, оборудования и перевозки людей. В работах отраслевых институтов [4] отмечается, что необходимость выделения вспомогательного транспорта в самостоятельную подсистему была обусловлена также интенсификацией очистных работ, которая привела к увеличению ежедневных объемов потребления вспомогательных материалов. Более того, с внедрением механизированных комплексов нового поколения возросла средняя масса оборудования лавы и максимальная масса транспортных единиц, а увеличение длины выемочных столбов и отработка запасов по падению (восстанию) пласта снизили пропускную возможность транспортных выработок.

Шахтными исследованиями установлено, что вспомогательные грузопотоки значительно больше подвержены влиянию горно-геологических, горнотехнических и организационных факторов, чем основные.

Трудоемкость вспомогательного транспорта на шахтах СНГ в среднем составляет около 30 чел.-смен на 1000 т суточной добычи угля. Кроме того, на выполнение погрузочно-разгрузочных, транспортных и складских работ задействуются рабочие очистных и подготовительных забоев. Доля этих работ в общей трудоемкости очистных и подготовительных работ достигает 18 %, причем трудоемкость доставки вспомогательных грузов на конвейеризированных шахтах в 3 – 4 раза выше, чем на шахтах с локомотивной откаткой [33, 34, 35].

Необходимо также отметить, что многообразие горнотехнических условий, в которых эксплуатируются средства вспомогательного транспорта, накладывают ряд ограничений помимо технических и конструктивных особенностей транспортного оборудования. Результаты шахтных испытаний традиционно эксплуатируемых транспортных средств позволили сформулировать требования к технологическим схемам вспомогательного транспорта, приведенным далее.

Система вспомогательного транспорта должна эффективно работать в прямолинейных горизонтальных и наклонных выработках неограниченной длины, а также в выработках, искривленных в профиле и плане. Кроме того, предполагается, что система вспомогательного транспорта будет обладать высокой маневренностью и автономностью в выработках небольшого сечения с любым состоянием почвы при наличии технологического оборудования или других средств транспорта [36].

Типичной универсальной транспортной системой является локомотивный рельсовый транспорт. До начала 80-х годов прошлого века на шахтах с годовой производственной мощностью около 1,5 млн рельсовый локомотивный транспорт выполнял практически весь объем перевозок на внутришахтном транспорте. Однако этому виду транспорта свойственны существенные недостатки: дискретность (прерывистость) действия, невозможность с помощью локомотива преодоления наклонных межгоризонтных выработок, сложность автоматизации (и, как следствие, сложность обеспечения ритмичной работы) и высокая трудоемкость [37].

В зарубежной практике технологические схемы вспомогательного транспорта конвейеризированных угольных шахт базируются преимущественно на применении монорельсовых дорог. В зависимости от горно-геологических условий и степени конвейеризации шахты определяется тип монорельсовых дорог и область их эффективного использования. Так, на шахтах с частичной конвейеризацией уклонных и бремсберговых полей рационально применение монорельсовой дороги, а в зоне доставки угля рельсовым транспортом (магистральные выработки) вспомогательный транспорт базируется на локомотивной откатке. На шахтах со сплошной конвейеризацией рекомендуется сквозная доставка материалов, оборудования и

людей монорельсовой дорогой. При сложных схемах вспомогательного транспорта применяется комбинированная доставка грузов, рельсовый транспорт используется на основных коммуникациях, а монорельсовый – в зоне разветвлений. Для сравнительной оценки особенностей технологических схем с напочвенными видами транспорта и применением монорельсовых дорог приведена типовая схема, разработанная ИГД им. Скочинского (рис. 1.5).

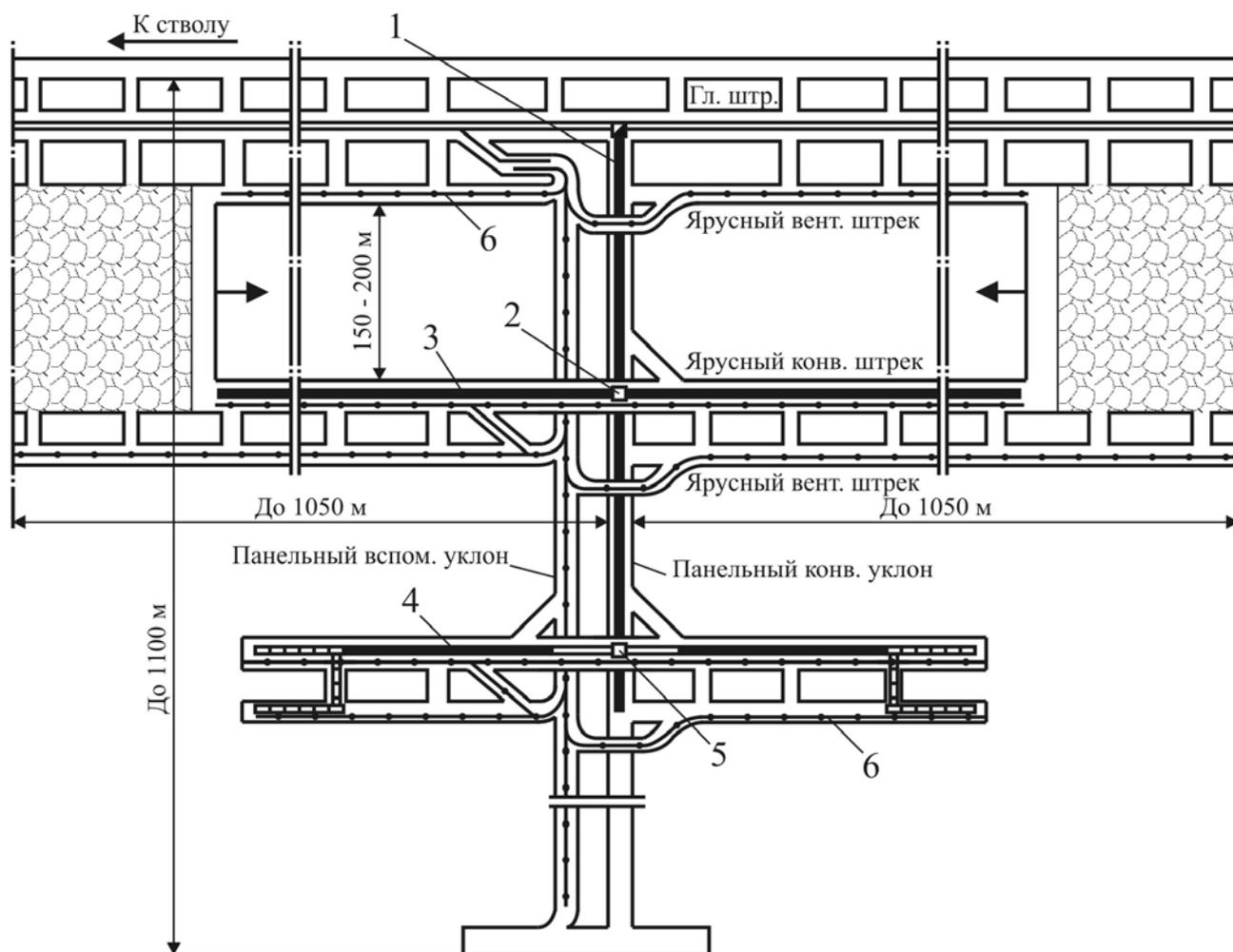


Рис. 1.5. Схема транспорта конвейеризированной уклонной панели:

- 1 – конвейер 2ЛУ120; 2 – горный бункер-гезенк;
- 3 – телескопический конвейер 2ЛТ80; 4 – конвейер 1Л80;
- 5 – узел перегрузки с механизированными бункерами по 30 т ;
- 6 – монорельсовая дорога с дизельным локомотивом

Приведенная транспортная схема с применением сквозного монорельсового транспорта в пределах панели рекомендована ИГД им. Скочинского для конвейеризированной уклонной панели при углах наклона до  $12^\circ$  с суточной нагрузкой до 4 тыс. т. В основу ее создания были заложены высокие технические возможности подвесных монорельсовых дорог, что позволило разработчикам заменить типовой проект с тремя панельными уклонами на схему с конвейерным и вспомогательным уклонами. Такое техническое решение позволило сократить затраты на проведение дополнительной (третьей) подготавливающей выработки (грузового хода).

Грузопоток угля осуществляется конвейерной системой, включающей в себя сборный конвейер, установленный на панельном конвейерном уклоне, ярусные участковые конвейеры и конвейеры Л80 подготовительных забоев.

Вспомогательный транспорт представлен монорельсовой дорогой от заезда вспомогательного уклона и далее по уклону с разветвлениями на заездах вентиляционных и конвейерных штреков каждого яруса. По конвейерным штрекам лав перевозятся люди, доставляются оборудование, материалы и эмульсия, а вывозятся элементы крепи погашаемого штрека.

По подготовительным выработкам перевозятся люди, доставляются элементы крепления и оборудование, необходимое для обеспечения очистного забоя. Посадка людей и погрузка грузов на монорельсовую дорогу осуществляется с рельсовых платформ на верхнем заезде вспомогательного уклона, доставляются они к местам назначения без промежуточных операций.

Схема транспорта конвейеризированной бремсберговой панели аналогична схеме, представленной на рис. 1.5, и отличается только тем, что пункт примыкания монорельсового и рельсового транспорта находится на нижнем заезде вспомогательного панельного бремсберга.

Ориентировочная потребность конвейеризированной панели в транспортных средствах – два рабочих монорельсовых поезда и один поезд резервный.

Действующую схему вспомогательного транспорта шахты со сплошной конвейеризацией грузопотоков горной массы можно рассмотреть на примере блока 8 – 10 ОАО «Шахтоуправление «Покровское»» (рис. 1.6).

Вспомогательный транспорт представлен монорельсовыми поездами с дизельным приводом. Перевозка людей и грузов от ствола осуществляется по отдельной магистральной полевой выработке, оборудованной для двухстороннего движения. В зонах примыкания бортовых выработок или их заездов устанавливаются стрелочные переводы для обеспечения въезда монорельсового поезда на бортовую выработку. Для рациональной развязки системы стрелочные переводы оборудованы специальной маршрутной антиблокировочной системой со светофорной сигнализацией. Далее по бортовым выработкам люди или грузы доставляются непосредственно к месту назначения.

Главной особенностью такой схемы вспомогательного транспорта является сквозная (бесперегрузочная) доставка оборудования и материалов. При перевозке людей обеспечивается скоростная доставка их от ствола к забою. Ориентировочный расчет показывает, что для обслуживания такой транспортной системы при рациональной организации движения достаточно иметь восемь рабочих и два резервных дизельных монорельсовых поезда.

Необходимо отметить, что направления развития техники подземного шахтного транспорта в угольной промышленности зарубежных стран в значительной степени определяются концентрацией производства и увеличением глубины ведения горных работ [38 – 40].

**Схема доставки  
дизелевозным транспортом  
блока 8-10**

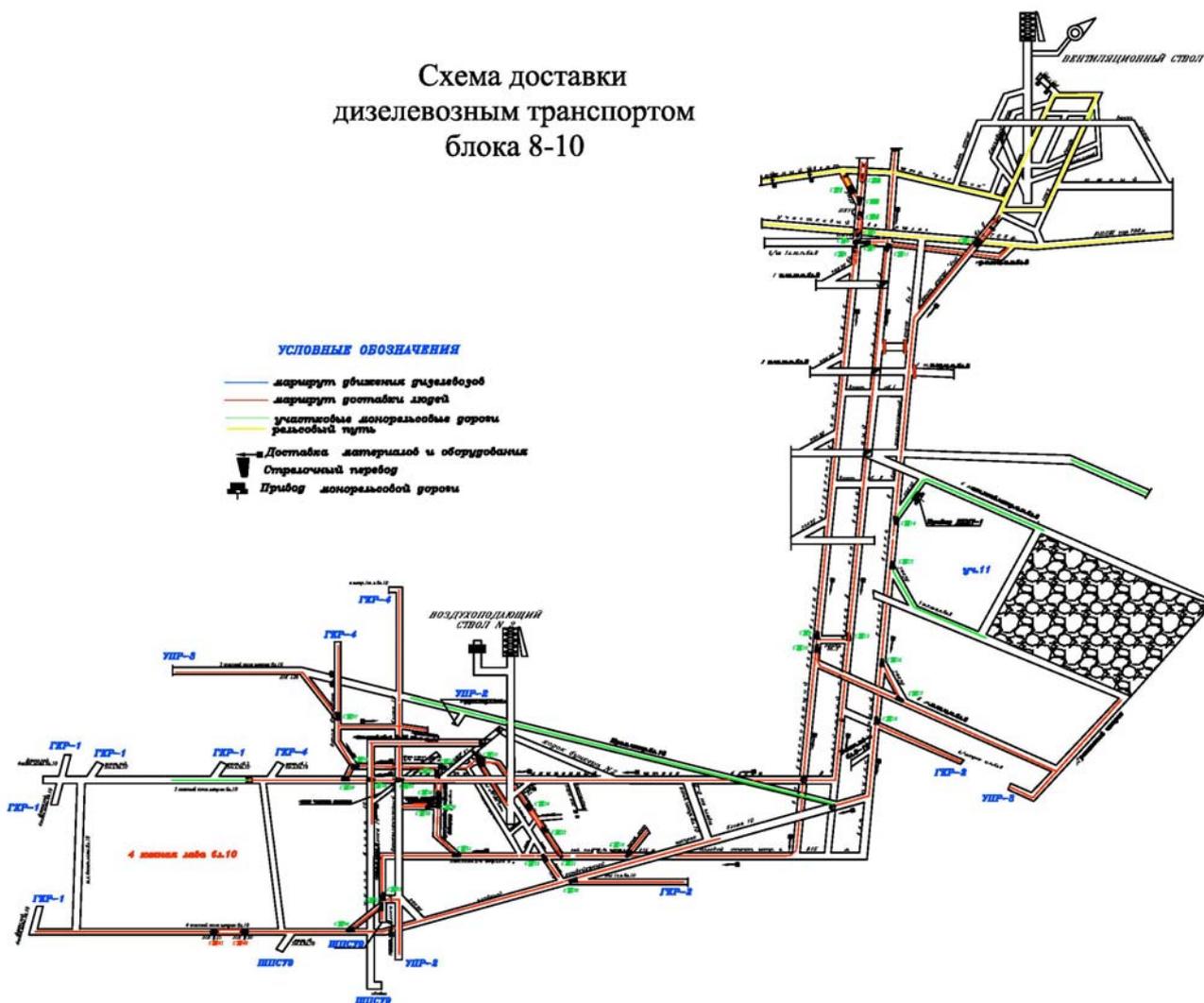


Рис. 1.6. Схема транспорта конвейеризированной уклонной панели блока 8 – 10 ОАО «Шахтоуправление «Покровское»

Так, на шахтах Германии суточный объем транспортируемых вспомогательных грузов составляет около 20 тыс. т, а трудоемкость доставки в подземных условиях – до 40 – 60 чел.-см на 1000 т реализуемого угля. В работах [36, 41] отмечается, что ежесуточно на средний добычный участок шахты доставляется 45 единиц вспомогательных грузов. Максимальная масса одной транспортной единицы 6,3 т, а при отработке большой мощности с применением щитовой крепи масса единичного груза может возрасти до 13 – 16 т. Средняя масса оборудования лавы составляет 1719 т, а на пластах мощностью более 2,5 м она может достигать 2000 т и более.

Количество подвесных монорельсовых дорог, используемых в качестве вспомогательного транспорта, составляет 44,4 % от общего объема применяемого транспортного оборудования. В большей степени вспомогательный транспорт представлен подвесными монорельсовыми дорогами с дизельным приводом. При этом авторы [42] отмечают, что важным условием применения монорельсовых дорог с дизельным приводом является

соблюдение минимальной концентрации окиси углерода. Приемлемая характеристика выхлопа для применяемого дизельного двигателя при низкой нагрузке должна не превышать концентрацию окиси углерода 0,0132 %, а при номинальной мощности – 0,08 % [43 – 46].

Оценивая опыт применения подвесных монорельсовых дорог на шахтах Германии [38], можно констатировать, что транспортировка грузов подвесным дизелевозом, как правило, осуществляется по магистральным выработкам (главным штрекам) через стрелочные переводы с дистанционным управлением к участковым выработкам (нарезным штрекам) и далее до «рабочих участков». При этом максимальная скорость движения в участковых (нарезных) выработках не должна превышать 1,4 м/с. Перевозка людей осуществляется в пяти-восьмиместных кабинах, так что один состав перевозит 41 человека. Перевозка людей на расстояние 1200 м длится 10 мин, что соответствует скорости 7 – 8 км/ч. В кабине дизелевозов предусмотрены переговорные устройства, которые обеспечивают связь машиниста с диспетчером, что особенно важно при неполадках в работе. Кроме того, это создает возможность использования двух составов на одном участке шахтного поля [36].

Для определения степени экономичности в работе [36] сравнивались затраты на доставку с канатным и дизельным приводами и при одинаковых условиях применения. Дизелевоз на участке длиной 2000 м с двумя поворотами и максимальным подъемом 10°, транспортируя груз массой 10 т, обеспечивает рабочие участки в восьми нарезных штреках, которые при двухсменной работе имеют нагрузку 800 – 1000 т/сут.

Подводя итоги анализа опыта эксплуатации подвесных монорельсовых дорог, необходимо отметить, что самыми узкими звеньями транспортирования вспомогательных материалов в цепи «поставщик – место» непосредственного использования в шахте являются многочисленные перегрузки на поверхности и особенно в подземных условиях, а также доставка грузов в призабойной зоне участковых выработок [30].

При интенсификации горного производства создаваемая транспортная система должна быть универсальной и в зависимости от применяемых транспортных средств объединять функции основного и вспомогательного транспорта или содержать ряд подсистем специализированного или комбинированного назначения.

Наиболее рациональным средством вспомогательного транспорта для конвейеризированных шахт является бесперегрузочная транспортная система на базе монорельсовых дорог с дизельными локомотивами, способная доставлять грузы и людей по наклонным и горизонтальным разветвленным выработкам и обеспечить подготовительные, очистные и монтажно-демонтажные работы в условиях интенсификации горных работ.

Основные поставщики монорельсовых дорог с дизельными локомотивами на шахты Украины – зарубежные фирмы Scharf (Германия), Ferrit (Чехия), Монотранс (Россия).

Разработчики отмечают следующие достоинства подвесных монорельсовых дорог:

1. Полная автономность, т. е. возможность работы по всей разветвленной сети транспортных выработок шахт при любом количестве стрелочных переводов и без ограничений по протяженности монорельсового пути и времени работы, которая обеспечивается дизельным силовым агрегатом, находящимся на монорельсовом локомотиве.

2. Применение на горизонтальных и наклонных горных выработках, т. е. способность обеспечить бесперегрузочный вспомогательный транспорт. При этом необходимо иметь минимальную массу поезда и максимальную силу тяги локомотива. Следовательно, сила тяги реализуется не от сцепного веса, а от искусственного прижимания тяговых колес локомотива к монорельсу. Рациональным тяговым устройством является система, автоматически изменяющая силу прижимания тяговых колес (осуществляться гидравлическим или механическим устройством) к монорельсу в зависимости от силы тяги.

3. Высокая степень безопасности, обеспечиваемая взрывобезопасностью и малотоксичностью дизельного силового агрегата, надежностью тормозной системы поезда, автоматической противопожарной системой и удобством управления. Взрывобезопасность дизельного силового агрегата достигается охлаждением нагретых поверхностей и выхлопных газов, а также пластинчатой пламезащитой всасывающего и выхлопного трактов. Низкая токсичность выхлопных газов вследствие эффективной очистки и разжижения продуктов выхлопа воздухом. В тормозной системе поезда запас тормозного усилия должен быть в 2,5 раза больше чем максимальное статическое усилие.

4. Максимальная механизация погрузочно-разгрузочных операций осуществляется за счет гидроподъемников, смонтированных на поезде.

5. Блочность конструкции, обеспечивающая при наборе необходимого количества определенных блоков весь диапазон скоростей, грузоподъемностей и тяговых усилий, удовлетворяющий всем требованиям вспомогательного транспорта существующих и перспективных шахт.

Перечисленные достоинства автономных монорельсовых дорог позволяют считать их наиболее рациональным видом шахтного вспомогательного транспорта. Однако, ввиду отсутствия опыта их эксплуатации в специфических условиях разработки тонких пологих пластов Западного Донбасса, рекомендуемые технологические схемы требуют научного обоснования эксплуатационных параметров и разработки исходных требований на их применение. Последнее обусловлено тем, что в настоящее время действующие шахты Украины преимущественно дорабатывают запасы у границ шахтных полей и в зонах влияния тектонических нарушений, поэтому горнотехнические условия разработки пластов существенно отличаются в пределах шахты, блока, панели.

#### **1.4. Пути совершенствования транспортно-технологических схем подготовки запасов к очистной выемке**

В настоящее время на угольных шахтах Украины сложились объективные предпосылки для перехода к технологическим схемам проведения выработок комбайновым способом с применением горнопроходческого и транспортного оборудования высокого технического уровня.

Поводом для принятия такого решения послужило несоответствие традиционно применяемых технологических схем комбайнового проведения выработок [11, 47 – 49], базирующихся на применении морально устаревшего транспортного оборудования и изменившихся горнотехнических условиях эксплуатации.

Анализ горнотехнических условий ведения подготовительных работ на шахтах Украины показал [2, 50], что современные технологические схемы должны предусматривать возможность проведения горизонтальных и наклонных выработок большого ( $13 \dots 25 \text{ м}^2$ ) сечения с применением различных видов транспортных средств. При этом необходимо учитывать, что высокие темпы подвигания высоконагруженных лав, оборудованных механизированными комплексами нового поколения, требуют соответствия технико-экономических показателей работы подготовительных забоев.

Традиционные схемы шахтного вспомогательного транспорта [10] предусматривают доставку грузов по подготовительным выработкам с применением следующих транспортных средств: локомотивной или канатной откатки; монорельсовых или напочвенных канатных дорог; самоходных вагонов; специальных контейнеров и др. Целесообразность и экономическая эффективность того или иного вида горнотранспортного оборудования обосновывается результатами проектных расчетов.

Однако специфика ведения горных работ в реальных горно-геологических условиях предполагает необходимость транспортировки негабаритных или специфических грузов. Причем система вспомогательного транспорта должна учитывать не только особенности и виды транспортируемых грузов, но и пропускную способность и условия эксплуатации горных выработок. В особой степени это касается выполнения монтажно-демонтажных работ, когда необходимо оперативно транспортировать крупногабаритные грузовые единицы.

По результатам анализа зарубежного опыта подготовки запасов к очистной выемке установлено, что в условиях интенсификации горного производства эффективную работу обеспечивают технологические схемы вспомогательного транспорта на базе применения монорельсовых дорог.

В отечественной практике подготовки запасов подобный опыт освещен недостаточно. Например, в работе [30] при оценке способов проведения выработок с учетом средств транспортирования горной массы из подготовительных забоев и доставки вспомогательных материалов и оборудования к очистным и проходческим забоям рекомендуется

использование подвесных монорельсовых дорог типа 6ДМКУ с замкнутой канатной тягой. Однако конкретно не рассматривается структура и технологическая схема применения подобного оборудования.

Следует отметить, что вопросами создания шахтного монорельсового транспорта занимались такие ученые, как В.С. Берсенев, Л.И. Айзеншток, А.С. Веткин, В.Н. Григорьев, В.О. Гутаревич, Л.Г. Желтухин, В.М. Мерецкий, М.В. Чашко, В.В. Бухановский, Я.В. Щукин, А.И. Кравцов [51 – 56] и многие другие. При этом они изучали лишь конструктивные и механические характеристики шахтных подвесных монорельсовых дорог и не придавали значения оценке использования их в технологии проведения подготовительных выработок. В выполненных ими исследованиях рассматривались только частные случаи взаимодействия отдельных узлов (механизмов) поезда монорельсовой установки.

В ранее разработанных проектными институтами отрасли типовых технологических схемах подготовки запасов наиболее перспективным считается комбинированный транспорт – конвейерный для транспортирования горной массы и монорельсовый для доставки материалов, оборудования и людей.

В то же время по результатам предварительных исследований ГВУЗ «НГУ» [5] было установлено, что в любом случае целесообразно использование подвесной монорельсовой дороги при проведении подготовительных выработок в качестве единого транспортного средства для перемещения горной массы, материалов и рабочего персонала, несмотря на перспективность предложенной комбинированной схемы.

Объясняется это тем, что наряду с более низкой первоначальной стоимостью подвесной монорельсовой дороги расходы на ее эксплуатацию и затраты на монтажно-демонтажные работы, при наращивании става (монорельса), относительно невелики и тем самым дают возможность более эффективно использовать другие виды транспортных средств (в этих же транспортных выработках). В случае возникновения неполадок в работе монорельсовой дороги в местах разгрузки (перегрузки) вместо аккумулялирующих емкостей можно применять подвесные вагонетки, что исключает затраты времени и сбой работ в технологическом цикле подготовительного забоя.

Кроме того, необходимо отметить, что перспективы совершенствования схем вспомогательного транспорта создают хорошие предпосылки для внедрения на угольных шахтах Украины монорельсовых дорог нового поколения. Такие установки могут быть успешно применены как на действующих шахтах, так и на проектируемых горных предприятиях по добыче угля, что позволит осуществлять транспортировку различных материалов и оборудования без перегрузок, доставку людей от шахтного ствола или главных откаточных выработок непосредственно на рабочее место, а также транспортировать горную массу из подготовительных забоев до погрузочных пунктов при проведении выработок с углом наклона до 30°.

Как отмечалось выше (п. 1.2), технологические схемы вспомогательного транспорта с применением монорельсовых дорог типа 6ДМКУ имеют ряд недостатков, связанных с канатной тягой. В этом случае альтернативой являются монорельсовые дороги с дизельной тягой. Дизельный локомотив подвесной монорельсовой дороги позволяет транспортировать составы с грузом по разветвленной транспортной трассе с несколькими конечными пунктами. Для этого на разветвленных участках монтируются стрелочные переводы, которые объединяют все пути в единую транспортную цепочку.

Однако эффективному использованию данного вида вспомогательного транспорта препятствует ряд негативных явлений, сопровождаемых специфическими условиями взаимодействия подвесной монорельсовой дороги с арочной крепью и влиянием динамики подвижного состава на устойчивость горного массива в процессе транспортирования грузов по выработкам. Ранее шахтными исследованиями установлено, что подобные явления существенно влияют на скорость транспортирования грузов по выработкам. По результатам экспертной оценки [57] условий транспортирования грузов по участковым выработкам выявлено, что основными причинами изменения скорости перемещения подвижного состава являются: отклонение габаритов и веса грузовых единиц от нормативных показателей; изменение влажности и температуры воздуха в выработке, а также нестандартные (аварийные) ситуации, возникающие из-за знакопеременного профиля трассы монорельсовой дороги.

Оценка функционального состояния участковых подготовительных выработок, закрепленных арочной крепью и оборудованных подвесными монорельсовыми дорогами, показала, что максимальные искривления профиля трассы приурочены к зонам активного расслоения пород кровли. По результатам выполненных шахтных исследований [57] впервые установлено, что эти зоны располагаются над «несущими арками» – рамами арочной крепи, к которым крепятся сопрягаемые звенья монорельса (рис. 1.7). В процессе обыгрывания «несущих арок», при их взаимодействии с породами кровли, величина податливости верхняков относительно ножек крепи на 90...140 мм больше, чем в «рядовых арках», расположенных в средней части сопрягаемых звеньев монорельса. Учитывая особенности поведения пород кровли в выработках с подвесной монорельсовой дорогой, можно сделать вывод, что при прохождении грузовыми каретками стыков монорельса «несущие арки» являются концентраторами напряжений, возникающих в конструкции под действием сил горного давления и нагрузок, вызываемых динамикой подвижного состава. Более того, динамические нагрузки, многократно передаваемые «несущим аркам» крепи, в момент прохождения подвижным составом стыковых соединений профиля монорельса провоцируют не только расслоение пород кровли но и служат причиной их движения, искривляя при этом профиль монорельса. Подобные ситуации приводят к порыву каната, сходу подвижного состава и являются угрозой для обслуживающего персонала.



Рис. 1.7. Состояние трассы монорельса и крепи подготовительной выработки в зонах активного смещения пород кровли

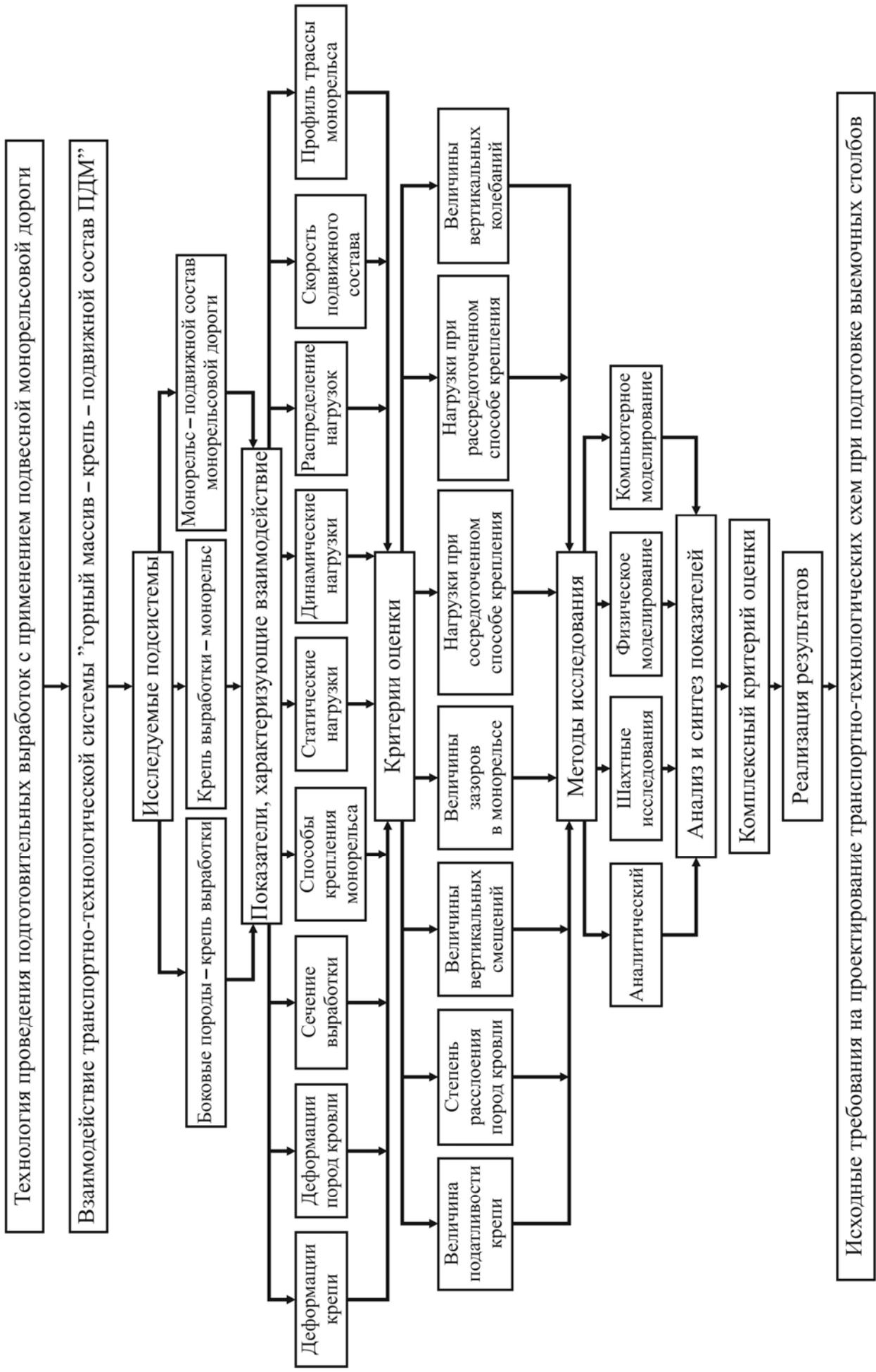
Вышеизложенное обуславливает необходимость обоснования области эффективного применения шахтных подвесных монорельсовых дорог с учетом их влияния на устойчивость арочной крепи и вмещающих пород вокруг транспортных выработок.

Кроме того, в процессе исследований технологических схем с применением монорельсовой дороги предусматривается также установить параметры проявлений горного давления и степень влияния их на скорость передвижения состава по выработкам.

Учитывая то, что подобные исследования до настоящего времени комплексно не выполнялись, предполагается впервые исследовать процесс транспортирования грузов по подземным выработкам как взаимодействующую транспортно-технологическую систему «подвижной состав подвесной монорельсовой дороги – крепь подготовительной выработки – горный массив».

В частности, исследование технологического процесса взаимодействия подсистем «горный массив – крепь подготовительной выработки», «крепь подготовительной выработки – став монорельса», «монорельс – подвижной состав подвесной монорельсовой дороги» предусматривает установить конструктивные параметры способа подвески монорельсовой дороги и способа закрепления горной выработки в целом.

Для оценки адекватности анализируемых моделей взаимодействия подсистем «горный массив – крепь подготовительной выработки», «крепь подготовительной выработки – став монорельса», «монорельс – подвижной состав подвесной монорельсовой дороги» была разработана структурно-логическая схема исследования (рис. 1.8), которая предусматривает разработку рабочих методик проведения экспериментальных исследований.



Исходные требования на проектирование транспортно-технологических схем при подготовке выемочных столбов

Рис. 1.8. Структурно-логическая схема исследований

Для детального установления характера и степени влияния технологических параметров необходимо разработать комплексную модель процесса взаимодействия элементов транспортно-технологической системы при проведении и эксплуатации подготовительной выработки, а также выполнении монтажно-демонтажных работ. По результатам моделирования предполагается определить потенциальные источники повышения скорости подвигания подготовительного забоя.

Структурно-логическая схема предусматривает также разработку исходных требований на выполнение комплекса горных работ по подготовке запасов к очистной выемке на базе совершенствования условий взаимодействия монорельсовых дорог с арочным креплением.

Ожидаемым результатом исследований является установление рационального диапазона технических показателей применения шахтных подвесных монорельсовых дорог, а также обоснование параметров для увеличения темпов подготовки запасов в условиях интенсификации горных работ.

## **Выводы**

1. Традиционно применяемые технологические схемы проведения подготовительных выработок комбайновым способом с откаткой горной массы локомотивным транспортом базируются на использовании морально устаревшего проходческого оборудования на колесно-рельсовом ходу, выпуск которого прекращен передовыми производителями горношахтного оборудования еще в 70-х годах прошлого века.

2. Основная причина низких темпов проведения подготовительных выработок при использовании традиционных технологических схем – циклический характер взаимодействия погрузочного и транспортного оборудования.

3. Тенденция развития технологии проведения подготовительных выработок комбайновым способом за рубежом представляет собой перспективное направление, которое основано на использовании технологических схем с циклично-поточной организацией погрузочно-транспортных работ на базе применения локомотивных подвесных монорельсовых дорог с дизельным приводом.

4. В настоящее время еще не разработаны практические рекомендации по обоснованию параметров и схем организации погрузочно-транспортных работ при проведении горных выработок на отечественных шахтах комбайновым способом с применением локомотивных подвесных монорельсовых дорог с дизельным приводом.

## **2. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

### **2.1. Метод оценки параметров взаимодействия технологических процессов при комбайновом проведении выработок**

Разнообразие всего выпускаемого горнотранспортного оборудования, применяемого в различных горнотехнических условиях, привело к появлению практически неограниченного количества технологических схем комбайнового проведения участковых выработок при подготовке запасов к очистной выемке. С целью повышения темпов и снижения затрат на проведение подготовительных выработок научно-исследовательскими и проектными институтами отрасли в 80-х годах прошлого века выполнялись целенаправленные работы по оптимизации комплектов проходческого и транспортного оборудования.

На протяжении многих десятков лет технологические схемы и типовые паспорта рационального расположения горнопроходческого и транспортного оборудования в призабойном пространстве подготовительных выработок усовершенствовали такие ведущие научно-исследовательские институты отрасли, как: ИГД им. А.А. Сковчинского, ДонУГИ, ЦНИЭИуголь, Центрогипрошахт, Днепрогипрошахт, Печорниипроект, ВНИМИ, а также научные коллективы МГИ, ИПКОН АН СССР, ЛГИ, ДГИ, ДПИ и др. [58 – 62].

Оптимизацией параметров технологических схем и организацией проведения подготовительных выработок, а также улучшением технико-экономических показателей их работы занимались В.И. Бузило, В.Н. Гелескул, Ю.З. Заславский, Ю.В. Казанский, Н.А. Малевич, Э.Э. Нильва, И.Э. Цейтин, Г.Д. Потапенко, Б.М. Усаченко, Б.В. Цыплаков, А.Н. Шашенко, Л.Н. Ширин, Ю.М. Халимендик, В.М. Яворский, А.И. Коваль и др. [28, 48, 61 – 72], которые своими исследованиями способствовали развитию горного дела.

Необходимо отметить, что в фундаментальных работах указанных авторов детально рассмотрены вопросы крепления, охраны и устойчивости подготовительных выработок. В работах Э.Э. Нильвы и И.Э. Цейтина [28, 47] большое внимание уделялось вопросам координации структуры проведения подготовительных выработок по углю с присечкой боковых пород. Однако, детально рассматривая объемы горноподготовительных работ относительно факторов, определяющих использование средств механизации и общую трудоемкость процессов комбайнового проведения выработок, авторы ориентировались на применение исключительно традиционных напочвенных видов транспорта. С учетом их рекомендаций разрабатывались типовые паспорта и технологические схемы проведения выработок.

На основании анализа хронометражных наблюдений в работе [10] методами математического анализа и статистики устанавливалось влияние отдельных факторов на себестоимость проведения подготовительных выработок. В качестве основного критерия оптимальности были приняты

минимальные значения приведенных затрат. В результате анализа технологических паспортов и схем проведения выработок были установлены усредненные значения и нормы расхода материалов и энергии. Для конкретных условий эксплуатации, получив усредненную трудоемкость работ, расход энергии и материалов, расчетным путем определялись приведенные затраты на проведение одного погонного метра (1 п. м) подготовительной выработки. Однако при расчетах учитывались существовавшие на тот период времени цены, тарифы, уровень зарплаты и коэффициент отраслевой нормативной эффективности капиталовложений.

Некоторые авторы принимали дополнительный критерий оптимальности, например темпы проведения подготовительных выработок. Необходимость использования второго критерия оптимальности объясняется высоким удельным весом операций в составе проходческого цикла, где не применяется механизация. Следует отметить, что повышение темпов проведения выработок осуществлялось путем увеличения численности проходчиков, задействованных на выполнении немеханизированных работ.

Таким образом, в исследованиях [28] были предложены технологические критерии оценки. В разработанной методике определялась сравнительная эффективность не отдельных единиц оборудования и вспомогательных материалов, а целых технологических схем с учетом влияния как технологических, так и организационных факторов проведения подготовительных выработок.

Такой подход позволяет учитывать не только уровень конструктивного совершенствования отдельно взятых машин и механизмов, но и их технологическую совместимость между собой, а также уровень организации всех проходческих работ.

Одним из первых, кто предпринял попытку в оценивании уровня развития технологии проведения участковых подготовительных выработок, что является неотъемлемой частью системы подготовки запасов, был авторский коллектив под руководством Э.Э. Нильва [28], для чего была выведена формула:

$$U_T = 1 - \sqrt[3]{\frac{\left(\frac{T_i}{n_{\bar{o}}}\right)^2 - \left(\frac{T_{pi}}{n_i}\right)^2}{\left(\frac{T_{\bar{o}}}{n_{\bar{o}}}\right)^2 - \left(\frac{T_{p\bar{o}}}{n_{\bar{o}}}\right)^2}}, \quad (2.1)$$

где  $U_T$  – комплексный критерий уровня технологии проведения горных выработок;  $T$  – общая трудоемкость работ (включает затраты на поддержание, укрепление и на работы, связанные с ликвидацией нестандартных аварийных ситуаций), чел.-см;  $T_p$  – затраты ручного труда;  $n$  – количество проходчиков, чел. (индексы  $i$  и  $\bar{o}$  указывают на принадлежность к любой  $i$ -й или базисной схеме).

Выявленный ими комплексный критерий уровня технологии ведения горноподготовительных работ включает в себя в качестве основных составляющих показатели, характеризующие затраты ручного труда проходческой бригады, общие трудозатраты и продолжительность процесса ( $t$ ). Упомянутый критерий (2.1) позволяет давать сравнительную оценку схем различного технологического уровня, однако в условиях пучения почв при проведении участковых подготовительных выработок необходимо учитывать ограничения, связанные с характером поведения слабометаморфизованного массива горных пород под влиянием динамических воздействий от подвижного состава на почву транспортных выработок.

Предлагаемый критерий имеет ряд особенностей:

– при одинаковом соотношении  $T_i/T_0$  в сравниваемых вариантах этот показатель тем выше, чем меньше затрат ручного труда в схеме и чем больше проходчиков участвуют в выполнении производственного процесса, т. е. чем выше скорость проходки;

– при одинаковом соотношении показателей  $T_{pi}/T_i$  и  $n_{pi}/n_i$  в сравниваемых с базовыми вариантах предпочтение отдается тому из них, который в большей степени снижает общую трудоемкость работ ( $T_i/T_0$ ) методом исследования трудоемкости.

Исследования выявили ряд присущих этому универсальному критерию недостатков. Прежде всего, уровень технологии в предлагаемом критерии напрямую зависит от удельного веса механизированного труда в общей трудоемкости работ. Однако отсутствует оценка собственно технологии и организации работ при использовании различных средств механизации. Таким образом, одинаковый уровень технологии могут иметь как схемы, базирующиеся на применении однофункционального оборудования, так и схемы, имеющие в своем составе универсальные машины и агрегаты. Следует также отметить, что надежность у таких технологических схем будет различной. Другой отрицательной особенностью рассматриваемого критерия является его ориентация на экстенсивные способы повышения основных технико-экономических показателей горноподготовительных работ, т. е. повышение темпов проведения выработок за счет роста числа проходчиков, занятых на выполнении немеханизированных трудоемких процессов и операций.

Упомянутый критерий позволяет давать сравнительную оценку схемам различного технологического уровня, однако в условиях пучения почв при проведении участковых подготовительных выработок необходимо учитывать ограничения, связанные с характером поведения слабометаморфизованного массива горных пород при динамическом воздействии подвижного состава на почву транспортных выработок.

Необходимо отметить, что в этот же период передовые зарубежные угледобывающие страны уже ориентировались на перспективные образцы горнопроходческого и транспортного оборудования.

С учетом вышеизложенного можно констатировать, что предшествующие фундаментальные исследования авторов не раскрывали в полной мере взаимосвязей между процессами очистных работ и проведением выработок, транспортированием горной массы и доставкой в забои вспомогательных материалов, оборудования, а также не предусматривали возможность адаптации технологических схем к условиям интенсификации горных работ в связи с внедрением горношахтного оборудования нового поколения.

Анализ производительной работы различных образцов горнопроходческого, транспортного оборудования и других средств механизации и их взаимодействия при ведении горноподготовительных работ показал, что результаты работы подготовительных забоев зависят не только от степени технического совершенства применяемых машин, но и от ряда незапланированных факторов.

Один из эффективных методов оценки параметров взаимодействия транспортно-технологических процессов при комбайновом проведении выработок приведен в работе [9]. Авторами впервые была исследована структура среднесменных показателей потерь времени производительной работы подготовительного забоя по вине транспорта. Цель исследований – поиск потенциальных источников повышения эффективности работы напочвенных видов транспорта, т. е., как и все предыдущие исследователи, авторы ориентировались на традиционно применяемые в отрасли транспортно-технологические схемы комбайнового проведения выработок и подготовки запасов угля к очистной выемке.

В ходе шахтных исследований нами было установлено, что при традиционных схемах и существующем уровне развития механизации комбайнового способа проведения выработок в структуру проходческого цикла входит большое число незапланированных простоев, связанных с выполнением трудоемких ручных процессов и операций. По результатам хронометражных наблюдений выявлено, что до 25 % рабочего времени проходческого звена связано с непроизводительной работой традиционно применяемого транспортного оборудования (рис. 2.1).

Например, при локомотивной откатке грузов по выработке незапланированные простои, как правило, обусловлены организационными факторами: ликвидация аварийных ситуаций в системе рельсового транспорта (3,52 %), ожидание порожняка (3,38 %), а также движение состава, который присоединен к резервному электровозу (8,88 %). Последнее связано с неэффективной работой системы внутришахтного транспорта, использующей парк аккумуляторных электровозов в протяженных выработках, искривленных в профиле и плане.

К основным организационным причинам нарушения графиков движения поездов следует отнести недостаточное количество электровозов и подвижного состава, отсутствие резерва аккумуляторных батарей и низкая их энергоемкость, а также неудовлетворительное состояние рельсового пути в связи с активным пучением почв и большой обводненностью подготовительных выработок.



Рис. 2.1. Результаты хронометражных наблюдений работы локомотивного транспорта в условиях шахты «Западно-Донбасская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»

По этой причине при подготовке и отработке запасов у границ шахтных полей, когда плечо откатки грузов достигает 5,0 – 6,0 км, электровоз, направленный с гаража горизонта для обслуживания подготовительного забоя, к концу рабочей смены не может выполнять работы по перемещению грузов и возникает необходимость использования резервного.

Подробный анализ работы традиционно применяемых на шахтах Западного Донбасса технологических схем комбайнового проведения выработок позволил выявить, что в условиях интенсификации горных работ наибольшее количество непроизводительных трудозатрат, сдерживающих своевременную подготовку запасов угля к очистной выемке, приходится на долю процессов, связанных с обеспечением пропускной способности транспортных выработок и ликвидацией последствий пучения пород почвы.

Под своевременной подготовкой запасов в условиях интенсификации горного производства понимается комплекс работ по подготовке нового выемочного столба, увязанный во времени и пространстве с очистными работами (проведение подготовительных выработок и разрезной печи, перемонтаж забойного оборудования из лавы в лаву без разбора на транспортные единицы, доставка материалов, людей и оборудования и т. д.).

Поскольку проведение подготовительных выработок является одной из основных составляющих в комплексе работ по подготовке нового выемочного столба к очистной выемке, то необходимо отметить и проанализировать основные факторы, оказывающие непосредственное воздействие на всю структуру проходческого цикла, в частности структуру призабойного транспорта.

К числу факторов, формирующих структуру объемов работ призабойного и транспорта по выработке, относятся угол наклона выработок, направление проходки (вверх, вниз), площадь сечения выработок, характер забоя (угольный, смешанный, породный), степень присечки и коэффициент разрыхления пород. Более того, при наличии участков со знакопеременным профилем пути, вызванным пучением пород почвы, необходимо учитывать дополнительные объемы породы, подлежащей вывозу после подрывки и перекрепления выработок. Последнее обусловлено необходимостью формирования дополнительных составов и согласования графика их движения с графиком выполнения работ в подготовительном забое.

Анализ фактических и расчетных показателей движения поездов при проведении протяженных наклонных выработок в условиях шахт ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» позволили установить, что численность вагонеток в составе, скорость и время его движения, а соответственно и величина грузопотока, обратно пропорциональны удалению забоя от устья выработки.

Результаты шахтных исследований и сравнительный анализ расчетных и фактических показателей темпов подготовки новых выемочных столбов в условиях активного пучения почв дают основание утверждать, что рекомендованная еще в 70-е годы прошлого столетия зависимость (1.1) между

темпами проведения подготовительных выработок и скоростью подвигания очистных забоев при интенсификации горных работ требует корректировки. Данная зависимость устанавливалась для комплексно-механизированных очистных забоев, работающих по индивидуальной пластовой подготовке выемочных столбов с суточной нагрузкой до 1000 т/сут. Особенностью такой схемы подготовки являлось наличие на шахте одного резервного комплекта очистного оборудования на пять-шесть действующих лав для своевременного выполнения монтажных работ в разрезной печи подготавливаемого выемочного столба. С внедрением механизированных комплексов нового поколения предусматривается, что в перспективе производственная мощность действующих шахт будет обеспечиваться работой одной-двух высоконагруженных лав. При таком соотношении теряется правомерность ранее установленных норм проектирования угольных шахт [8, 73, 74], согласно которым темпы проведения подготовительных выработок для своевременного обеспечения фронта очистных работ должны превышать на 25 % скорость подвигания лав. Несоответствие этого требования современным условиям разработки угольных пластов обусловлено тем, что на действующих шахтах транспортно-технологическая схема оснащения нового выемочного столба забойным оборудованием осуществляется не со склада комплекса поверхности шахты, а путем перемонтажа секций механизированной крепи из отработанной лавы в монтажную камеру без поузловой их разборки, т.е. по схеме, приведенной на рис. 2.2.

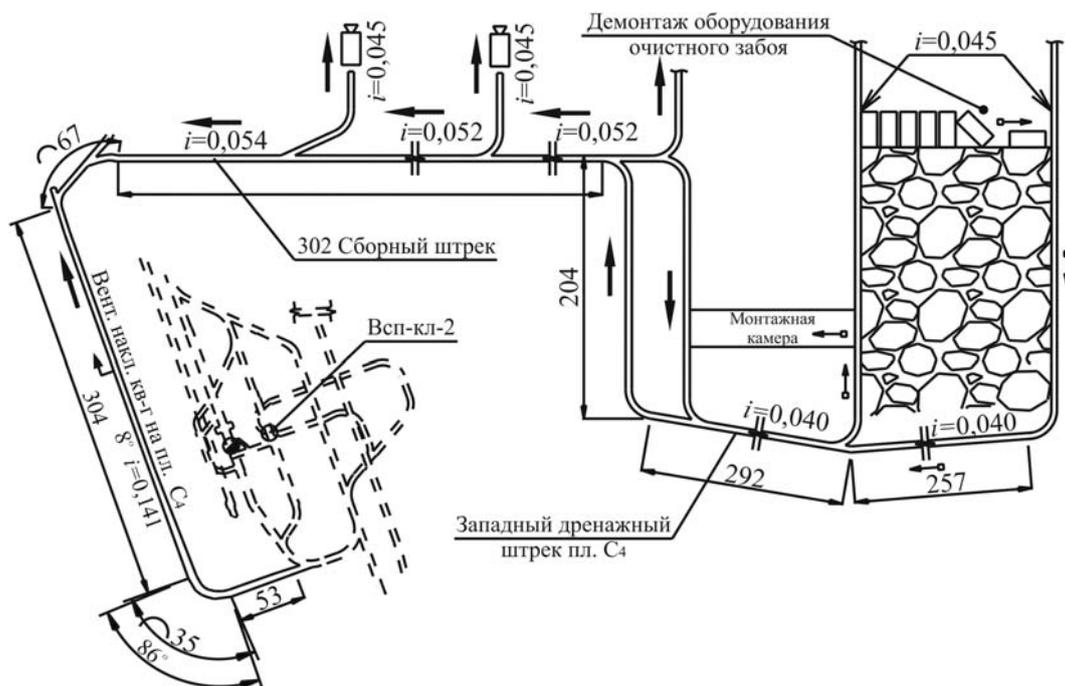


Рис. 2.2. Схема перемонтажа секций крепи из отработанной лавы в разрезную печь в условиях шахты Павлоградская ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»

Таким образом, для устранения дисбаланса между расчетными и реальными темпами проведения участковых подготовительных выработок в условиях пучения пород почвы в работе [9] предлагается вводить поправочный коэффициент  $p$ , предусматривающий необходимость повышения темпов их проведения для ликвидации вынужденных простоев подготовительных забоев по вине вспомогательного транспорта. Необходимо отметить, что поправочный коэффициент пропорционально изменяется с увеличением длины выработки и удалением подготовительного забоя от ее устья на каждые 200 – 250 м.

Исходя из приведенных предпосылок, минимально необходимые темпы проведения выработок для своевременного обеспечения фронта очистных работ в условиях интенсификации должны определяться выражением:

$$v \geq \frac{1,25 p A N L}{m \gamma L'}$$

где  $p$  – коэффициент, учитывающий увеличение скорости проведения выработок в связи с необходимостью компенсировать простои транспортных средств, связанных с поддиркой вспученных пород почвы, перекреплением повторно используемых выработок и ремонтом секций механизированной крепи из отработанного выемочного столба, подготавливаемого к очистной выемке, в разрезную печь (для шахт Западного Донбасса  $p = 1,1 - 1,15$ ;)  $A$  – минимальная среднесуточная нагрузка на очистной забой по условию окупаемости комплекса, т;  $N$  – количество рабочих дней в месяце, дн.;  $L$  – длина проводимых участковых выработок для подготовки выемочного столба, м;  $m$  – полезная вынимаемая мощность пласта, м;  $\gamma$  – плотность угля в массиве, т/м<sup>3</sup>;  $l$  – длина лавы, м;  $L'$  – длина выемочного столба по падению (восстанию) пласта, м.

Предварительными расчетами установлено, что в условиях интенсификации очистных работ минимально необходимые темпы проведения подготовительных выработок при прочих равных условиях должны быть увеличены в 1,25 – 1,45 раза по сравнению с рекомендуемыми в работах [3, 9]. Такое повышение темпов проведения подготовительных выработок необходимо для своевременной доставки демонтированного забойного оборудования в монтажную камеру нового выемочного столба.

Именно эти обстоятельства обусловили необходимость выполнения специальных исследований по обоснованию параметров энергосберегающих технологических схем вспомогательного транспорта на базе оборудования нового поколения, отличающегося от традиционного высокой адаптивной способностью при движении по искривленным в профиле и плане выработкам, обладающего высокой несущей способностью при выполнении монтажно-демонтажных работ и обеспечивающего своевременную подготовку запасов в условиях интенсификации горных работ.

## **2.2. Факторы, ограничивающие темпы подготовки запасов в условиях шахт Западного Донбасса**

В настоящее время на шахтах Западного Донбасса, ведущих добычу полезного ископаемого в сложных горно-геологических условиях, координация транспортно-технологических процессов остается трудно-разрешенной задачей. Этому способствует ряд горно-геологических, горнотехнических и организационных факторов, которые в различной степени сдерживают развитие и интенсификацию горных работ на угольных шахтах региона [70].

Общепринято, что в условиях интенсификации горного производства одним из факторов, определяющих увеличение добычи, является своевременная подготовка разведанных запасов. Как отмечалось ранее, планируемые темпы подготовки новых выемочных столбов определяются скоростью проведения участковых пластовых выработок, сроком их безремонтного содержания, а также пропускной способностью транспортных магистралей [49].

Таким образом, увеличение скорости проведения подготовительных участковых выработок с учетом всех факторов является одной из основных задач своевременной подготовки запасов к очистной выемке при интенсификации горных работ [70].

Последнее особо актуально при отработке запасов длинными столбами по падению (восстанию) в условиях активного пучения почв, когда проведение вентиляционных и сборных ходков осложняется необходимостью подрывки вспученных пород почв, ремонтом рельсового пути и перекреплением выработок. Экспертная оценка производственных ситуаций показала, что прогнозирование условий поведения транспортных выработок осложняется также невозможностью физического моделирования вышеуказанных процессов.

Из-за отсутствия комплексного подхода существующие способы теоретического моделирования, с помощью которых решается большинство задач геомеханики, не всегда эффективны из-за разнообразия факторов, влияющих непосредственно на технологию проведения подготовительных выработок в условиях активного пучения почв. Следовательно, разрешение того или иного вопроса приобретает смысл с учетом допущений в рамках какой-либо определенной модели. Более того, результат решения зависит от структуры этой модели и степени учета факторов, существенно влияющих на исследуемый процесс.

С целью выявления существующих обстоятельств, ограничивающих пропускную способность технологических схем транспорта при комбайновом проведении пластовых подготовительных выработок, на шахтах Западного Донбасса был выполнен анализ работы 88 подготовительных забоев. По результатам оценки производственных ситуаций и потерь времени установлено, что в 15 – 36 % случаев остановки подготовительных забоев причиной является нестабильная работа системы шахтного транспорта.

Для того чтобы установить причины остановки подготовительных забоев, применяемые в регионе схемы комбайнового проведения пластовых подготовительных участковых выработок, были классифицированы и сгруппированы по виду транспортного и горнопроходческого оборудования (табл. 2.1).

Таблица 2.1

**Классификация схем комбайнового проведения по виду применяемого транспортного оборудования**

Название шахты	Транспортно-технологическая схема проведения выработки (кол-во забоев)								
	ГПКС ↓ локомотивная откатка	ГПКС ↓ ДКН	ГПКС ↓ ЛВ-25	КСП-32 ↓ локомотивная откатка	КСП-32 ↓ ДКН	КСП-32 ↓ ЛВ-25	4ПП-2М ↓ локомотивная откатка	4ПП-2М ↓ ДКН	4ПП-2М ↓ ЛВ-25
Терновская	3	2	1	–	–	–	–	–	–
Павлоградская	2	9	–	–	–	–	–	–	–
Степная	–	–	6	4	–	–	3	–	1
Юбилейная	1	–	4	1	–	1 шт. (КСП-21)	1	–	–
Самарская	4	2	–	–	–	–	2	–	–
Днепровская	–	5	–	–	–	–	–	1	1
им. Героев Космоса	–	7	–	–	–	–	1	1	–
Западно- Донбасская	–	–	–	1 шт. (1П-110)	1+2 шт. (1П-110)	–	2	2	–
Благодатная	3	–	2	–	2	–	–	–	–
им. Сташкова	2	–	1	–	–	1	2	1	3

Установлено, что на шахтах Западного Донбасса обеспечение транспортом подготовительных забоев осуществляется следующим образом: 36,4 % проводимых выработках обслуживаются электровозами типа АМ8Д, 39,8 % забоев – ДКН и в 23,8 % откатка и доставка грузов выполняется одноконцевыми канатными установками.

Представленные нами в классификации комплекты проходческого и транспортного оборудования отражают реальный подход шахт к формированию технологических схем проведения участковых выработок для конкретного забоя с учетом его горно-геологических особенностей, накопленного опыта горнопроходческих работ и действующих в регионе указаний нормативных документов по проектированию [9].

Согласно действующим рекомендациям [4] для доставки грузов по участковым выработкам в зависимости от их пространственного расположения и горнотехнических условий ведения горных работ рекомендуется применять следующие средства напочвенных видов транспорта: локомотивную или канатную откатку (доставку); напочвенные канатные дороги; самоходные вагоны; специальные контейнеры и др. Целесообразность использования указанных видов вспомогательного транспорта определяется результатами расчетов их тяговых характеристик.

Необходимо отметить, что в условиях активного пучения пород почвы и интенсификации горного производства существующие рекомендации по подготовке запасов к очистной выемке не позволяют в полной мере учесть все составляющие технологического процесса проведения выработок в экстремальных условиях, так как явление пучения вмещающих пород до настоящего времени остается малоизученным, непрогнозируемым и практически не поддающимся процессам управления.

В этой связи современные транспортно-технологические системы комбайнового проведения участковых подготовительных выработок должны учитывать не только особенности применяемых видов проходческого и транспортного оборудования, но и предусматривать специфику горного производства в любых горно-геологических условиях.

Вышеизложенное обусловило необходимость проведения экспертной оценки применяемых в регионе способов подготовки запасов угля к очистной выемке с учетом особенностей действующих схем комбайнового проведения выработок и средств вспомогательного транспорта.

Сравнительная оценка технологичности традиционно применяемых транспортно-технологических схем комбайнового проведения участковых подготовительных выработок осуществлялась методом экспертных оценок. Для выполнения количественной и качественной их оценки показатели технологичности были систематизированы на группы согласно используемому в забоях проходческому и транспортному оборудованию [75].

При выборе способа доставки вспомогательных материалов и транспортировании горной массы по участковым пластовым выработкам каждому из параметров оценки присваивается определенный символ:  $i_1$  – типовая схема комбайнового проведения;  $i_2$  – наименование выработки;  $i_3$  – мощность пласта;  $i_4$  – угол падения;  $i_5$  – наличие включений, пропластков;  $i_6$  – опасность по внезапным выбросам;  $i_7$  – относительная газообильность;  $i_8$  – длина выработки;  $i_9$  – водопритоки;  $i_{10}$  – гипсометрия почвы выработки;  $i_{11}$  – состояние боковых пород;  $i_{12}$  – плотность горной массы;  $i_{13}$  – схема работы комбайна;  $i_{14}$  – величина подвигания забоя за цикл;  $i_{15}$  – шаг установки крепи;  $i_{16}$  – площадь сечения выработки в проходке;  $i_{17}$  – частота подрывки;  $i_{18}$  – коэффициент оборачиваемости вагонеток;  $i_{19}$  – расход материалов;  $i_{20}$  – состояние рельсового пути;  $i_{21}$  – суточный режим работы подготовительного забоя;  $i_{22}$  – система контроля графика поступления материалов;  $i_{23}$  – наличие промежуточных звеньев в транспортной цепи;  $i_{24}$  – численность проходческого звена;  $i_{25}$  – технология обмена вагонеток.

В соответствии с рекомендациями [75] результаты экспертной оценки транспортно-технологических схем участковых пластовых выработок, ранжирование факторов (вариантов показателей) были сведены в таблицу-матрицу (табл. 2.2).

В соответствии с разработанной методикой в оценке каждого эксперта выделялись различные нестандартные производственные ситуации, на базе которых формировались транспортно-технологические проблемы и задачи их исследований.

### Ранжирование факторов транспортно-технологических схем участковых пластовых выработок

Параметры оценки	Транспортно-технологическая схема проведения выработки								
	ГПКС ↓ локомотивная откатка	ГПКС ↓ ДКН	ГПКС ↓ ЛВ-25	КСП-32 ↓ локомотивная откатка	КСП-32 ↓ ДКН	КСП-32 ↓ ЛВ-25	4ПП-2М ↓ локомотивная откатка	4ПП-2М ↓ ДКН	4ПП-2М ↓ ЛВ-25
$i_1$	9	10	7	9	11	8	9	10	8
$i_2$	7	6	6	9	8	8	8	7	7
$i_3$	7	7	7	9	9	9	8	8	8
$i_4$	3	6	6	4	8	8	4	7	7
$i_5$	6	7	7	9	9	9	8	8	8
$i_6$	6	7	7	10	10	9	7	8	8
$i_7$	8	9	8	9	8	8	7	7	7
$i_8$	10	7	7	11	7	7	11	7	7
$i_9$	8	9	9	8	10	10	8	10	10
$i_{10}$	2	3	3	2	3	3	2	3	3
$i_{11}$	7	7	7	8	8	8	8	8	8
$i_{12}$	8	8	8	11	11	11	10	10	10
$i_{13}$	9	9	9	11	11	11	10	10	10
$i_{14}$	8	9	9	8	9	9	8	9	9
$i_{15}$	8	8	8	8	8	8	8	8	8
$i_{16}$	7	7	7	10	10	10	9	9	9
$i_{17}$	10	11	12	10	11	12	10	11	12
$i_{18}$	8	8	8	10	10	10	9	9	9
$i_{19}$	9	9	9	9	9	9	9	9	9
$i_{20}$	9	9	9	11	11	11	10	10	10
$i_{21}$	6	7	6	7	8	7	7	8	7
$i_{22}$	5	6	5	6	7	6	5	6	5
$i_{23}$	7	7	6	6	6	5	6	5	5
$i_{24}$	6	5	5	6	5	5	6	5	5
$i_{25}$	3	3	3	5	5	5	5	5	5
$\Sigma_i$	176	184	178	206	212	206	192	197	194

По результатам экспертной оценки действующих в регионе технологических схем комбайнового проведения выработок установлено, что в горно-геологических условиях Западного Донбасса наиболее эффективной является транспортно-технологическая схема проведения выработок комбайном КСП-32 в сочетании с ДКН.

Однако детальный анализ работы подготовительных забоев с применением приведенного комплекта горнопроходческого оборудования показал разнообразие технико-экономических показателей проведения выработок. Шахтными исследованиями установлено, что в реальных условиях на скорость проведения подготовительных участковых выработок наиболее существенно влияют горно-геологические, горнотехнические и организационные факторы, характерные только для данной транспортно-технологической схемы. Эти специфические факторы были условно разделены на две категории: основные и случайные.

Для дальнейшего анализа рассматриваемых транспортно-технологических схем из табл. 2.2 были выделены основные и случайные факторы, наиболее существенно влияющие на скорость проведения горизонтальных подготовительных участков выработок. К основным отнесены:  $i_{16}$  – сечение выработки;  $i_8$  – длина транспортирования (длина выработки);  $i_{13}$  – схема выемки;  $i_7$  – газообильность транспортной выработки;  $i_3$  – мощность пласта;  $i_{20}$  – колебания профиля трассы транспортного средства;  $i_{17}$  – изменчивость оси выработки;  $i_9$  – обводненность транспортной выработки;  $i_{14}$  – скорость установки временной и постоянной крепи;  $i_{18}$  – количество транспортных единиц.

К случайным факторам можно отнести скорость выполнения работ, связанных с ликвидацией аварийных ситуаций и проявлений горного давления, а также:  $i_{11}$  – температуру и влажность вмещающих пород;  $i_{10}$  – величину и частоту пучения почвы выработки;  $i_{21}$  – величину деформации арочной крепи;  $i_{22}$  – коэффициент неравномерности грузопотока.

Существенное влияние на темпы проведения выработок оказывает фактор профессиональной подготовки горнорабочего подготовительного забоя.

Исходя из вышесказанного и учитывая динамику изменения состояния горного массива, была выдвинута гипотеза, что темпы комбайнового проведения подготовительных выработок зависят от взаимного влияния множества горно-геологических, технологических, организационных и других факторов, определяющих ту или иную схему призабойного транспорта и транспорта по выработке. В условиях интенсификации горного производства возникает необходимость комплексного подхода к решению задач своевременного обеспечения фронта очистных работ, который предусматривает анализ, моделирование, синтез и выявление факторов, оказывающих существенное воздействие на процессы проведения выработок в сложных горно-геологических условиях.

Необходимо отметить, что при рассмотрении основных факторов (табл. 2.2), наиболее существенно влияющих на процессы комбайнового проведения выработок, традиционно применяемые транспортно-технологические схемы были представлены в виде гипотетической модели (рис. 2.3), отражающей совокупность технологических параметров ( $v_1 \dots v_9$ ) для конкретных горно-геологических и горнотехнических условий ( $a_{1,n} \dots l_{1,n}$ ) шахт Западного Донбасса.

Для оценки представленной выше проблемы вполне приемлема и решаема модель факторного анализа, которая является достаточно хорошим приближением ко многим реальным ситуациям горного производства [76, 77]. Эту модель можно представить как уравнение множественной регрессии:

$$V_i = A_{i,1}F_1 + A_{i,2}F_2 + A_{i,3}F_3 + \dots + A_{i,k}F_k + U, \quad (2.2)$$

где  $V_i$  – значение  $i$ -й переменной;  $A_i$  – регрессионные коэффициенты;  $F_{1..k}$  – факторы, общие для всех переменных;  $U$  – фактор, характерный только для переменной  $V_i$ .

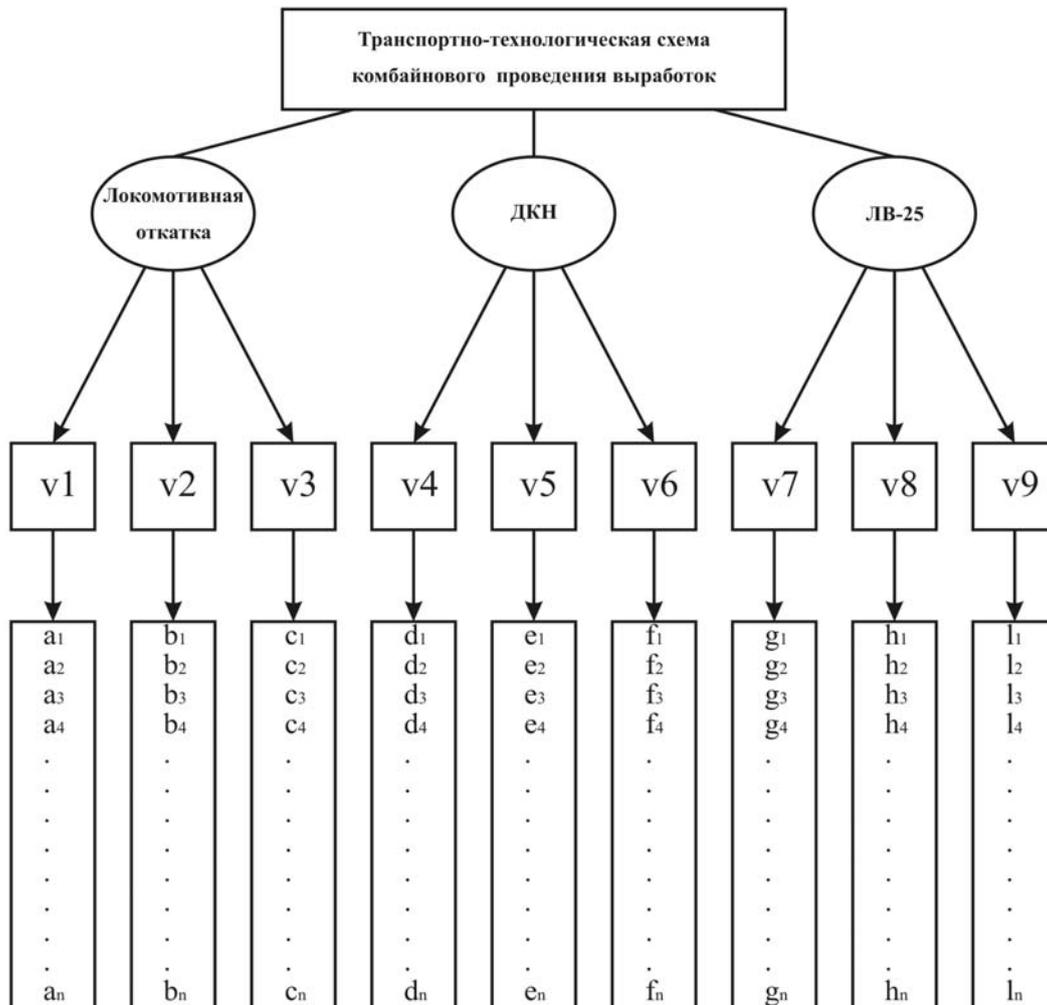


Рис. 2.3. Гипотетическая модель технологических схем проведения выработок с традиционными видами рельсового транспорта

Сущность уравнения (2.2) выражается в том, что каждая переменная может быть представлена, с одной стороны, в виде суммы вкладов каждого из вышеперечисленных факторов. С другой – аналогичным образом каждый из  $k$  факторов выражается в виде линейной комбинации наблюдаемых переменных:

$$F_j = W_{j,1}V_1 + W_{j,2}V_2 + W_{j,3}V_3 + \dots + W_{j,p}V_p,$$

где  $W_{j,i}$  – значение  $j$ -го фактора на  $i$ -ю переменную или факторные нагрузки,  $p$  – количество переменных.

Наиболее эффективной формой представления и обработки экспериментальных данных является матрица, столбцы которой соответствуют различным параметрам и свойствам, а строки – отдельным объектам, явлениям, режимам, описываемым набором конкретных значений параметров. В рассматриваемом случае перечисленные выше факторы, оказывающие влияние на скорость проведения выработок, занесены в матрицу как параметры

(строки), а конкретные их значения для горнотехнических условий – в столбцы. Результатом вышеупомянутых действий является матрица смешения и на ее основе – корреляционная матрица.

Корреляционная матрица рассчитывается, как правило, с использованием коэффициента линейной корреляции Пирсона. Следует отметить, что при достаточном числе наблюдений коэффициент линейной корреляции Пирсона довольно устойчив к использованию при расчетах результатов порядковых измерений. Кроме того, используя компьютеризированную процедуру, которая широко применяется в ряде современных статических программ, с помощью факторного анализа можно получить представительное качественное решение поставленной задачи.

Таким образом, в матричной форме математическое решение – отображение факторизации корреляционной матрицы – можно представить в виде [76, 77]:

$$R = F + F' ,$$

где  $R$  – редуцированная корреляционная матрица;  $F$  – факторная редуцированная матрица;  $F'$  – факторная транспонированная матрица.

Редуцированная корреляционная матрица – это матрица попарных корреляций наблюдаемых переменных, где на главной диагонали лежат не единицы, а значения, соответствующие влиянию только общих для этих переменных факторов. Аналогично факторная редуцированная матрица есть не что иное, как факторные нагрузки только общих факторов.

Таким образом, для решения поставленной задачи с помощью факторного анализа необходимо учесть, что процедура факторизации заключается в переходе от матрицы смешения к корреляционной и далее к матрице факторных нагрузок и построению факторной диаграммы [76, 77].

Конечной целью решения поставленной задачи с применением факторного анализа является выделение и уменьшение количества факторов, которые оказывают наибольшее влияние на увеличение скорости проведения подготовительных участковых выработок, т. е. оценка гипотезы минимального значения общих факторов, которые оптимально воспроизводят имеющиеся корреляции.

Альтернативой в данном случае может служить распространенный пакет «STADIA», с помощью которого можно легко обработать и графически отобразить результаты расчетов.

Для этого представленные выше значения величин экспертной оценки (табл. 2.2) вводим как исходные данные для расчета (рис. 2.4).

STADIA 6.2/demo (C) Кулаичев А.П., 1996,2000  
 Файл График=F6 Вычисл=F7 Преобр=F8 Статист=F9 Окна Помощь=F1  
 Таблица данных

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
1	7	7	7	9	9	9	8	8	8
2	8	9	8	9	8	8	7	7	7
3	10	7	7	11	7	7	11	7	7
4	8	9	9	8	10	10	8	10	10
5	2	3	3	2	3	3	2	3	3
6	7	7	7	8	8	8	8	8	8
7	9	9	9	11	11	11	10	10	10
8	8	9	9	8	9	9	8	9	9
9	7	7	7	10	10	10	9	9	9
10	10	11	12	10	11	12	10	11	12
11	8	8	8	10	10	10	9	9	9
12	9	9	9	11	11	11	10	10	10
13	6	7	6	7	8	7	7	8	7
14	5	6	6	6	7	6	5	6	5
15									

Дат Rez Gr1 Gr2 Gr3

Рис. 2.4. Таблица исходных данных

После этого производим расчет при помощи функции F9 (факторный анализ).

В современных компьютерных статических программах используются различные методы факторизации корреляционной матрицы, но наиболее старым и часто используемым остается метод главных факторов (главных осей).

После проведения компьютерного расчета матрицы факторных нагрузок необходимо определить минимальное число факторов, в данной задаче это факторы, наиболее влияющие на скорость проведения подготовительных участковых выработок (рис. 2.5).

В процессе расчета возникает потребность в определении величины собственного значения каждого фактора. Как отмечалось в работах [76, 77] выделение значимости факторов заканчивается, когда после резкого падения величины собственные значения изменяются незначительно и график принимает вид горизонтальной линии (рис. 2.6).

Другой не менее важный расчетный показатель значимости каждого фактора – процент объясняемой дисперсии переменных, содержащихся в корреляционной матрице. Задача заключается в том, чтобы выбрать некоторое минимальное количество факторов, согласно которым можно объяснить достаточно большой процент всей дисперсии переменных. В ходе выполнения этих двух требований должно соблюдаться следующее условие – суммарное влияние основных факторов на весь процесс в целом составляет 70 – 85 % [76, 77].

Далее можно графически отобразить факторы, наиболее влияющие на процесс проведения выработок до и после процедуры вращения осей (рис. 2.7).

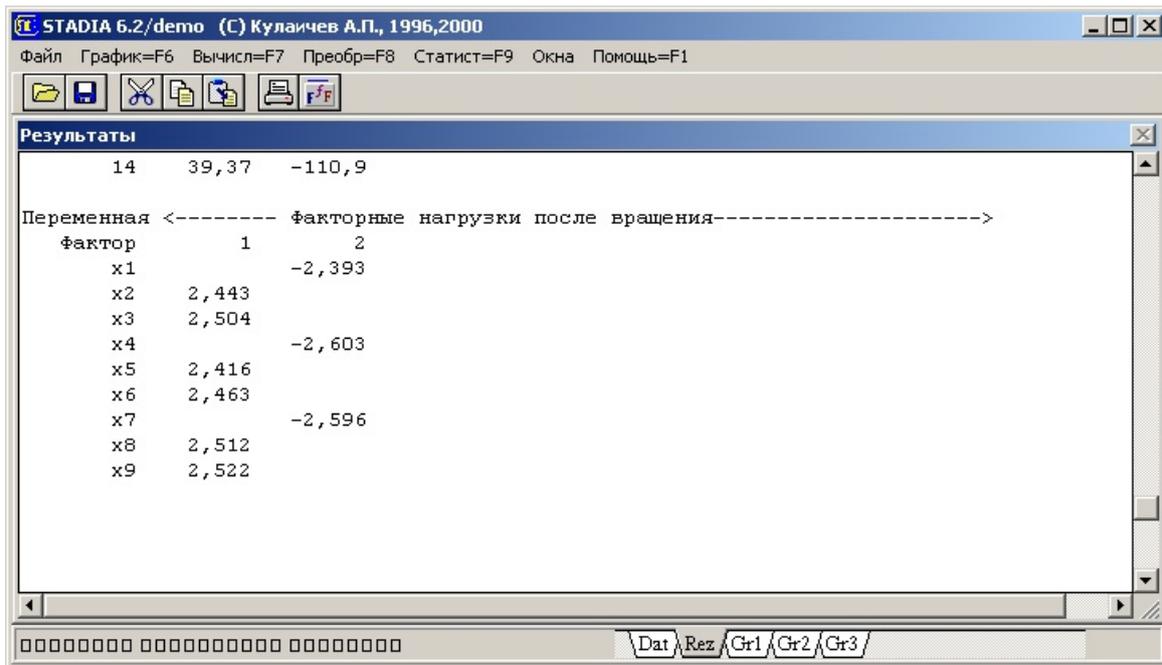


Рис. 2.5. Результаты расчетов

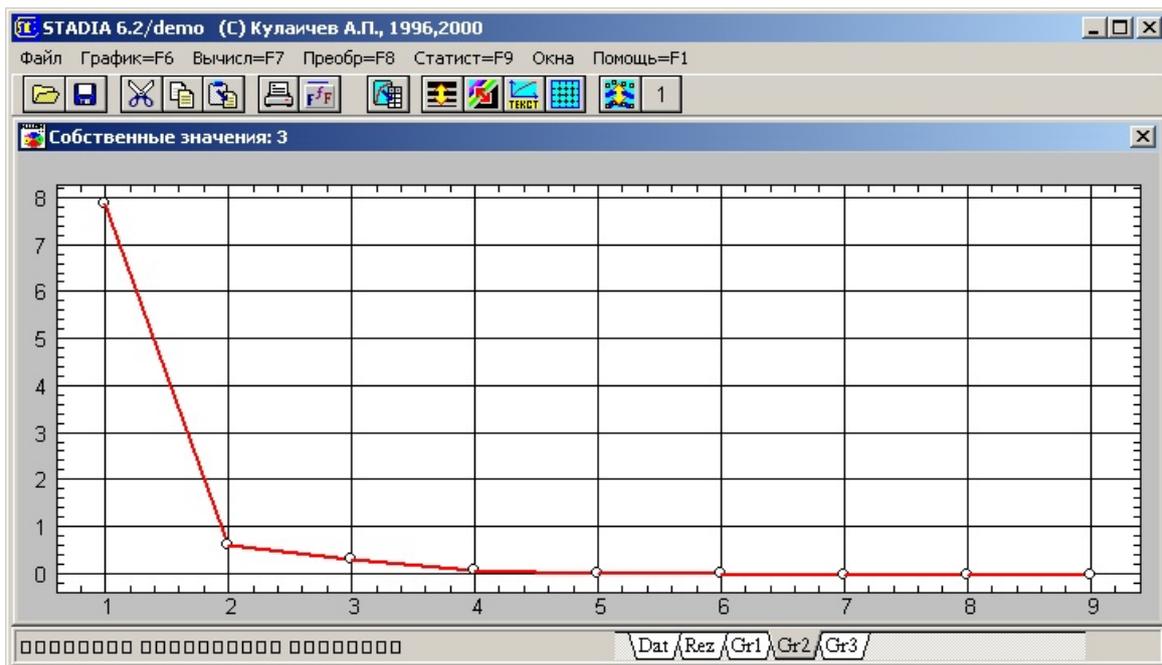


Рис. 2.6. Величины собственного значения каждого фактора при расчете девяти переменных

По результатам анализа и синтеза полученных расчетных и графических данных установлено, что наибольшее влияние на темпы проведения участковых подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса и их пропускную способность оказывают факторы, связанные с необходимостью ликвидации последствий пучения пород почвы (табл. 2.2,  $i_{17}$ ).

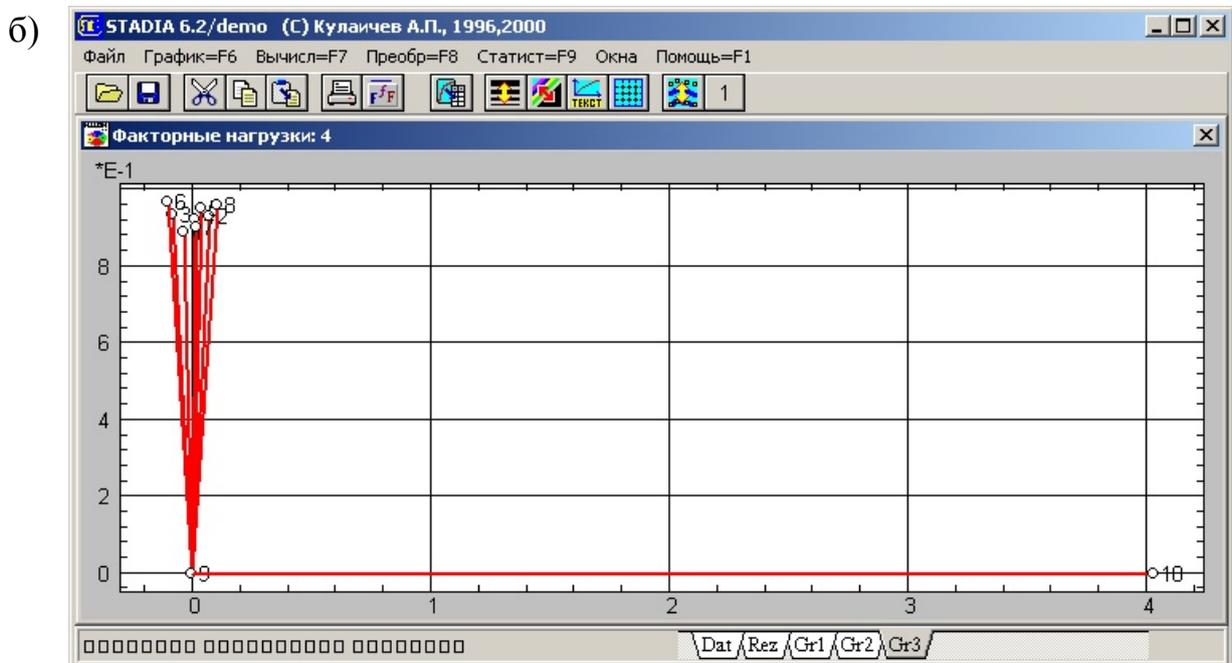
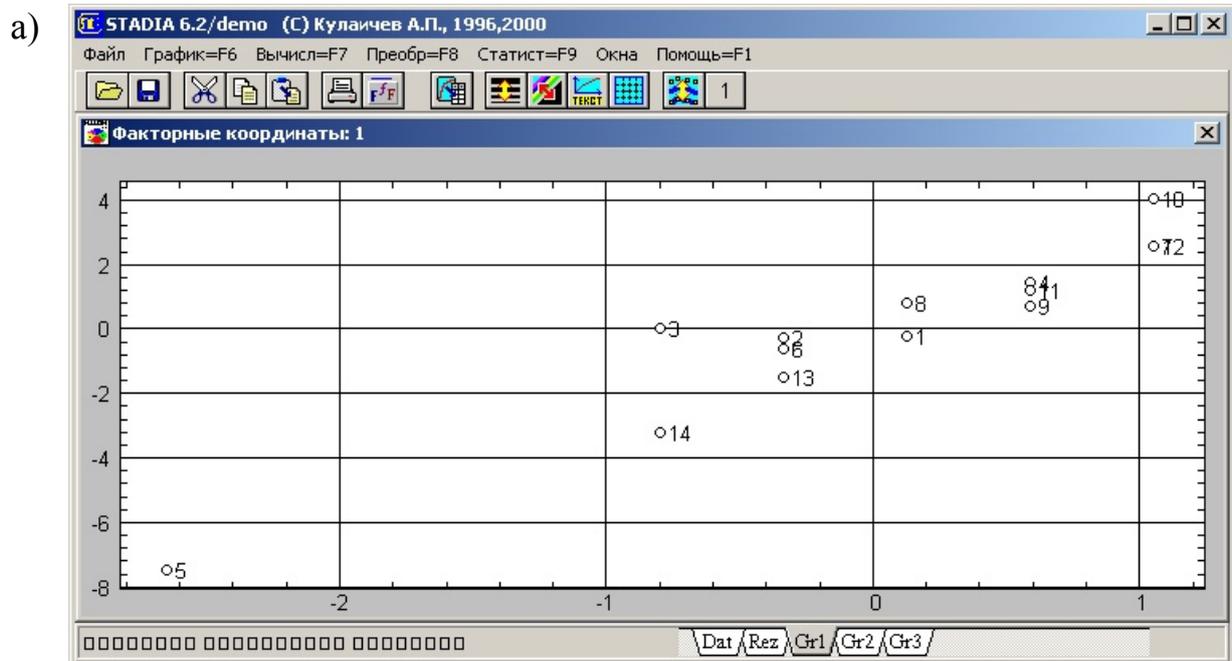


Рис. 2.7. Распределения в корреляционном поле факторов, влияющих на процесс комбайнового проведения выработок до (а) и после (б) процедуры вращения

Следовательно, можно сделать вывод, что при пучении пород почвы в технологическом процессе проведения участковых подготовительных выработок наблюдается нестабильность работы рельсовых видов транспорта и, как следствие, снижение скорости проходки и увеличение времени подготовки выемочных столбов.

Обусловлено это низкой адаптационной способностью действующих технологических схем и традиционно применяемых рельсовых видов транспорта при проведении подготовительных выработок в условиях активного пучения пород почвы.

Анализируя факторы, ограничивающие пропускную способность выработок с напочвенными видами транспорта, можно констатировать, что выходом из сложившейся в отрасли ситуации является создание технологических схем вспомогательного транспорта на базе применения нетрадиционного оборудования с повышенной адаптационной способностью, которое будет обеспечивать эффективную работу системы в сложных горно-геологических условиях.

Зарубежный опыт комбайнового проведения горных выработок свидетельствует, что в условиях активного пучения пород почвы в качестве основного вида вспомогательного транспорта применяют подвесные монорельсовые дороги (ПДМ). Подобные технологические схемы широко используются на шахтах Германии, Чехии, Польши, они обеспечивают оперативность доставки материалов и оборудования. На некоторых шахтах ЮАР и США монорельсовый транспорт применяется также как основной для транспортировки полезного ископаемого [78].

Необходимо отметить, что на действующих шахтах Украины область применения ПДМ ограничена. Используются они лишь на стабильно работающих шахтах Центрального и Восточного Донбасса.

Обусловлено это недостаточным опытом эксплуатации данного вида вспомогательного транспорта, отсутствием исследований эксплуатационных параметров монорельсовых дорог и технико-экономического обоснования области эффективного их применения.

Исходя из этих позиций нами была выполнена оценка эксплуатационных показателей работы подвесных монорельсовых дорог на шахтах Красноармейского региона Донбасса с целью выявления факторов, ограничивающих область их эффективного применения. Установлено, что стабильные шахты региона используют зарубежную технику. Например, шахта им. Стаханова ОАО «Красноармейскуголь» в выработках со сложными горно-геологическими условиями и высокими темпами ведения горных работ в качестве вспомогательного транспорта использует дизельную подвесную монорельсовую дорогу фирмы Ferrit (Чехия).

Вспомогательный транспорт ОАО «Шахтоуправление «Покровское» представлен подвесными шахтными канатными монорельсовыми дорогами ДКМЛ, 6ДМКУ (ОАО «Луганскгормаш»), KSP-32 (Pioma – Польша) и др.

Необходимо отметить, что все монорельсовые дороги основаны на общих принципах перемещения укрупненных грузовых единиц по монорельсу, состоящему из отдельных звеньев длиной 2,4...3,0 м, скрепленных специальными замковыми соединениями. Комплекуются монорельсовые дороги приводной станцией и подвижным составом, состоящим из тележек и специальных платформ [79].

В зависимости от функционального назначения выработок и вида крепи звенья монорельса могут крепиться к верхнякам или ножкам рамной крепи или непосредственно к кровле выработки при анкерном креплении. В вентиляционных выработках трасса монорельса преимущественно располагается по центру выработки, а в транспортных, закрепленных арочной крепью, место крепления монорельса к верхняку крепи определяется видом основного транспортного средства и местом его расположения относительно сечения выработки.

Несмотря на высокие технические характеристики, рекламируемые заводами-изготовителями монорельсовых дорог, применение данного вида вспомогательного транспорта на шахтах Красноармейского региона Донбасса вызывает ряд проблем при его эксплуатации. К основным факторам, ограничивающим область эффективного применения ПДМ, прежде всего относятся отклонение скорости перемещения грузовых единиц от проектных показателей и, как следствие, времени доставки грузов к очистным и подготовительным забоям.

Хронометражными замерами эксплуатационных параметров монорельсовых дорог, проведенными нами в выработках с подвесной монорельсовой дорогой, установлено, что процесс перемещения грузовых единиц характеризуется многократным снижением скорости перемещения подвижного состава с 1,2 до 0,5 м/с. При этом время доставки грузов увеличивается в 1,3...1,6 раза по сравнению с расчетными показателями.

По результатам экспертной оценки условий транспортирования грузов в участковых выработках выявлено [57], что основными причинами неравномерности перемещения подвижного состава являются: знакопеременный профиль трассы; отклонение габаритов и веса грузовых единиц от нормативных показателей; изменение влажности и температуры воздуха в выработке, а также нестандартные (аварийные) ситуации, возникающие в процессе перевозки грузов.

Оценка функционального состояния участковых подготовительных выработок, оборудованных ПДМ, показала, что максимальные искривления профиля трассы наблюдаются в зонах активного расслоения пород кровли. Как правило, эти зоны располагаются над «несущими арками» – рамами арочной крепи, к которым крепятся сопрягаемые звенья монорельса (рис. 2.8).

Инструментальными замерами нами зафиксировано, что в процессе обыгрывания «несущих арок», движущихся в результате движения пород кровли, величина деформации элементов арочного крепления «несущих арок» на 90...140 мм больше, чем в «рядовых арках», располагаемых в средней части сопрягаемых звеньев монорельса (рис. 2.9).

В связи с этим возникает необходимость определения величин деформации арочной крепи для своевременного прогнозирования зон активного проявления горного давления и проведения мероприятий, направленных на их предупреждение, а также на повышение эксплуатационной надежности подвесных монорельсовых дорог.



Рис. 2.8. Состояние крепи подготовительной выработки в зонах активного смещения пород кровли

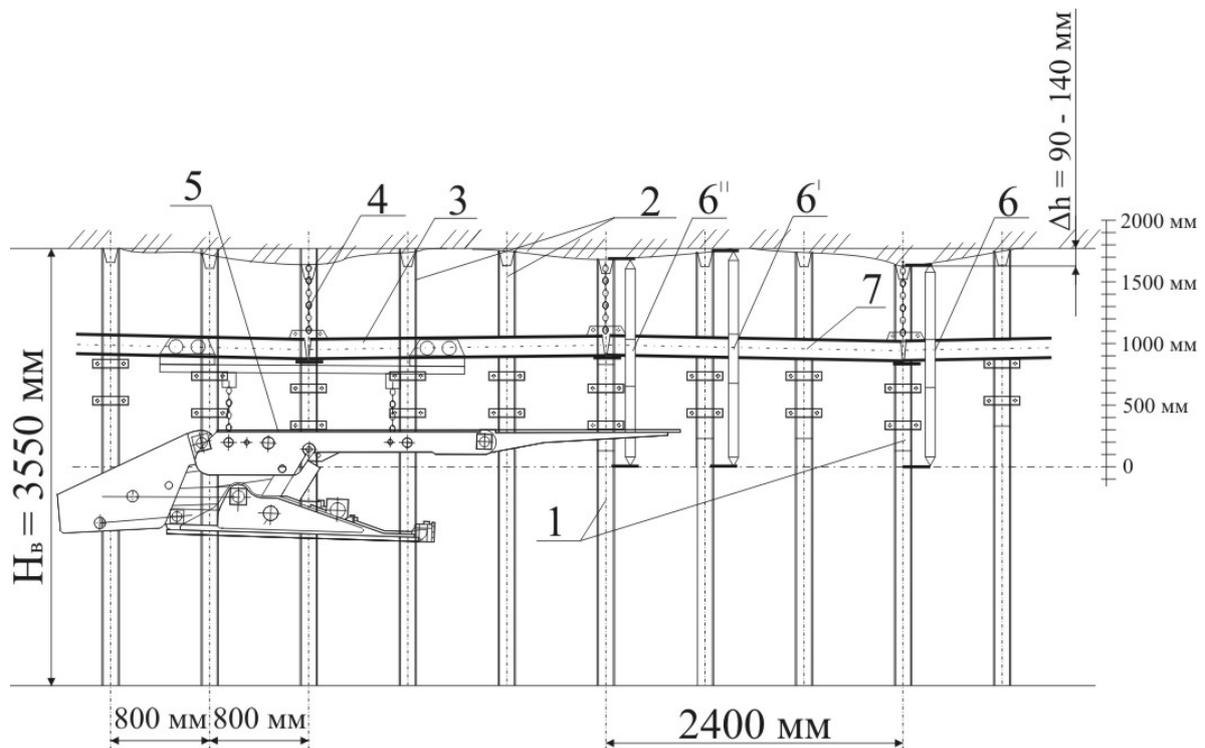


Рис. 2.9. Характер изменения податливости элементов арочной крепи в выработках, оборудованных подвесными монорельсовыми дорогами:

- $H_B$  – проектная высота крепи выработки;
- $\Delta h$  – величина абсолютной деформации пород кровли;
- 1 – несущие арки крепи; 2 – рядовые арки крепи;
- 3 – монорельс; 4 – подвеска монорельса;
- 5 – транспортная единица подвижного состава;
- 6 – 6<sup>I</sup> – 6<sup>II</sup> – замерные станции; 7 – ось профиля монорельса

Результаты моделирования условий взаимодействия сопрягаемых звеньев монорельса с элементами арочной крепи при прохождении подвижного состава показали, что процесс перемещения укрупненных грузовых единиц монорельсовыми дорогами в выработках с арочной крепью необходимо рассматривать как единую взаимодействующую систему «боковые породы – арочная крепь – подвижной состав».

На рис. 2.10 приведено типовое сечение горной выработки, закрепленной арочной крепью и оборудованной подвесной монорельсовой дорогой.

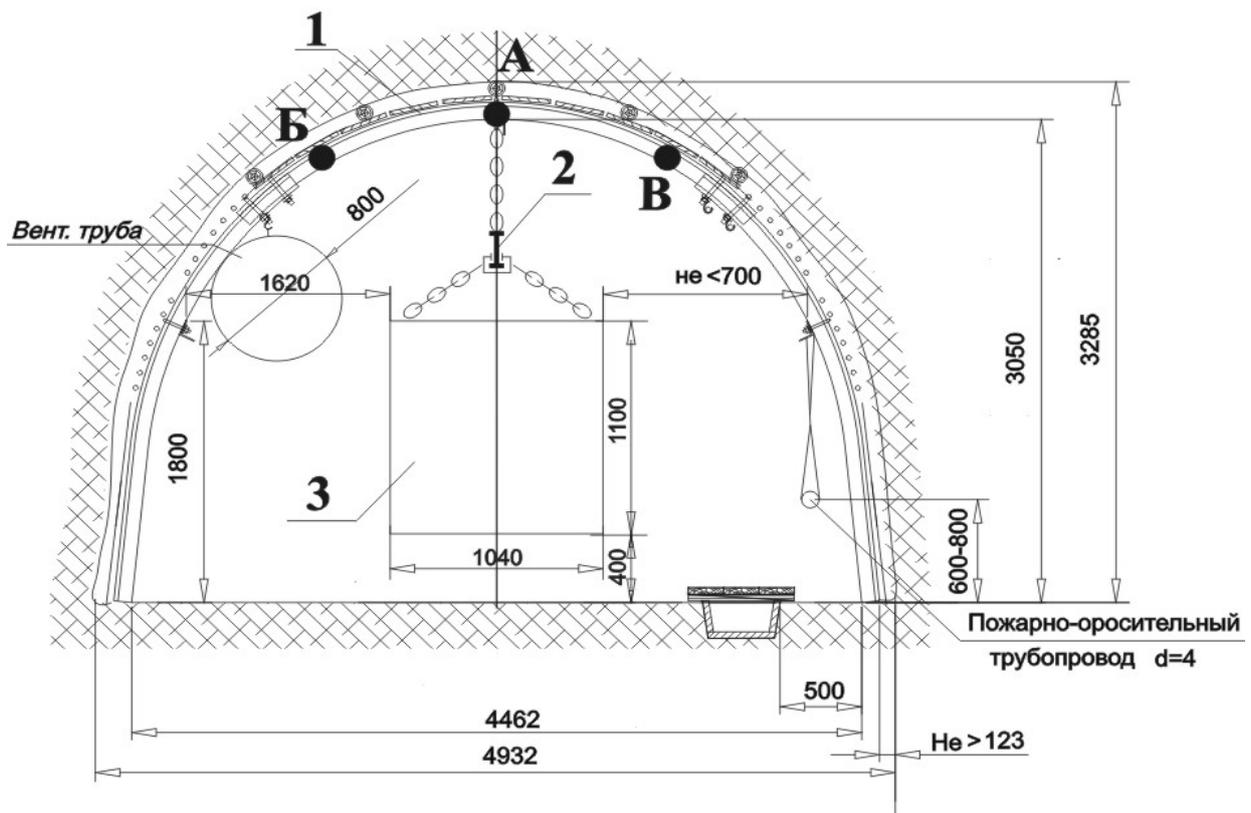


Рис. 2.10. Типовая схема размещения ПДМ в подготовительной выработке:

А, Б, В – места возможного закрепления монорельса ПДМ на раме арочной крепи; 1 – верхняк арочной крепи; 2 – монорельс; 3 – подвижной состав

Связующим звеном взаимодействующих элементов системы «боковые породы – арочная крепь – подвижной состав» является узел сопряжения монорельса 2 с верхняком 1 арочной крепи.

Шахтными исследованиями выявлено, что поведение этой системы, в отличие от классической «крепь – горный массив», будет определяться не только состоянием пород кровли и несущей способностью крепи, но и параметрами подвижного состава и, что весьма важно, местом закрепления монорельса на раме крепи. Последнее обусловлено тем, что несущим элементом рассматриваемой нами системы является верхняк арочной крепи, на

который, с одной стороны, действуют статические силы горного давления, а с другой – силы, вызванные динамикой движения подвижного состава монорельсовой дороги. В зависимости от характера проявления горного давления, места и способа закрепления монорельса на верхняке «несущей арки», крепь неадекватно будет испытывать динамические нагрузки от движения подвижного состава и передавать их массиву горных пород.

### **2.3. Принципы адаптации схем вспомогательного транспорта к условиям подготовки запасов шахт Западного Донбасса**

Стратегия дальнейшего развития горных работ на шахтах Западного Донбасса реализуется в последовательной подготовке и отработке разведанных запасов и адаптивном управлении процессами подземной добычи угля. В настоящее время большинство шахт региона дорабатывают ранее разведанные запасы, поэтому для продления жизненного цикла осуществляется прирезка дополнительных запасов. Прирезаемые запасы, как правило, расположены за сбросами, то есть за пределами действующих шахтных полей, в слаборазведанных участках месторождения с многочисленными геологическими нарушениями горных пород, преимущественно склонных к вязкопластическому течению и выдавливанию в выработки при действии горного давления. В подобных условиях разработки пластов планируемые технико-экономические показатели добычи угля должны базироваться на оптимальном управлении технологическими процессами горного производства и геомеханическом обеспечении горных работ.

Ориентация шахт на внедрение механизированных очистных комплексов нового поколения вскрыла накопившиеся проблемы вспомогательного транспорта. В рекомендациях по интенсификации очистных работ отмечается, что системы подземного транспорта должны учитывать любые изменения технологических процессов добычи угля, быть высокоадаптивными и ориентированными на снижение энергозатрат и сохранение качества грузов, транспортируемых по горным выработкам [70]. Однако на практике процесс адаптации транспортных средств к реальным условиям эксплуатируемых выработок осуществляется путем увеличения числа конвейеров в цепи основного грузопотока и длины маршрутов рельсового транспорта, что приводит к повышению энергозатрат на транспортирование угля, материалов и оборудования.

Преобладающий на шахтах Западного Донбасса способ подготовки и отработки запасов длинными столбами по восстанию и падению требует проведения большого объема участковых подготовительных выработок – бортовых и сборных ходков. Общеизвестно, что в сложных горно-геологических условиях залегания угольных пластов геомеханическое обеспечение технологической подготовки горных работ основывается на прогнозе и оценке состояния объектов, участвующих в процессах подземной добычи угля.

Выполненная оценка состояния горноподготовительных работ показала, что особенности эксплуатации наклонных выработок порождают проблемы вспомогательного транспорта, которые отмечаются практически на всех этапах горного производства: при проведении пластовых выработок, ведении очистных работ, монтаже секций механизированной крепи в подготавливаемых лавах, а также в процессе перекрепления выработок для повторного их использования.

Более того, с удалением горных работ к границам шахтных полей надежность технологических схем вспомогательного транспорта значительно снижается не только в участковых, но и в магистральных выработках. Обусловлено это тем, что действующие и проектируемые схемы грузопотоков ориентированы на применение традиционных видов рельсового транспорта – электровозы АМ8Д и концевую канатную откатку грузов. При длине трасс более 3000 м в аналогичных условиях эксплуатации пропускная способность выработок с локомотивной доставкой вспомогательных материалов оказалась наиболее энергоемкой, малоэффективной, а в отдельных ситуациях – невозможной. В похожих случаях традиционные схемы вспомогательного транспорта при интенсификации процессов добычи угля не обеспечивают планируемые темпы проведения участковых наклонных выработок, что приводит к срыву графиков подготовки новых выемочных столбов.

С целью получения исходных данных для обоснования высокоадаптивной системы вспомогательного транспорта, ориентированной на развитие горных работ, в настоящей монографии разработана программа оценки состояния объектов горнотехнической обстановки и процессов горного производства.

Понятие адаптивности технологической системы вспомогательного транспорта рассматривается несколько шире, чем ее надежность, так как предусматривает возможность изменения своей структуры, а также алгоритма функционирования системы в целом.

Оценка горнотехнических условий работы действующих звеньев подземного транспорта показала, что для перехода геологических нарушений вскрывающие и подготавливающие выработки проектируются искривленными в профиле и плане, а участковые подготовительные выработки, как правило, проводятся по пластам с волнистой гипсометрией и активным пучением пород почвы.

Многообразие горно-геологических условий и ограниченная адаптация традиционных средств вспомогательного транспорта обусловили необходимость проведения комплексного анализа и синтеза всех элементов технологической подготовки фронта очистных работ. С этой позиции технологическая подготовка фронта очистных работ рассматривается как система, состоящая из множества взаимодействующих подсистем, связующим элементом которых является вспомогательный транспорт, представленный единым транспортным средством для всех подсистем.

По рекомендациям специалистов [9], на отдельных шахтах региона для своевременной подготовки выемочных столбов вместо локомотивной откатки успешно применяют напочвенные канатные дороги, которые действуют в качестве единого транспортного средства как при проведении участковых выработок, так и при повторном использовании сборных ходков действующих лав. Однако в последнем случае на состояние пластовых выработок, поддерживаемых в границах выемочного поля, существенное влияние оказывают не только геомеханические процессы, связанные с устойчивостью крепи подготовительных выработок в зоне влияния очистных работ, но и состояние рельсового пути. Из-за знакопеременного профиля пути применение напочвенных средств вспомогательного транспорта становится проблематичным.

Однако при повторном использовании сборных ходков в условиях активного пучения почв адаптационные возможности напочвенных средств вспомогательного транспорта заметно снижаются. Связано это с необходимостью работы рельсового транспорта в условиях проведения большого объема ремонтно-восстановительных работ по периодическому подрыву почвы, рихтовке рельсовых путей и перекреплению выработок. Таким образом, процесс перемещения грузов напочвенными видами транспорта в выработках со знакопеременным профилем пути необходимо также рассматривать как работу вероятностной системы «боковые породы – крепь – рельсовый путь».

Для обеспечения пропускной способности транспортной выработки, повторно используемой в зоне влияния очистных работ, необходимо прогнозировать надежность ее работы, т. е. устанавливать вероятность безотказной работы крепи при следующих условиях:

- восстановление крепи и постепенное проявление горного давления  $P_0(u(\tau))$ ;
- аномальное проявление горного давления  $P_1(\tau)$ .

На рис. 2.11 приведена структурная схема комплексной оценки надежности транспортной выработки.

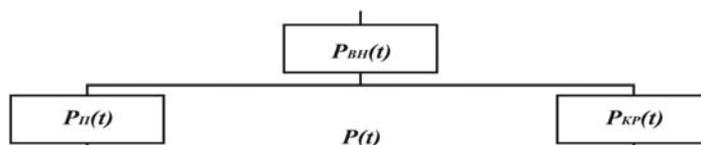


Рис. 2.11. Структурная схема оценки надежности пластовых выработок

В соответствии с функциональным назначением участковая подготовительная выработка рассматривается как сложный технический объект, обеспечивающий эксплуатационную надежность (способность длительно работать без снижения исходных параметров) в процессе взаимодействия с массивом горных пород, постоянно изменяющим свое состояние под воздействием внешних и внутренних факторов. В условиях интенсификации горного производства под надежностью транспортной

выработки необходимо понимать ее способность выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих заданным режимам в условиях использования. Эксплуатационными показателями создаваемой транспортно-технологической системы являются показатели производительности (пропускной способности), скорость перемещения грузов, расход электроэнергии, топлива и др.

С учетом вышеизложенного оценку надежности подготовительной участковой выработки, оборудованной рельсовыми видами транспорта, можно описать зависимостью [70]:

$$P(\tau) = P_0(u(\tau)) \cdot P_1(\tau) = P_1(\tau)[P_{01}(u) \cdot P_{02}(u) + P_{03}(u)], \quad (2.3)$$

где  $P_{01}(u)$ ,  $P_{02}(u)$  – вероятности безотказной работы рам крепи и рельсового пути при соответствующих смещениях  $u = u(\tau)$  за период времени  $\tau$  эксплуатации выработки;  $P_{03}(u)$  – условная вероятность безотказной работы рельсового пути и рам крепи от состояния почвы выработки.

Из теории упругости известно, что в изотропном массиве радиальные перемещения  $u(\theta)$  на контуре даже круглой выработки радиуса  $r_0$  распределены неравномерно [80]:

$$u(\theta) = \frac{r_0}{E} [(\sigma_r + \sigma_\theta) - (\sigma_r - \sigma_\theta)2 \cos 2\theta]. \quad (2.4)$$

С учетом формы сечения выработки, анизотропии массива, а также совокупности влияния случайных факторов компоненты вертикальных  $u_1(s)$  и горизонтальных смещений  $u_2(s)$  вдоль трассы выработки ( $s \in S$ ) существенно различаются. Особенно ощутимо это на «элементарных» участках, длина которых зависит от класса устойчивости пород [81]. Вероятность отказа рамы крепи на каждом таком участке можно определить по формуле:

$$q_s(u_1, u_2) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{1-\rho_{12}^2}} \int_0^{u_1} \int_0^{u_2} \exp\left[-\frac{1}{2}V(u_1, u_2)\right] du_1 \cdot du_2, \quad (2.5)$$

где  $\rho_{12} = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1}$ ,  $\sigma_2$  – коэффициент корреляции между смещениями  $u_1$  и  $u_2$ ;  $V(u_1, u_2)$  – функция параметров распределения,

$$V(u_1, u_2) = \frac{1}{1-\rho_{12}^2} \cdot (v_1^2 - 2\rho_{12}v_1v_2 + v_2^2). \quad (2.6)$$

Приведенные выше выражения (2.3) – (2.6) описывали надежность подготовительных выработок с напочвенными видами транспорта в условиях пучения почв без учета влияния нагрузок от подвижного состава.

Шахтными исследованиями несовершенств рельсового пути [32], вызванных пучением пород почвы, установлено, что наибольшее влияние подвижного состава на рельсовый путь и окружающий массив отмечается в зонах стыковых соединений рельс при транспортировании крупнотоннажных грузов. Последнее особо актуально при транспортировке демонтированных секций механизированных крепей из отработанной лавы в новую (рис. 2.12).



Рис. 2.12. Состояние стыковых соединений рельс при транспортировании крупнотоннажных грузов

Следовательно, для учета дополнительных нагрузок от подвижного состава на почву выработки и окружающий ее массив было предложено в известном методе расчета смещений горных пород [32] корректировать показатели вертикальных смещений на величину  $\Delta\bar{H}$ .

Результаты шахтных исследований на шахте им. Стаханова показали [57], что в случае применения подвесных монорельсовых дорог необходимость учета дополнительных нагрузок от динамики подвижного состава возникает также при установлении не только смещений горных пород в кровле проводимой подготовительной выработки, но и нагрузок на «несущие» секции арочной крепи.

Поэтому, принимая во внимание изложенное выше, в выражении (2.6) для случая применения монорельсовых дорог вертикальные компоненты смещений элементов крепи определяются с учетом влияния подвижного состава, т. е. дополнительных вертикальных смещений  $\Delta\bar{u}_1$ :

– горизонтальные

$$v_2 = \frac{(u_2 - \bar{u}_2)}{\sigma_2} \quad (|\rho_{12}| \leq 1);$$

– вертикальные

$$v_1 = \frac{(u_1 - (\bar{u}_1 + \Delta\bar{u}_1))}{\sigma_1} \quad (|\rho_{12}| \leq 1),$$

где  $\Delta\bar{u}_1$  – компоненты вертикальных смещений от влияния подвижного состава подвесной монорельсовой дороги.

В табл. 2.3 в качестве примера приведены параметры двухмерного нормального закона распределения предельных смещений элементов рамных податливых арочных крепей, полученных по результатам шахтных измерений с помощью универсальных измерительных стоек СУИ-2 в условиях шахты им. Стаханова ОАО «Красноармейскуголь», в пределах седьмого пикета конвейерного штрека третьей северной лавы пласта  $K_5$  горизонта 986 м.

Таблица 2.3

**Распределения предельных смещений элементов арочных крепей**

Номер арки в пикете	Компоненты смещений элементов крепи, м					Коэффициент корреляции $\rho_{12}$
	вертикальные			горизонтальные		
	$\bar{u}_1$	$\sigma_1$	$\Delta\bar{u}_1$	$\bar{u}_2$	$\sigma_2$	
1	0,478	0,121	0,131	0,301	0,081	-0,615
2	0,475	0,122	0,012	0,312	0,083	-0,615
3	0,476	0,124	0,021	0,302	0,085	-0,615
4	0,481	0,123	0,129	0,301	0,082	-0,615
5	0,473	0,125	0,012	0,302	0,082	-0,615
6	0,475	0,122	0,013	0,301	0,082	-0,615
7	0,479	0,122	0,132	0,302	0,083	-0,615
8	0,473	0,122	0,023	0,311	0,085	-0,615
9	0,472	0,123	0,011	0,302	0,081	-0,615
10	0,476	0,125	0,128	0,302	0,084	-0,615
11	0,475	0,121	0,013	0,301	0,083	-0,615
12	0,476	0,124	0,022	0,302	0,081	-0,615
13	0,481	0,123	0,131	0,301	0,080	-0,615
14	0,474	0,121	0,012	0,312	0,080	-0,615
15	0,477	0,120	0,023	0,302	0,083	-0,615
16	0,482	0,120	0,129	0,311	0,082	-0,615
17	0,476	0,123	0,012	0,302	0,084	-0,615
18	0,475	0,122	0,013	0,301	0,082	-0,615
19	0,478	0,124	0,128	0,302	0,083	-0,615
20	0,476	0,122	0,012	0,301	0,084	-0,615
21	0,472	0,123	0,023	0,312	0,083	-0,615
22	0,479	0,124	0,131	0,301	0,082	-0,615
23	0,476	0,123	0,013	0,302	0,081	-0,615
24	0,475	0,122	0,011	0,302	0,083	-0,615
25	0,480	0,121	0,130	0,311	0,082	-0,615

Вероятность безотказной работы  $p_j(u)$   $i$ -го элементарного участка элемента выработки рассматривается как вероятность, вычисленная при условии, что на данном участке отсутствуют отказавшие рамы крепи, т. е.

$$p_j(u) = C_n^m q_s^m(\bar{u}) [1 - q_s(\bar{u})]^{n-m},$$

где  $C_n^m$  – число сочетаний из  $n$  по  $m$ ;  $n = rs$  – число рам, установленных с плотностью  $r$  (рам/м) на  $i$ -м участке длиной  $s$ ;  $m$  – количество отказавших рам на  $i$ -м участке.

Тогда запишем формулу вероятности безотказной работы рам крепи выработки:

$$P_{01}(u) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (1 - p_j(u)).$$

По результатам маркшейдерских замеров конструктивных параметров транспортных выработок (рис. 2.13) пространственного положения арочной крепи и рельсового пути [82] установлено, что вероятность отказа рельсового пути из-за активного пучения пород почвы для нормального стационарного процесса случайных подъемов отметок рельс выразим через интеграл:

$$Q_{02}(u) = \frac{1}{s} \int_0^s \xi(s, u) ds, \quad (2.7)$$

где  $\xi(s, u)$  – вспомогательная случайная функция, определенная на всей длине выработки  $s$ :

$$\xi(s, u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u(s) > u_*, \\ 0, & \text{если } u(s) \leq u_* \end{cases}$$

для предельно допустимых подъемов почвы  $u_*$ .

Стационарность и нормальность случайного процесса запишем с помощью интеграла (2.7):

$$Q_{02}\{u(0) > u_*\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi K(0)}} \int_{u_*}^{\infty} e^{-\frac{z^2}{2K(0)}} dz,$$

откуда вероятность  $P_{02}(u)$  будет вычисляться по формуле:

$$P_{02}(u) = 1 - Q_{02}(u) = 2\Phi \frac{u_*}{\sqrt{K(0)}},$$

где  $\Phi(x)$  – функция Лапласа;  $K(0) = \sigma_*^2$  – дисперсия случайных подъемов отметок почвы выработки.

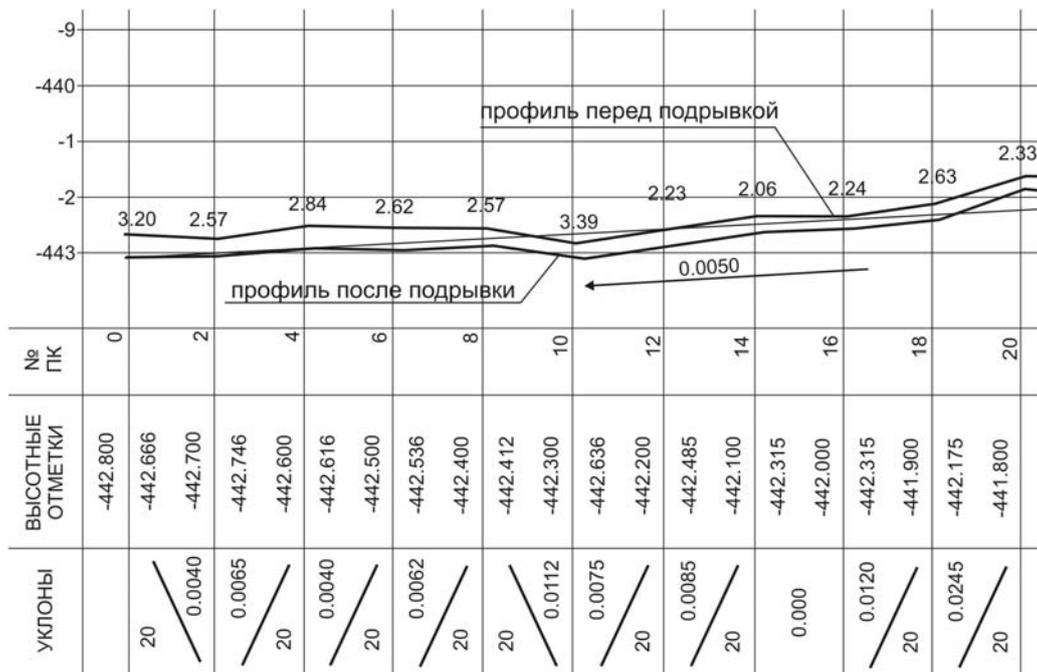


Рис. 2.13. Характер пучения пород почвы после очередного подрыва

В табл. 2.4 приведены результаты выполненных авторами шахтных исследований изменения сечений транспортных выработок до и после очередного подрыва вспученных пород (рис. 2.13), а также статистические параметры случайных величин предельных подъемов рельсового пути.

Таблица 2.4

**Статистические параметры случайных величин подъемов почвы  
подготовительных выработок**

№ пикета	Параметры распределения			Площадь сечения, м <sup>2</sup>	
	Математическое ожидание $\bar{u}_*$ , м	Средне-квадратическое отклонение $\sigma_*$ , м	Уровень значимости	до подрыва	после подрыва
0	0,395	0,114	0,05	9,52	11,29
2	0,387	0,098	0,05	9,57	11,31
4	0,395	0,115	0,05	9,51	11,28
6	0,402	0,128	0,05	9,53	11,33
8	0,389	0,119	0,05	9,45	11,2
10	0,399	0,117	0,05	9,50	11,29
12	0,398	0,118	0,05	9,48	11,27
14	0,401	0,126	0,05	9,52	11,32
16	0,388	0,116	0,05	9,60	11,34
18	0,391	0,125	0,05	9,54	11,29
20	0,394	0,124	0,05	9,50	11,27

Вероятность  $P_1(\tau)$  в формуле (2.3) определяется вероятностью возникновения катастрофических отказов в зонах пересечения горно-геологических аномалий, а также вероятностью возможного возникновения горных ударов, т. е.

$$P_1(\tau) = 1 - \left[ 1 - \prod_{j=1}^N l^{\frac{\lambda_j s}{V_0}} \right] Q(\tilde{C}, \tau),$$

где  $\lambda_j$  – интенсивность возникновения горно-геологических аномалий на  $j$ -м участке выработки;  $V_0$  – средняя скорость отработки выемочного столба;  $Q(\tilde{C}, \tau)$  – вероятность возникновения горных ударов, определяемая произведением вероятности возникновения хрупкого разрушения стенок выработки под действием максимальных касательных напряжений и вероятности концентрации критического уровня энергии в очаге удара [82].

Условную вероятность  $P_{03}(u)$  вычислим по формуле Байеса через вероятность  $Q_{03}$ :

$$P_{03}(u) = 1 - \frac{Q(u_1, u_*)}{Q_{03}(u)}.$$

Поскольку для подвесных монорельсовых дорог допускаемые подъемы почвы значительно отличаются от допустимых значений для напочвенных рельсовых видов транспорта [44], вероятность отказа почвы может учитываться, но она не оказывает существенного влияния на параметры технологического процесса проведения участковых подготовительных выработок.

Совместная вероятность отказов рам при конвергенции кровли и почвы запишется равенством:

$$Q(u_1, u_*) = [1 - \Phi(x_2)] + \Phi(x_1).$$

Аргументы  $x_1$  и  $x_2$  функции Лапласа  $\Phi(x_1)$  и  $\Phi(x_2)$  соответственно определяются из выражений:

$$x_1 = \frac{h_1 - \bar{u}_\Sigma}{\sigma_\Sigma} = \frac{h_1 - (\bar{u}_1 + \bar{u}_*)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_*^2}},$$

$$x_2 = \frac{h_2 - \bar{u}_\Sigma}{\sigma_\Sigma} = \frac{h_2 - (\bar{u}_1 + \Delta\bar{u}_1 + \bar{u}_*)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_*^2}},$$

где  $u_\Sigma$ ,  $\sigma_\Sigma$  – математическое ожидание и дисперсия конвергенции кровли и почвы выработки;  $h_1, h_2$  – соответственно начальная и конечная высота выработки при конвергенции пород.

Таким образом, для вычисления пропускной способности выработки (адаптационной способности транспортно-технологической схемы) и надежности крепи по формуле (2.3) необходимо для характерных участков (пикетов) подготовительной выработки установить величины смещений пород кровли и почвы, а также характеристики горно-геологических аномалий. На основе вероятностной оценки надежности крепи выработок можно определить затраты и трудоемкость их поддержания в целом по выемочному столбу.

Периодическое появление событий, связанных с пучением почв и ведением ремонтно-восстановительных работ, снижает эффективность работы эксплуатируемых средств рельсового транспорта и требует разработки технологических схем вспомогательного транспорта, адаптируемых к реальным условиям эксплуатации.

В работе ГВУЗ «НГУ» [70] для шахт Западного Донбасса предлагались альтернативные варианты подготовки выемочных столбов с использованием отечественных канатных подвесных монорельсовых дорог (ПДМ). Однако результаты экспертной оценки технологических схем доставки грузов на шахтах ОАО «Шахтоуправление «Покровское» и им. Стаханова показали, что для выработок, искривленных в профиле и плане, наиболее приемлемым проектным решением является вариант с применением дизельных ПДМ [57].

На основании использования на шахтах Западного Донбасса напочвенных канатных дорог в качестве единого транспортного средства при проведении и эксплуатации участковых пластовых выработок была разработана модель адаптивной схемы вспомогательного транспорта на базе применения дизельных подвесных монорельсовых дорог (рис. 2.14).

Адаптивность схемы достигается путем комплексного использования дизельных ПДМ в качестве единого транспортного средства для доставки грузов к действующей лаве (объект № 1), транспортирования секций механизированной крепи при монтаже очистного комплекса в разрезной печи подготавливаемой лавы (объект № 2), и обеспечения вспомогательными материалами подготовительных забоев (объект № 3) и при проведении выработок нового выемочного столба.

В условиях интенсификации горного производства комплексный подход необходим для координации во времени и пространстве процессов технологической подготовки фронта очистных работ. Поскольку для обеспечения пропускной способности транспортных выработок, расположенных в зоне влияния очистных работ и адаптации ПДМ к реальным условиям горного производства, необходимо осуществлять оптимальное оперативное управление процессами, одновременно выполняемыми в объектах № 1, 2 и 3.

Следует отметить, что адаптационная способность схемы вспомогательного транспорта, оборудованной ПДМ, во многом зависит от геомеханического состояния процессов, связанных с очистными и подготовительными работами. Шахтными исследованиями [57] установлено, что на работоспособность ПДМ оказывают влияние форма и сечение выработок, свойства вмещающих пород и класс их устойчивости, а также случайные факторы.

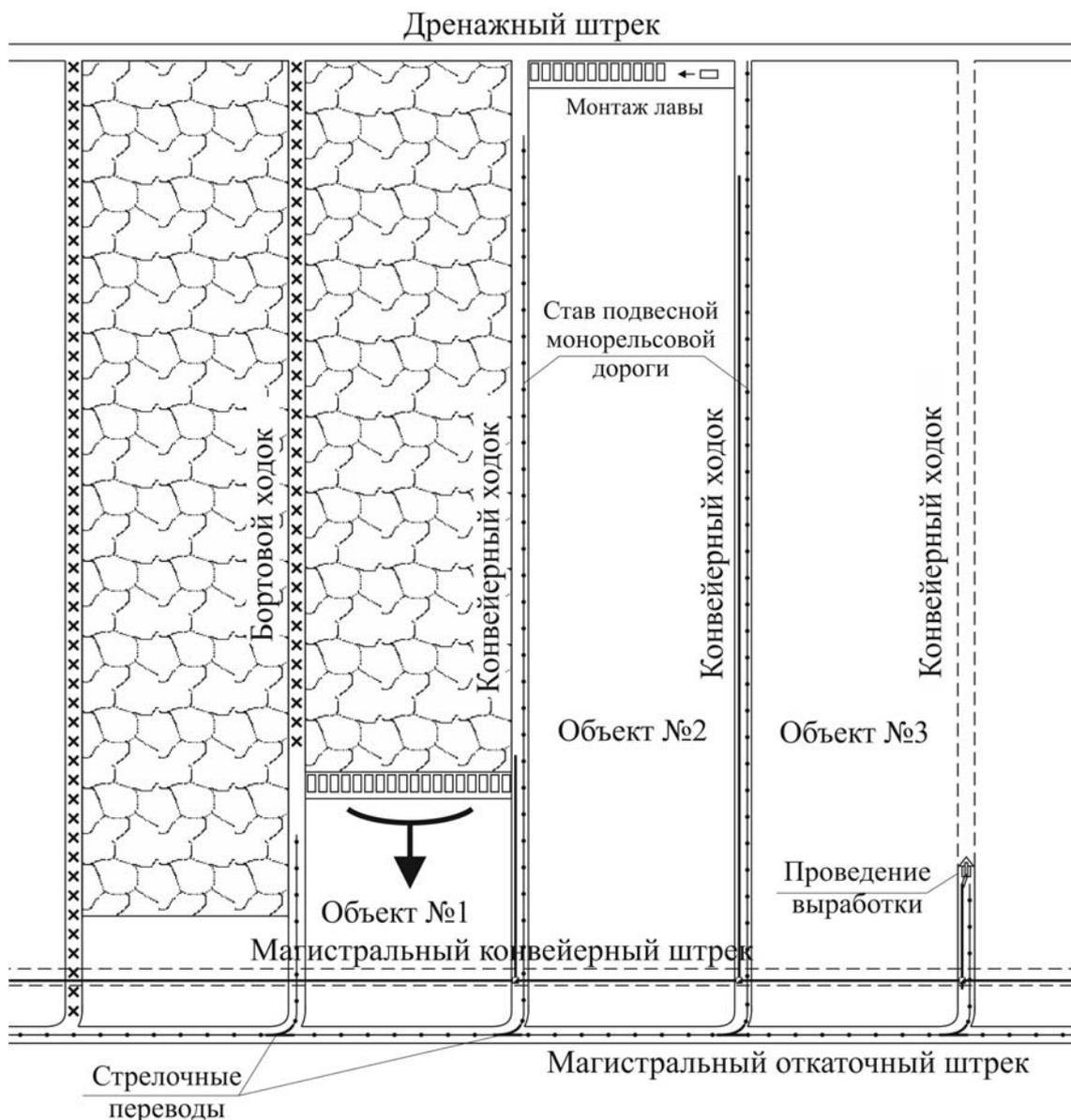


Рис. 2.14. Адаптивная технологическая схема подготовительных работ на базе применения дизельных ПДМ

Оценка функционального состояния ПДМ показала, что максимальные искривления профиля трассы приурочены к зонам активного расслоения пород кровли, которые сосредоточены над «несущими» арками – рамами крепи, к которым крепятся сопрягаемые звенья монорельса.

Необходимо отметить, что аналогичные, а возможно и более сложные условия взаимодействия крепи с вмещающими породами следует прогнозировать при внедрении ПДМ на шахтах Западного Донбасса.

Обусловлено это тем, что при проведении выработок в слабометаморфизованных породах крепь участков подготовительных выработок будет деформироваться не только от вертикальных и горизонтальных смещений массива, но и от периодических поднятий почвы, вследствие выдавливания вязкопластических пород в выработки при действии горного давления.

Эксплуатация ПДМ в подобных условиях может привести к снижению скорости перемещения подвижного состава, что бесспорно повлияет на технико-экономические показатели работы перспективного для шахт Западного Донбасса вида вспомогательного транспорта. Подтверждением вышесказанного могут служить результаты исследований эксплуатационных параметров монорельсовых дорог на шахтах Красноармейского региона [57]. Хронометражными замерами установлено, что в связи с не предусмотренным снижением скорости перемещения подвижного состава с 1,2 до 0,5 м/с время доставки грузов увеличивается в 1,3 – 1,6 раза, по сравнению с расчетными показателями. По результатам экспертной оценки условий транспортирования грузов в участковых выработках установлено, что основными причинами неравномерного перемещения подвижного состава являются знакопеременный профиль трассы, отклонение габаритов и веса грузовых единиц от нормативных показателей, а также нестандартные (аварийные) ситуации, возникающие в процессе перевозки грузов.

На основе изложенных выше представлений о поведении транспортно-технологической системы можно констатировать, что для достижения планируемых показателей работы и расширения функций ПДМ в специфических условиях шахт Западного Донбасса необходимо разработать обобщенную модель ее функционирования и дать ей соответствующее технико-экономическое обоснование. В дальнейшем на базе обобщенной модели разрабатываются варианты для конкретных условий эксплуатации и выполняется их экспертная оценка. В качестве обобщенной модели может быть использована схема обеспечения технологической подготовки горных работ на базе применения ПДМ, представленная на рис. 2.14.

При монтаже секций механизированной крепи в подготавливаемой лаве (рис. 2.14, объект № 2) процесс перемещения укрупненных грузовых единиц монорельсовыми дорогами в выработках, закрепленных арочной крепью, следует принимать как геомеханическую систему «боковые породы – арочная крепь – подвижной состав».

Если рассматривать вариант использования ПДМ для доставки горной массы, материалов, оборудования и людей в пределах объектов № 1, 2 и 3 (рис. 2.14), то процесс транспортирования необходимо представлять в более широком аспекте – как элемент транспортно-технологической системы обеспечения фронта очистных работ.

Используя комплексную оценку физического состояния среды и поведения транспортно-технологической системы в целом, можно улучшить проектные показатели, обеспечивающие ритмичность воспроизводства фронта очистных работ за счет качественного планирования подготовительных работ и надежности работы ПДМ как единого транспортного средства.

С позиций взаимной увязки во времени систем очистных и подготовительных работ необходимо для каждого конкретного варианта разрабатывать модель управления горноподготовительными работами в рамках повышения качества функционирования транспортной системы.

В настоящее время имеется хорошо апробированный математический аппарат и стандартные программы расчета на персональном компьютере, которые могут успешно использоваться в условиях технического отдела шахты.

В качестве модели транспортно-технологической системы обеспечения фронта очистных работ с применением ПДМ можно использовать апробированный сетевой график. Например, сетевой график комплекса горноподготовительных работ и транспортного их обеспечения представляет собой синтез отдельных цепочек, каждая из которых включает отработку лавы и совокупность горных выработок, обеспечивающих ей замену новой.

В соответствии с разработанной методикой оценка адаптационных возможностей транспортно-технологической системы проведения подготовительных выработок формулируется следующим образом: при заданных значениях времени и порядке отработки лав требуется своевременно подготовить взамен выбывающей лавы новую и так распределить работы во времени (с учетом технологической последовательности выполнения) и необходимые для их осуществления ресурсы, чтобы материальные, финансовые затраты и средние отклонения потребления людских ресурсов от имеющихся были бы минимальными в течение всего планового периода.

## **Выводы**

1. Разработана математическая модель, позволяющая учесть взаимосвязь технологических параметров процесса транспортирования при помощи подвесных монорельсовых дорог и параметров, характеризующих организацию их взаимодействия с транспортно-технологической системой шахты в целом.

2. Для оценки совместного влияния разнородных факторов проведен многофакторный анализ с применением ЭВМ, позволивший установить факторы, оказывающие наибольшее влияние на технологический процесс проведения подготовительных выработок. Расчеты, проведенные в процессе моделирования, позволили определить наибольшее влияние основных параметров (факторов) – это факторы, связанные с пучением почвы подготовительной выработки.

3. На основании проведенных исследований предложена рациональная схема подготовки выемочных столбов (рис. 2.14) с использованием подвесных монорельсовых дорог. Однако область применения данного вида вспомогательного транспорта ограничена в связи с не предусмотренным снижением скорости перемещения подвижного состава с 1,2 до 0,5 м/с, что ведет за собой увеличение времени доставки грузов в 1,3 – 1,6 раза, по сравнению с расчетными показателями.

### **3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С КРЕПЬЮ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, ОСНАЩЕННЫХ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГОЙ**

#### **3.1. Обоснование модели взаимодействия массива горных пород с арочной крепью выработок, оборудованных монорельсовыми дорогами**

В настоящее время большинство шахт Украины, в том числе и Западного Донбасса, ведут разработку пологих угольных пластов мощностью  $m = 0,9 - 1,2$  м. Кроме того, на некоторых действующих предприятиях отрасли для продления их срока службы осуществляется подготовка и разработка приконтурных, резервных и прирезаемых запасов горного отвода шахты. Отличительной особенностью шахт Западного Донбасса является то, что в сложных горно-геологических условиях залегания угольных пластов подготовка запасов преимущественно осуществляется погоризонтным способом с отработкой выемочных столбов по падению (восстанию). Традиционно применяемые схемы подготовки и отработки выемочных столбов в регионе приведены на рис. 3.1. Необходимо отметить, что с внедрением механизированных очистных комплексов нового поколения большинство шахт перешли к бесцеликовым схемам подготовки запасов, когда участковые подготовительные выработки проводятся вприсечку к выработанному пространству (рис. 3.1, а) или по схеме (рис. 3.1, в) с последовательной отработкой выемочных столбов и сохранением подготовительных выработок на границе с выработанным пространством. Подобные схемы подготовки запасов предусматривают проведение специальных мероприятий по охране участковых транспортных выработок для поддержания проектной площади поперечного их сечения и необходимой пропускной способности. Последнее особо актуально при подготовке и отработке пластов в условиях активного пучения пород почвы.

По результатам выполненных исследований установлено, что на шахтах Западного Донбасса удельный вес пластовых подготовительных выработок площадью поперечного сечения от 8 до 11 м<sup>2</sup> составляет 17,5 %, от 13 до 14 м<sup>2</sup> 47,5 %, а более 15 м<sup>2</sup> – 35,0 % (рис. 1.4).

В связи с изменчивостью физико-механических свойств вмещающих пород, активным пучением пород почвы и малой устойчивостью выработок с рельсовыми видами транспорта площадь их поперечного сечения в период проведения и эксплуатации непрерывно уменьшается и требует периодического восстановления.

Доказано, что состояние подготовительных транспортных выработок и их развитие в пределах шахтного поля является важнейшим фактором, обеспечивающим условия своевременной подготовки запасов угля. В особой степени это относится к участковым пластовым выработкам, повторно используемым в условиях активного пучения пород почвы и подвергаемым влиянию очистных работ.

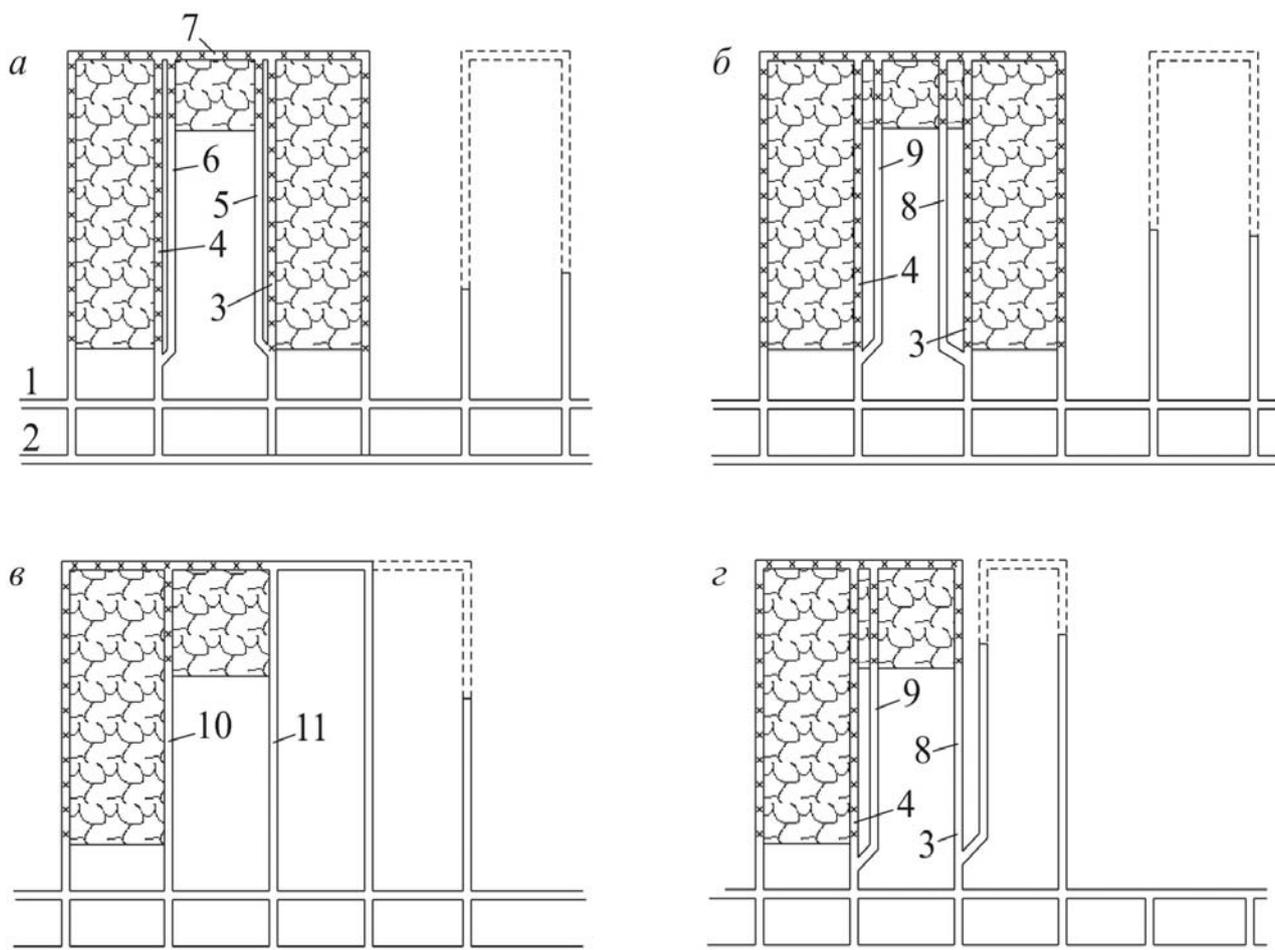


Рис. 3.1. Схемы отработки выемочных столбов при погоризонтной подготовке:  
*а* – через столб без оставления целиков угля; *б* – то же с охраной штреков целиками угля; *в* – последовательная с сохранением штреков на границе с выработанным пространством; *г* – то же с охраной ходков целиками угля;  
 1, 2 – соответственно вентиляционный и откаточный главные штреки;  
 3, 4 – соответственно вентиляционный и конвейерный выемочные штреки, проводимые по целику угля; 5, 6 – то же, проводимые вприсечку; 7 – монтажная камера; 8, 9 – выемочные штреки, проводимые по целику угля; 10, 11 – соответственно сохраненный и сохраняемый выемочные штреки

Из-за потери устойчивости и изменения сечения участков подземных трасс нарушается работа всех подсистем внутришахтного транспорта и шахты в целом. В результате снижается и пропускная способность подготовительных выработок, следовательно, возникает необходимость проведения комплексных исследований особенностей взаимодействия крепи с массивом горных пород, учитывая влияние эксплуатируемых транспортных средств.

Следует отметить, что на сегодняшний день не достаточно проведено натурных исследований для формирования точного аналитического аппарата, объективно отражающего механизм подобного взаимодействия крепи и массива горных пород. Именно это и определяет необходимость поиска альтернативных решений.

Применяемые расчетные схемы и модели в своей структуре подразумевают большое количество допущений и в значительной степени идеализированы, что не дает возможности достаточно точно описать процессы, происходящие в массиве горных пород. Большинство методик решения по известным теориям, как правило, имеют значительные расхождения с эксплуатационными показателями, в результате чего практически не применяются в реальных условиях производства.

Как правило, альтернативой разработки расчетной схемы и модели при проведении и поддержании подготовительных участковых выработок, шахтными исследованиями устанавливаются эмпирические зависимости, которые базируются на большом количестве статистических данных и могут быть применимы только к конкретным горно-геологическим и горнотехническим условиям проведения и эксплуатации выработок.

Необходимо отметить, что в горно-геологических и горнотехнических условия Западного Донбасса при проведении и эксплуатации участковых пластовых выработок наблюдаются ярко выраженные проявления активности горного давления, которые можно описать эмпирическими зависимостями, но при этом количество допущений не позволяет в полной мере полагаться на адекватности их решения.

В связи с вышесказанным возникает необходимость в проведении комплексного исследования параметров системы подготовки с учетом условий взаимодействия боковых пород с крепью участковых транспортных выработок и потери устойчивости, что приводит к нарушению их работы. Основной причиной этого является знакопеременный профиль рельсового пути традиционно применяемых транспортных средств.

Экспериментальные исследования изменчивости профилей рельсового пути на шахтах Западного Донбасса показали, что состояние трасс участковых подготовительных выработок определяется не только физико-механическими свойствами вмещающих пород почвы и условиями залегания разрабатываемых пластов, но и функциональным назначением эксплуатируемых выработок. Установлено, что в аналогичных горно-геологических условиях гипсометрические планы почвы и профиль рельсового пути вентиляционных и транспортных выработок существенно отличаются. Оценка условий их эксплуатации показала, что проектные сечения участковых подготовительных выработок обеспечиваются путем многократного (пяти-шестикратного) подрыва вспученных пород почвы. При этом в одних и тех же горнотехнических условиях эксплуатации транспортных выработок, при одном и том же характере пучения объемы подрываемых пород неодинаковы.

Детальный анализ горно-геологических, горнотехнических и организационных причин активного проявления негативных эффектов, связанных с пучением почв в подготовительных пластовых выработках показал, что одним из немаловажных факторов является вид эксплуатируемого транспортного оборудования.

Отмечено, что на участках со сложным профилем пути, где по горнотехническим и организационным причинам применялась откатка горной массы спаренными локомотивами, пучение почв проявлялось более активно. В то же время, когда из-за невозможности применения тяжеловесных электровозов переходили на концевую откатку грузов, наблюдалось снижение воздействия негативных эффектов на рельсовый путь и крепь выработки.

Установленное явление в подготовительных выработках, проведенных в слабометаморфизированных породах, послужило основанием для выдвижения гипотезы о том, что динамические воздействия подвижного состава на рельсовый путь передаются на почву выработки и в результате многократного наложения волн в массиве провоцируют текучесть пород и переход их в стадию активного пучения. Таким образом, при определенных геомеханических условиях слабометаморфизированные горные породы могут переходить в состояние сверхпластичности, что может спровоцировать такие динамические явления, как выдавливание угольного пласта и вмещающих пород в горные выработки вследствие их дилатансии (разрыхления) [83 – 86].

Практика подтверждает, что дилатансия вмещающих пород происходит из-за завалов, поднятия почвы выработок, деформации рам арочной крепи (рис. 3.2), которые в совокупности снижают устойчивость подготовительных выработок, усугубляют работу транспортно-технологических систем и шахты в целом.

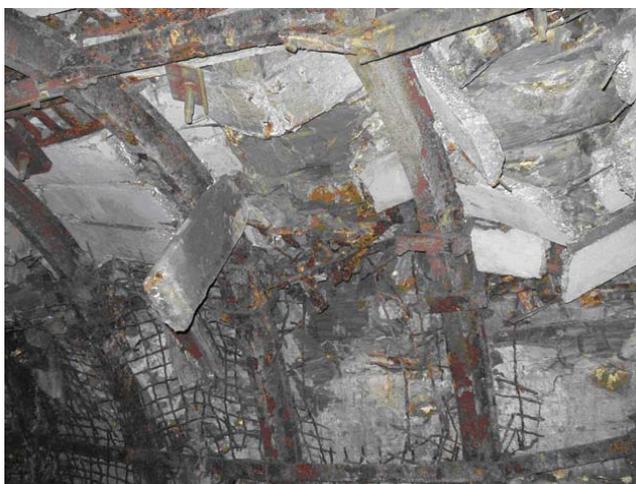


Рис. 3.2. Проявление дилатансии массива горных пород

Согласно [87] общая величина подрыва в некоторых магистральных штреках шахт Западного Донбасса в несколько раз превышает исходную высоту выработок, что объясняется значительным увеличением объема разрушенных пород (дилатансией) при переходе в запредельное и пластическое состояние, т. е. удельный объем подрывных пород в несколько раз превышает удельный объем проектного сечения выработки. Частота и интенсивность этих проявлений, а также степень их влияния на устойчивость и пропускную способность подземных транспортных выработок малоизучены.

Последнее обусловлено тем, что результаты шахтных экспериментов до настоящего времени не подтверждены теоретическими расчетами отчасти потому, что отсутствуют данные о параметрах дилатансии горных пород. Актуальность исследований в этом направлении существенно повысилась с внедрением в сложных горно-геологических условиях шахт Западного Донбасса высокопроизводительных механизированных комплексов, требующих повышения темпов подготовки новых выемочных столбов и обеспечения проектных сечений подготовительных выработок. Ключевым моментом в решении этой проблемы является прогнозирование устойчивости подготовительных выработок на разных стадиях их функционирования с учетом физико-механических свойств горных пород.

Результаты шахтных исследований характера изменения параметров подготовительных выработок, пройденных в слабометаморфизированных породах, и физического моделирования их устойчивости послужили предпосылками для описания особенностей проявления горного давления в транспортных магистралях с учетом дилатансии вмещающих пород.

Предварительными исследованиями установлено, что технологические процессы, подчиненные определенным законам геомеханики, хорошо описываются аналитическими экспресс-методами. Достоверность этих методов в значительной степени определяется правильностью выбора модели среды и адекватностью закономерностей, описывающих геомеханические процессы в массиве.

Анализ условий комбайнового проведения более сорока подготовительных выработок показал, что пластические деформации горных пород в неоднородном напряженном состоянии порой принимают огромные масштабы за небольшой промежуток времени и не соответствуют общепринятому представлению об их устойчивости.

Возрастающие требования к пропускной способности участковых транспортных выработок обусловили необходимость формирования новых подходов к оценке пластических свойств горных пород при проведении подготовительных выработок в специфических условиях шахт Западного Донбасса.

В настоящее время для расчетов напряженно-деформированного состояния горного массива используют упругую, вязкоупругую, упруго-пластичную, раздельно-блочную и другие модели среды [88]. Следует отметить, что доля деформации от учета того или иного фактора в рамках рассматриваемых моделей среды различна. Упругие и пластические деформации в общем процессе деформирования незначительны. Они несопоставимы с действительными деформациями выработок, поскольку проявляются сразу же после их проведения, и не учитывают реологические свойства пород, процессы долговременной прочности и дилатансии пород. Значительно большая часть приходится на деформации ползучести, обусловленные реологическими свойствами и дилатансией (разрыхлением) пород, процессами долговременной прочности пород, проявляющимися в не

прекращающихся во времени смещениях боковых пород в горные выработки. По результатам исследований деформаций арочного крепления установлено, что изменение поперечного сечения подготовительных выработок происходит преимущественно из-за разрыхления боковых пород и увеличения их объема относительно первоначального на 70 – 90 % [83]. В связи с этим при проектировании технологических схем вспомогательного участкового транспорта и выборе соответствующего оборудования возникает необходимость располагать параметрами изменения площади сечения подготовительных выработок за счет дилатансии вмещающих горных пород и количественными соотношениями между их напряжениями и деформациями.

По результатам ранее выполненной оценки условий взаимодействия боковых пород с крепью участковых подготовительных выработок, оснащенных рельсовым подвижным составом [48], можно констатировать, что для повышения темпов подготовки новых выемочных столбов в условиях активного пучения почв необходимо переходить на альтернативные виды транспорта. Они обладают не только высокой маневренностью и грузоподъемностью, но и адаптированы к транспортно-перемещающим операциям при проведении выработок, в ходе их эксплуатации и выполнения монтажно-демонтажных работ.

При проведении пластовых подготовительных выработок в слабо-метаморфизированных породах на расстоянии 50 – 100 м от забоя крепь начинает подвергаться негативному воздействию, связанному с поднятием (пучением) почвы, которое в большей степени отражается на состоянии транспортных выработок, поскольку деформируется не только крепь, но и рельсовый путь. В результате пучения пород почвы образуется знакопеременный профиль пути, что приводит к нарушениям процесса транспортировки.

В соответствии с ПБ допускается эксплуатация рельсовых транспортных средств при уклонах пути до 50 ‰.

Анализ состояния рельсовых путей на шахтах ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» показал, что знакопеременный профиль, образуемый вследствие пучения пород почвы в транспортных выработках, сдерживает своевременную доставку материалов и оборудования, а также откатку горной массы из забоя. Время, затрачиваемое на ремонт рельсового пути, в свою очередь влияет на пропускную способность выработок и темпы продвижения подготовительного забоя.

В результате проведенных исследований в области повышения устойчивости транспортных выработок рекомендуется ряд технологических мероприятий, направленных на уменьшение негативного влияния вследствие поднятия (пучения) пород почвы, а именно: проведение работ, связанных с подрывом почвы выработки, крепление выработки кольцевой крепью в период ее проведения, перекрепление выработки, применение анкерного крепления почвы и кровли выработки и т. д. Следует отметить, что все мероприятия направлены на создание условий для применения рельсовых видов транспорта.

Наиболее распространенным мероприятием в условиях шахт Западного Донбасса является подрыв с последующим перекреплением. Однако периодический подрыв почвы выработки сопровождается нарушением пропускной способности и цепочки призабойного транспорта, что также снижает темпы проведения выработок.

В подобных условиях локомотивная откатка грузов по пластовым участковым подготовительным выработкам становится малоэффективной, а иногда и невозможной. В этой связи на отдельных шахтах региона в качестве альтернативных средств вспомогательного транспорта при проведении выработок используются напочвенные канатные дороги. Однако из-за неудовлетворительного состояния рельсового пути и большой обводненности транспортных выработок область эффективного их применения также ограничена.

Шахтными исследованиями доказано, что при отработке запасов у границ шахтного поля действующая система вспомогательного транспорта не обеспечивает оперативную доставку грузов в протяженных горизонтальных и наклонных выработках. Поэтому для повышения маневренности и автономности подвижного состава в условиях шахт Западного Донбасса рекомендовано [5] применять в качестве вспомогательного транспорта дизельные подвесные монорельсовые дороги (ПДМ), которые широко используются на шахтах России и дальнего зарубежья. Следует отметить, что в Украине, несмотря на имеющийся опыт создания канатных ПДМ, отсутствует не только опыт их применения, но и результаты каких-либо исследований условий взаимодействия элементов монорельсовых дорог с арочной крепью и массивом горных пород.

Экспертная оценка условий работы ПДМ на шахтах Красноармейского региона Донбасса показала, что, с одной стороны, арочная крепь испытывает влияние горного давления, а с другой – действие сил, вызванных динамикой движения монорельсового состава [57]. На рис. 3.3 наглядно отображен результат взаимодействия несущей рамы арочной крепи с массивом горных пород после многократного прохождения подвижного состава через стыковое соединение монорельса в одной из участковых транспортных выработок ОАО «Шахтоуправление «Покровское».

Результаты шахтных наблюдений послужили основой для выдвижения гипотезы о причинах подобного поведения податливой арочной крепи, на основании которой была разработана программа комплексных исследований.

Существует несколько способов закрепления монорельса к крепи подготовительной выработки, но, как правило, несущим элементом является верхняк арочной крепи, который взаимодействует с массивом горных пород и непосредственно с ПДМ.

В результате предварительных шахтных исследований установлено, что в реальных условиях монорельсовую подвесную дорогу необходимо рассматривать как взаимодействующую с горным массивом систему «боковые породы – арочная крепь – подвижной состав».



Рис. 3.3. Результат взаимодействия несущей рамы арочной крепи с массивом горных пород после многократного прохождения подвижного состава через стыковое соединение монорельса

Указанная система состоит из взаимодействующих подсистем: «крепь – горный массив», «крепь – монорельс», «монорельс – подвижной состав».

До настоящего времени взаимодействие элементов подобной системы комплексно не рассматривалось, поэтому ее поведение предполагается исследовать поэтапно, т. е. с использованием известных методов моделирования подсистем в приведенной выше последовательности.

В соответствии с разработанной структурно-логической схемой исследований описание поведения подсистемы «крепь – горный массив» может быть осуществлено одним из рекомендуемых методов решения задач геомеханики [28]. Для рассмотрения представленной выше задачи о проведении подземных горных выработок с использованием подвесной монорельсовой дороги наиболее приемлемым может быть метод граничных элементов [89, 90]. Для этого необходимо принять допущения о начальном напряженном состоянии в массиве горных пород до проведения выработки, так как после проведения оно изменяется, и тогда полные напряжения  $\sigma_{ij}$  в любой точке горного массива можно представить как сумму начальных напряжений  $(\sigma_{ij})_0$  и изменений напряжений  $\sigma'_{ij}$  в этой точке:

$$\sigma_{ij} = (\sigma_{ij})_0 + \sigma'_{ij}. \quad (3.1)$$

Как правило, изменения напряжений  $\sigma'_{ij}$  принято называть дополнительными напряжениями.

По аналогии с напряжением можно записать соотношения и для компонентов смещений, а именно:

$$s_i = (s_i)_0 + s'_i. \quad (3.2)$$

При решении задач геомеханики довольно часто начальные смещения  $(s_i)_0$  не учитываются, т. е. их приравнивают к нулю, поэтому полные смещения  $s_i$  и дополнительные смещения  $s'_i$  совпадают. Необходимо также отметить, что символы  $\sigma'_{ij}$  и  $s'_i$ , используемые здесь, относятся к дополнительным напряжениям и смещениям.

Представленную задачу о напряжениях и смещении горных пород вокруг подземных горных выработок можно решить в три этапа.

На первом этапе обозначаются и допускаются параметры начального напряженного состояния, на втором – обозначается и решается краевая задача в дополнительных напряжениях и смещениях и на третьем этапе складываются дополнительные и начальные напряжения для нахождения полных напряжений в массиве горных пород вокруг горной выработки.

Постановка краевых задач в дополнительных напряжениях упрощается, если ввести понятия начальных  $(c_i)_0$ , дополнительных  $c'_i$  и полных  $c_i$  усилий. Для плоскости с внешней нормалью  $N_j$  соотношения между усилиями и напряжениями имеют вид:

$$\begin{aligned} c_i &= \sigma_{ji} N_j, \\ (c_i)_0 &= (\sigma_{ji})_0 N_j, \\ c'_i &= \sigma'_{ji} N_j. \end{aligned}$$

Из выражения (3.1) и (3.2) следует

$$c_i = (c_i)_0 + c'_i,$$

и поэтому

$$c'_i = c_i - (c_i)_0. \quad (3.3)$$

Равенство (3.3) используется при задании граничных условий в дополнительных напряжениях. Например, если выработка не содержит искусственных опор, полные (или суммарные) усилия  $c_i$  на стенках выработки равны нулю, а дополнительные – известны:  $c'_i = -(c_i)_0 = -(\sigma_{ji})_0 N_j$ . (Начальные напряжения  $(\sigma_{ij})_0 N_j$  могут быть и непостоянными во всем массиве, но они должны удовлетворять уравнениям равновесия).

Компоненты тензора напряжений в различных точках горного массива не могут быть заданы произвольно. Требование, чтобы породы горного массива находилось в состоянии равновесия, накладывает на эти компоненты определенные условия. Во-первых, из условий равновесия моментов вытекает, что тензор напряжений симметричен [45], т. е.

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji} \quad (i, j = 1, 2 \text{ или } 3).$$

Это равенство означает, например, что если  $i = x$  (или 1), а  $j = z$  (или 3), то  $\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$  (или  $\sigma_{13} = \sigma_{31}$ ).

Во-вторых, из условия равновесия сил следует, что компоненты тензора напряжений должны удовлетворять следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} + \alpha_x &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zy}}{\partial z} + \alpha_y &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \alpha_z &= 0,\end{aligned}$$

где  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  и  $\alpha_z$  – объемные силы, которые заданы в конкретных задачах.

Объемные силы  $\alpha_x$ ,  $\alpha_y$  и  $\alpha_z$  или кратко  $\alpha_i$  имеют размерность сила/объем (т. е. единица их измерения Н/м<sup>3</sup>). Они представляют компоненты вектора и положительны, если действуют в положительных направлениях соответствующих координат. Приведенные уравнения известны как дифференциальные уравнения равновесия или просто как уравнения равновесия [90, 91].

Используя эти два условия, можно сократить запись уравнений и представить их в виде:

$$\sigma_{ji,j} + \alpha_j = 0,$$

где индексы  $i$  и  $j$  принимают значения 1, 2 или 3 в трехмерном и 1 или 2 в двухмерном случаях.

После того, как граничные условия определены, поставленную задачу можно решить любым из существующих методов решения краевых задач [92].

Однако в сложных горно-геологических условиях и в породах со слабой степенью метаморфизации (в реальных условиях) очень часто наблюдается нарушение свода естественного равновесия. Основной причиной этого являются различного рода горно-геологические нарушения и трещины, которые образовались вследствие ведения горных работ, особенно с применением в качестве одного из видов транспорта подвесной монорельсовой дороги. Поэтому в настоящей работе предусматривается разработка математической модели на базе метода граничных элементов для создания специальных вычислительных программ, позволяющих решать указанную выше задачу и учитывающих специфические (сложные) горно-геологические условия проведения горнотранспортных выработок с применением в них подвесных монорельсовых дорог.

Необходимо отметить, что моделирование следует выполнять для наиболее сложного варианта – при проведении участковой транспортной

выработки, где наблюдается пересечение плоскости забоя включением угольной пачки, которую надо представлять как материал с иными характеристиками. Иначе говоря, для моделирования параметров угольного массива используются элементы разрывных смещений с принятым допущением – он деформируется и подчиняется линейно-упругому закону [92].

Для вычислительных целей в зоне реального контакта угольной пачки с вмещающими породами горного массива уголь необходимо рассматривать как инородное включение со свойствами, характерными для конкретного рассматриваемого месторождения полезного ископаемого. Тогда отрезок контакта можно моделировать элементарным разрывом смещений, отвечающим случаю, когда поверхности контакта связаны пружиной. Нормальная и касательная жесткости пружины выбираются таким образом, чтобы отразить свойства угольного массива. Следовательно, значения компонентов разрыва смещений на контактном элементе могут быть связаны с действующими на нем нормальными и касательными напряжениями.

Эта модель предполагает, что поведение элемента описывается простыми одномерными соотношениями «напряжение – деформация» для сжатия и сдвига. Такие соотношения можно установить, рассматривая элемент контакта, параллельный оси  $x$ , как показано на рис. 3.3. Случаи сжатия и сдвига для наглядности показаны отдельно. На рис. 3.4, *а* и *б* представлен один контактный элемент с двумя степенями свободы. Предполагается, что толщина элемента  $h$  мала по сравнению с его длиной.

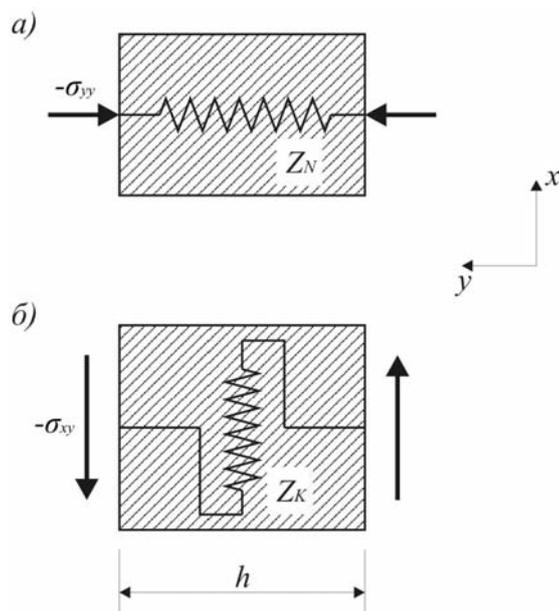


Рис. 3.4. Схема контактного элемента при сжатии (*а*) и сдвиге (*б*)

Показанные на рис. 3.4 напряжения полные и, следовательно, деформации контакта, как и смещения в (3.2), должны состоять из двух частей. Предположим сперва, что начальные деформации равны нулю и что контактный элемент деформируется только под действием дополнительных

напряжений  $\sigma'_{yy}$  и  $\sigma'_{xy}$ . Принято считать, что дополнительные напряжения (и смещения) представляют собой изменения, обусловленные подземными выработками. Поэтому в последующем анализе подразумевается, что контактный элемент расположен в окрестности выработки. Прежде чем переходить к обсуждению взаимосвязи между граничными и контактными элементами на стенках выработки, установим характеристики последних.

Компоненты дополнительных напряжений контактного элемента находятся из выражений [89, 92]:

$$e'_{yy} = \frac{\partial s'_y}{\partial y}, \quad e'_{xy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial s'_x}{\partial y} + \frac{\partial s'_y}{\partial x} \right). \quad (3.4)$$

Если предположить, что вдоль оси  $x$  обжатие элемента равномерно, то  $\frac{\partial s'_y}{\partial x} = 0$  и конечно-разностные аналогии формул (3.4) можно выразить как:

$$e'_{yy} \approx \frac{s'_y(x, h/2) - s'_y(x, -h/2)}{h}, \quad e'_{xy} \approx \frac{s'_x(x, h/2) - s'_x(x, -h/2)}{2h}. \quad (3.5)$$

При малых значениях  $h$  числители этих выражений эквивалентны компонентам разрыва смещений  $-D'_y$  и  $-D'_x$ , следовательно, выражения (3.5) примут вид:

$$e'_{yy} \approx -D'_y / h, \quad e'_{xy} \approx -D'_x / 2h. \quad (3.6)$$

Поскольку угольный массив линейно упругий с модулем Юнга  $E_0$  и модулем сдвига  $G_0$ , то компоненты напряжения и деформации связаны следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma'_{yy} &= E_0 e'_{yy} = -E_0 D'_y / h, \\ \sigma'_{xy} &= 2G_0 e'_{xy} = -G_0 D'_x / h. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Эти напряжения можно представить в эквивалентной форме (в локальной системе координат  $K, N$ )

$$\sigma'_N = -E_0 D'_N / h, \quad \sigma'_K = -G_0 D'_K / h \quad (3.8)$$

или

$$\sigma'_N = -Z_N D'_N, \quad \sigma'_K = -Z_K D'_K, \quad (3.9)$$

где  $Z_N$  и  $Z_K$  – нормальная и касательная показатели жесткости пружин, представленных на рис. 3.4.

С учетом приведенных выражений (3.4 – 3.9) при формировании модели поведения системы «боковые породы – арочная крепь – подвижной состав» массив горных пород вокруг участковой пластовой выработки с монорельсовой дорогой был представлен в виде поэлементной схемы расчета параметров напряжений (рис. 3.5).

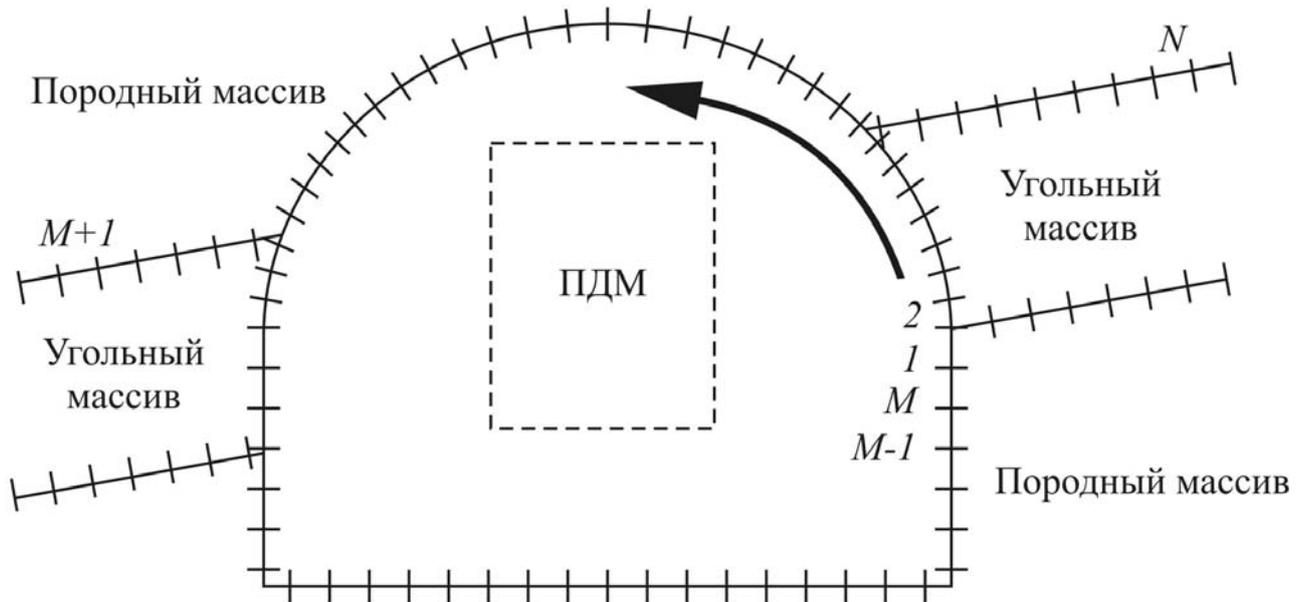


Рис. 3.5. Исходная модель пластовой выработки с монорельсовой дорогой

В соответствии с рекомендациями [89] границу выработки в конкретных условиях ее проведения целесообразно задавать элементами фиктивных нагрузок, а угольный массив – специальными сжимаемыми (контактными) элементами разрывных смещений, описанными выше.

Если исходную модель пластовой выработки с монорельсовой дорогой (рис. 3.5) представить в виде  $n$  элементов, среди которых имеются  $m$  элементов с фиктивными нагрузками на контуре выработки и  $(n - m)$  элементов с разрывными смещениями вдоль угольного массива, то дополнительные напряжения в произвольном элементе определяются выражениями:

$$\begin{aligned} \sigma_K^i &= \sum_{j=1}^m (A_{KK}^{ij} P_K^j + A_{KN}^{ij} P_N^j) + \sum_{j=m+1}^n (A_{KK}^{ij} D_K^j + A_{KN}^{ij} D_N^j), \\ \sigma_N^j &= \sum_{j=1}^m (A_{NK}^{ij} P_K^j + A_{NN}^{ij} P_N^j) + \sum_{j=m+1}^n (A_{NK}^{ij} D_K^j + A_{NN}^{ij} D_N^j). \end{aligned} \quad (3.10)$$

Граничные коэффициенты влияния  $A_{KK}^{ij}, A_{KN}^{ij}, A_{NK}^{ij}, A_{NN}^{ij}$  :  
– для условий  $1 \leq j \leq m$  определим из выражений:

$$\begin{aligned}
A_{KK}^{ij} &= -2(1-\nu)(\sin 2\gamma\bar{F}_2 - \cos 2\gamma\bar{F}_3) - \bar{y}(\sin 2\gamma\bar{F}_4 + \cos 2\gamma\bar{F}_5), \\
A_{KN}^{ij} &= (1-\nu)(\sin 2\gamma\bar{F}_3 + \cos 2\gamma\bar{F}_2) - \bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_4 - \sin 2\gamma\bar{F}_5), \\
A_{NK}^{ij} &= \bar{F}_2 - 2(1-\nu)(\sin 2\gamma\bar{F}_3 + \cos 2\gamma\bar{F}_2) - \bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_4 - \sin 2\gamma\bar{F}_5), \\
A_{NN}^{ij} &= \bar{F}_3 - (1-2\nu)(\sin 2\gamma\bar{F}_2 - \cos 2\gamma\bar{F}_3) + \bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_5 + \sin 2\gamma\bar{F}_4),
\end{aligned}$$

– для  $m+1 \leq j \leq n$  соответственно:

$$\begin{aligned}
A_{KK}^{ij} &= 2G(-\sin 2\gamma\bar{F}_4 - \cos 2\gamma\bar{F}_5 - \bar{y}(\sin 2\gamma\bar{F}_6 - \cos 2\gamma\bar{F}_7)), \\
A_{KN}^{ij} &= 2G(-\bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_6 + \sin 2\gamma\bar{F}_7)), \\
A_{NK}^{ij} &= 2G(2\sin^2 \gamma\bar{F}_4 + \sin 2\gamma\bar{F}_5 - \bar{y}(\sin 2\gamma\bar{F}_7 + \cos 2\gamma\bar{F}_6)), \\
A_{NN}^{ij} &= 2G(\bar{y}(\cos 2\gamma\bar{F}_7 + \sin 2\gamma\bar{F}_6) - \bar{F}_5),
\end{aligned}$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $G$  – модуль сдвига, представляется зависимой упругой с постоянным значением и связан с модулем Юнга соотношением  $G = E/(2(1-\nu))$ ;  $\gamma = (\alpha^i - \alpha^j)$  – наклон  $i$ -го элемента относительно  $j$ -го (рис. 3.6).

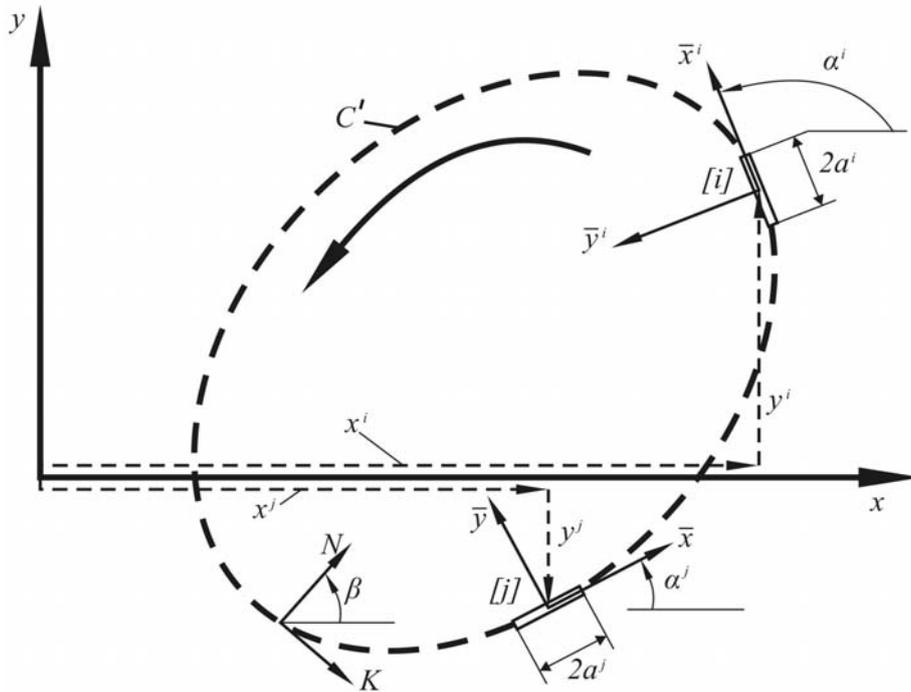


Рис. 3.6. Общая расчетная схема контура при решении краевой задачи:

$2a^i, 2a^j$  – длина  $i$ -го и  $j$ -го элементарных участков соответственно вдоль заданного контура (граница контакта горного массива с арочной крепью выработки);  $\alpha$  – угол ориентирования локальной системы координат  $K, N$

Значения функций  $\bar{F}_k$ ,  $k = 2, \dots$  определяются из выражений:

$$\begin{aligned}
 F_2(\bar{x}, \bar{y}) &= (4\pi(1-\nu))^{-1} \left( \ln((\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2)^{0.5} - \ln((\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2)^{0.5} \right), \\
 F_3(\bar{x}, \bar{y}) &= -(4\pi(1-\nu))^{-1} \left( \operatorname{arctg} \frac{\bar{y}}{\bar{x}-a} - \operatorname{arctg} \frac{\bar{y}}{\bar{x}+a} \right), \\
 F_4(\bar{x}, \bar{y}) &= (4\pi(1-\nu))^{-1} \left( \frac{\bar{y}}{(\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2} - \frac{\bar{y}}{(\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2} \right), \\
 F_5(\bar{x}, \bar{y}) &= (4\pi(1-\nu))^{-1} \left( \frac{\bar{x}-a}{(\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2} - \frac{\bar{x}+a}{(\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2} \right), \\
 F_6(\bar{x}, \bar{y}) &= (4\pi(1-\nu))^{-1} \left( \frac{(\bar{x}-a)^2 - \bar{y}^2}{((\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2)^2} - \frac{(\bar{x}+a)^2 - \bar{y}^2}{((\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2)^2} \right), \\
 F_7(\bar{x}, \bar{y}) &= (4\pi(1-\nu))^{-1} \left( \frac{\bar{x}-a}{((\bar{x}-a)^2 + \bar{y}^2)^2} - \frac{\bar{x}+a}{((\bar{x}+a)^2 + \bar{y}^2)^2} \right).
 \end{aligned}$$

Значения  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  (с учетом определенных локальных систем координат, т.е.  $x = x^i$  и  $y = y^i$ ) найдем из выражений:

$$\begin{aligned}
 \bar{x} &= (x^i - x^j) \cos \alpha^j + (y^i - y^j) \sin \alpha^j, \\
 \bar{y} &= (y^i - y^j) \cos \alpha^j - (x^i - x^j) \sin \alpha^j.
 \end{aligned}$$

Равенство (3.10) можно переписать в виде:

$$\left. \begin{aligned}
 \sigma_K^i &= \sum_{j=1}^m (A_{KK}^{ij} X_K^j + A_{KN}^{ij} X_N^j) \\
 \sigma_N^i &= \sum_{j=1}^n (A_{NK}^{ij} X_K^j + A_{NN}^{ij} X_N^j)
 \end{aligned} \right\} i = 1, \dots, n, \quad (3.11)$$

где

$$\left. \begin{aligned}
 X_K^j &= P_K^j \\
 X_N^j &= P_N^j
 \end{aligned} \right\} 1 \leq j \leq m,$$

$$\left. \begin{aligned}
 X_K^j &= D_K^i \\
 X_N^j &= D_N^i
 \end{aligned} \right\} m+1 \leq j \leq n.$$

Суммируя начальные и дополнительные напряжения, получаем полные напряжения в  $i$ -м элементе:

$$\begin{aligned}\sigma_K^i &= (\sigma_K^i)_0 + \sigma_K^i, \\ \sigma_N^i &= (\sigma_N^i)_0 + \sigma_N^i.\end{aligned}\tag{3.12}$$

Равенства (3.11) можно теперь использовать при построении системы алгебраических уравнений для нахождения неизвестных величин  $X_K^i$  и  $X_N^i$  ( $i = 1, \dots, n$ ). В элементах, принадлежащих зоне контакта горных пород и арочной крепью подготовительных выработок при их проведении ( $1 \leq i \leq m$ ), полные напряжения (усилия)  $\sigma_K^i$  и  $\sigma_N^i$  равны нулю, поэтому первые  $2m$  уравнения системы имеют вид:

$$\left. \begin{aligned}- (\sigma_K^i)_0 &= \sum_{j=1}^n (A_{KK}^{ij} X_K^j + A_{KN}^{ij} X_N^j) \\ - (\sigma_N^i)_0 &= \sum_{j=1}^n (A_{NK}^{ij} X_K^j + A_{NN}^{ij} X_N^j)\end{aligned}\right\} 1 \leq i \leq m.\tag{3.13}$$

Остальные  $2(n - m)$  уравнения получаем путем объединения (3.9) и (3.11), что дает:

$$\left. \begin{aligned}0 &= Z_K^i X_K^i + \sum_{j=1}^n (A_{KK}^{ij} X_K^j + A_{KN}^{ij} X_N^j) \\ 0 &= Z_N^i X_N^i + \sum_{j=1}^n (A_{NK}^{ij} X_K^j + A_{NN}^{ij} X_N^j)\end{aligned}\right\} m+1 \leq i \leq n.\tag{3.14}$$

Систему (3.13) и (3.14) можно решить стандартными численными методами. В настоящее время для расчетов приведенной выше численной процедуры создано программное обеспечение, учитывающее сходимость процессов итерации в пределах допустимой точности.

Таким образом, численное моделирование в соответствии с системой уравнений (3.12), (3.13) и (3.14) позволяет производить расчет рассредоточенных нагрузок на крепь с учетом горного давления, значения которого дают возможность установить рациональное место крепления става монорельса на арочной крепи.

### **3.2. Моделирование нагрузок, действующих на арочную крепь при движении подвижного состава**

Для оценки условий взаимодействия элементов транспортно-технологической системы «подвижной состав – монорельс – арочная крепь – массив горных пород» возникла необходимость моделирования процессов перемещения грузовых тележек по ставу монорельса и его стыковым соединениям.

Основанием для моделирования послужили результаты шахтных исследований эксплуатационных параметров транспортных средств периодического действия в подготовительных выработках шахт Западного Донбасса, подверженных активному пучению почв [30]. Натурными исследованиями эксплуатационных параметров напочвенных канатных дорог при проведении подготовительных выработок в условиях шахт ОАО «Павлоградуголь» установлено, что несовершенства рельсовой колеи (рис. 3.7) оказывают существенное влияние на режим работы транспортной установки и на пропускную способность проводимой выработки.



Рис. 3.7. Фрагмент стыкового соединения рельсового пути в 304 бортовом штреке пласта С<sub>6</sub> гор. 260 м шахты «Павлоградская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»

Шахтными исследованиями показателей работы монорельсовой дороги в условиях шахты им. Стаханова были установлены аналогичные несовершенства и в ставах подвесной монорельсовой дороги (рис. 1.7).

Именно это обусловило необходимость выполнения идентичных исследований параметров перемещения подвижного состава подвесной дороги в момент прохождения грузовых кареток через стыковые соединения монорельса.

Следует отметить, что речь идет не об оценке конструктивных параметров отдельных элементов, а об их влиянии друг на друга в малые промежутки времени. Рассмотрение и аналитическое решение поставленной задачи на современном этапе не представляется возможным из-за сложности математического аппарата, который позволил бы с малой погрешностью описать явления, возникающие в элементах подвижного состава и монорельсе, и нагрузки, передаваемые арочной крепи и массиву горных пород. В этой связи представленная выше задача решалась поэтапно:

– на первом этапе в рамках математической модели рассматривается взаимодействие одиночной каретки с монорельсом при прохождении через стыковое соединение, что значительно упрощает процесс и позволяет с достаточной точностью определить величину погрешности вычислений;

– на втором этапе полученные параметры и их величины задаются в качестве исходных данных для построения расчетной схемы «подвижной состав – монорельс – арочная крепь – массив горных пород».

Для моделирования условий взаимодействия потребовалось составить расчетную схему, которая позволила наглядно отобразить параметры и физические величины, описывающие весь процесс полностью. В ходе исследований взаимодействия элементов транспортно-технологической системы была определена рациональная схема, при которой грузовая тележка подвижного состава рассматривается как отдельная система твердых тел, состоящая из каркаса грузовой тележки и двух пар роликов.

Указанная система характеризуется тем, что она имеет восемь степеней свободы, т. е. положение любой точки системы в любой момент времени определяется восемью независимыми координатами (рис. 3.8).

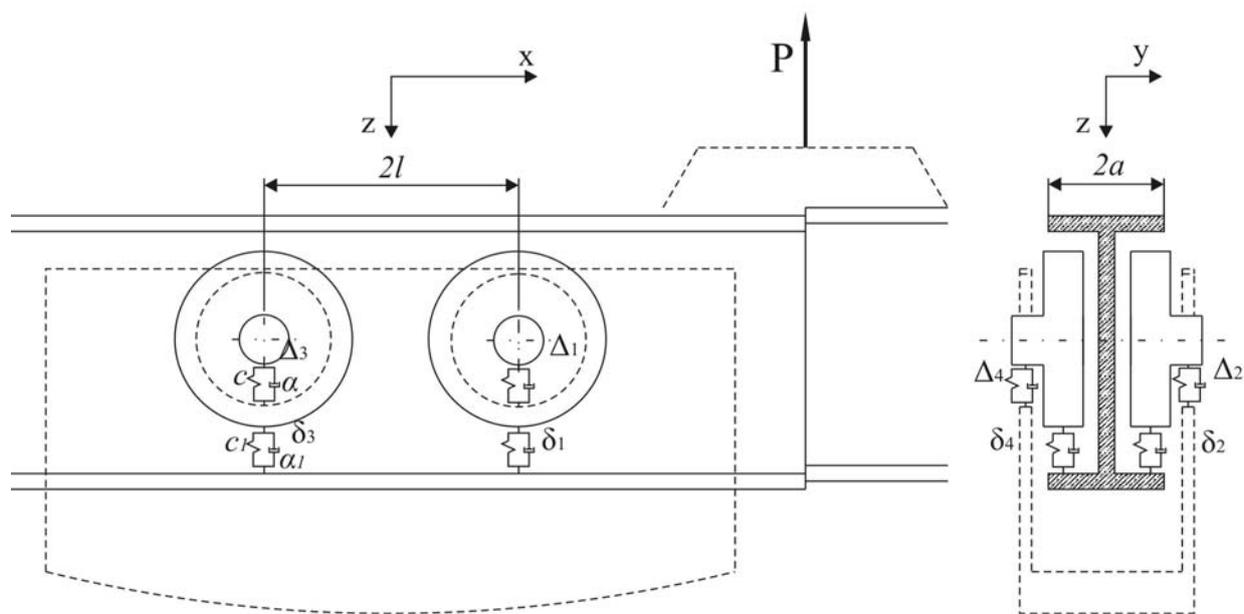


Рис. 3.8. Расчетная схема определения параметров взаимодействия подвижной каретки с монорельсом

Для решения представленной задачи целесообразно применить известное уравнение Лагранжа 2-го рода [93, 94], которое в случаях взаимодействия потенциальных усилий принимает вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = 0,$$

где  $T, \Pi$  – кинетическая и потенциальная энергии системы соответственно;  $\Phi$  – функция рассеивания энергии;  $q_i, \dot{q}_i$  – обобщенные координаты и скорости соответственно.

Выразим переменные через обобщенные координаты:

$$q_1 = z; q_3 = \psi; q_5 = \varphi_1; q_7 = \varphi_2; q_2 = \varphi; q_4 = z_1; q_6 = z_2; q_8 = x,$$

где  $\varphi$  – угол поворота вокруг оси у каретки;  $\psi$  – угол поворота каретки вокруг оси  $x$ ;  $\varphi_1, \varphi_2$  – углы поворота соответственно первой и второй пар роликов каретки вокруг оси  $x$ ;  $x$  – поступательное перемещение центра масс каретки и пар роликов.

Учитывая вышеприведенные обозначения, можно записать выражение для кинетической энергии:

$$T = 0,5m_K q_1^2 + 0,5J_y q_2^2 + 0,5J_x q_3^2 + 0,5m_{II} q_4^2 + 0,5J_{1x} q_5^2 + \\ + 0,5m_{II} q_6^2 + 0,5J_{1x} q_7^2 + 0,5 \left( m_K + 2m_{II} + \frac{2J_{1y}}{\Phi^2} \right) q_8^2,$$

где  $J_x, J_y$  – моменты инерции каретки относительно осей  $x$  и  $y$  соответственно;  $J_{1x}, J_{1y}$  – моменты инерции колесных пар роликов относительно осей  $x$  и  $y$ ;  $m_K$  – масса, приходящаяся на каретку;  $m_{II}$  – масса пар роликов каретки.

Можно записать и выражения для потенциальной энергии:

$$П = 0,5 \left( \sum_{i=1}^4 \Delta_i^2 c_i + \sum_{i=1}^4 \delta_i^2 c_{i1} \right). \quad (3.15)$$

Здесь:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= z + \psi b + \varphi l - (z_1 + \varphi_1 l); \\ \Delta_2 &= z - \psi b + \varphi l - (z_1 - \varphi_1 l); \\ \Delta_3 &= z + \psi b - \varphi l - (z_2 + \varphi_2 l); \\ \Delta_4 &= z - \psi b - \varphi l - (z_2 + \varphi_2 l), \end{aligned} \quad (3.16)$$

где  $z, z_1, z_2$  – вертикальные перемещения центров масс соответственно каретки, первой и второй пар роликов. Для малых углов  $tg \varphi = \varphi, tg \psi = \psi$

$$\begin{aligned} \delta_1 &= z_1 + \varphi_1 a - \eta_1; \delta_2 = z_1 - \varphi_1 a - \eta_2; \\ \delta_3 &= z_2 + \varphi_2 a - \eta_3; \delta_4 = z_2 - \varphi_2 a - \eta_4, \end{aligned} \quad (3.17)$$

где  $\Delta_i$  – обратимые деформации опорных частей роликов;  $\delta_i$  – прогибы монорельсового пути;  $\eta_i$  – аналитические выражения, описывающие неровности при движении пар роликов;  $2a$  – ширина профиля монорельса.

Учитывая выражения (3.16) и (3.17), в обобщенных координатах можно записать:

$$\begin{aligned}
 \Delta_1 &= q_1 + bq_3 + lq_2 - (q_4 + bq_5); \\
 \Delta_2 &= q_1 - bq_3 + lq_2 - (q_4 - bq_5); \\
 \Delta_3 &= q_1 + bq_3 - lq_2 - (q_6 + bq_7); \\
 \Delta_4 &= q_1 - bq_3 - lq_2 - (q_6 - bq_7),
 \end{aligned}
 \tag{3.18}$$

$$\begin{aligned}
 \delta_1 &= q_4 + aq_5 - \eta_1; \\
 \delta_2 &= q_4 - aq_5 - \eta_2; \\
 \delta_3 &= q_6 + aq_7 - \eta_3; \\
 \delta_4 &= q_6 - aq_7 - \eta_4.
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

После подстановки выражений (3.18) и (3.19) в уравнение (3.15) и при условии, что деформации и неровности одинаковы на обеих сторонах профиля монорельса (при симметричном их расположении относительно оси  $z$ , т.е. при  $\eta_1 = \eta_2 = \eta_3$ ,  $\eta_3 = \eta_4 = \eta'$ ), получим:

$$\begin{aligned}
 \Pi &= 2q_1^2 - 2cq_1q_4 - 2cq_1q_6 + 2cb^2q_3^2 - 2cb^2q_3q_5 - 2cb^2q_3q_7 + 2cl^2q_2^2 - 2clq_2q_4 + 2clq_2q_6 + \\
 &+ cb^2q_5^2 + cb^2q_7^2 + cq_6^2 + c_1q_4^2 + c_1q_6^2 + cq_4^2 - 2c_1q_4\eta + c_1a^2q_5^2 - 2c_1q_6\eta' + c_1a^2q_7^2 + c_1\eta^2 + c_1\eta'^2,
 \end{aligned}$$

где  $2l$  – расстояние между осями первой и второй пары роликов в каретке;  $2b$  – расстояние между кронштейнами колесной пары;  $c, c_1$  – жесткости опорных частей роликов и монорельсового пути соответственно.

Выражения для одной из составляющих уравнения Лагранжа (функции рассеивания  $\Phi$ ) имеют вид:

$$\Phi = 0,5 \left( \sum_{i=1}^4 \alpha_i \Delta_i^2 + \sum_{i=1}^4 \alpha_{i1} \delta_i^2 \right)$$

или с учетом обобщенных координат

$$\begin{aligned}
 \Phi &= 2\alpha\dot{q}_1^2 - 2\alpha\dot{q}_1\dot{q}_4 - 2\alpha\dot{q}_1\dot{q}_6 + 2\alpha b^2\dot{q}_3^2 - 2\alpha b^2\dot{q}_3\dot{q}_5 - 2\alpha b^2\dot{q}_3\dot{q}_7 + \\
 &+ 2\alpha l^2\dot{q}_2^2 - 2\alpha l\dot{q}_2\dot{q}_4 + 2\alpha l\dot{q}_2\dot{q}_6 + \alpha b^2\dot{q}_5^2 + \alpha b^2\dot{q}_7^2 + \alpha\dot{q}_6^2 + \alpha_1\dot{q}_4^2 + \\
 &+ \alpha_1\dot{q}_6^2 + \alpha\dot{q}_4^2 - 2\alpha_1\dot{q}_4\dot{\eta} + \alpha_1a^2\dot{q}_5^2 - 2\alpha_1\dot{q}_6\dot{\eta}' + \alpha_1a^2\dot{q}_7^2 + \alpha_1\dot{\eta}^2 + \alpha_1\dot{\eta}'^2,
 \end{aligned}$$

где  $\alpha, \alpha_1$  – коэффициенты вязкого сопротивления опорных частей роликов и монорельсового пути соответственно.

Учитывая вышесказанное, дифференциальные уравнения движения одиночной каретки при взаимодействии с монорельсом можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned}
 m_K \ddot{q}_1^2 + 4\alpha \dot{q}_1 - 2\alpha \dot{q}_6 + 4cq_1 - 2cq_4 - 2cq_6 - 2\alpha \dot{q}_4 &= 0; \\
 J_y \ddot{q}_2 + 4\alpha l^2 \dot{q}_2 - 2\alpha l \dot{q}_4 + 2\alpha l \dot{q}_6 + 4cl^2 q_2 - 2clq_4 + 2clq_6 &= 0; \\
 J_x \ddot{q}_3 + 4ab^2 \dot{q}_3 - 2ab \dot{q}_5 - 2ab \dot{q}_7 + 4cb^2 q_3 - 2cb^2 q_5 - 2cb^2 q_7 &= 0; \\
 m_{II} \ddot{q}_4 - 2\alpha \dot{q}_1 - 2\alpha l \dot{q}_2 + 2\alpha \dot{q}_4 - 2\alpha_1 \dot{\eta} - 2cq_1 - 2clq_2 + 2cq_4 + 2\alpha_1 \dot{q}_4 + 2c_1 q_4 - 2c_1 \eta &= 0; \\
 J_{lx} \ddot{q}_5 - 2ab^2 \dot{q}_3 + 2ab^2 \dot{q}_5 + 2\alpha_1 a \dot{\eta} - 2cb^2 q_3 + 2cb^2 q_5 + 2\alpha_1 a^2 \dot{q}_5 + 2c_1 a^2 \dot{q}_5 - 2c_1 a \eta &= 0; \\
 m_{II} \ddot{q}_6 - 2\alpha \dot{q}_1 + 2\alpha l \dot{q}_2 + 2\alpha \dot{q}_6 + 2\alpha_1 \dot{q}_6 - 2\alpha_1 \dot{\eta}' - 2cq_1 + 2clq_2 + 2cq_6 + 2c_1 q_6 - 2c_1 \eta' &= 0; \\
 J_{lx} \ddot{q}_7 - 2ab^2 \dot{q}_3 + 2ab^2 \dot{q}_7 + 2\alpha_1 a^2 \dot{q}_7 + 2\alpha_1 \dot{\eta}' - 2cb^2 q_3 + 2cb^2 q_7 + 2c_1 a^2 \dot{q}_7 + 2c_1 a \eta' &= 0; \\
 \left( m_K + 2m_{II} + \frac{2J_{ly}}{R_K^2} \right) \ddot{q}_8 &= 0.
 \end{aligned} \right\} (3.20)$$

В системе (3.20) восьмое уравнение описывает поступательное движение каретки. Предполагается, что каретка катится без проскальзывания и без отрыва от профиля монорельса. В этом случае при прохождении стыка центр тяжести ролика описывает дугу окружности, радиус которой равен радиусу самого ролика. Центр этой окружности находится в точке М (рис. 3.9).

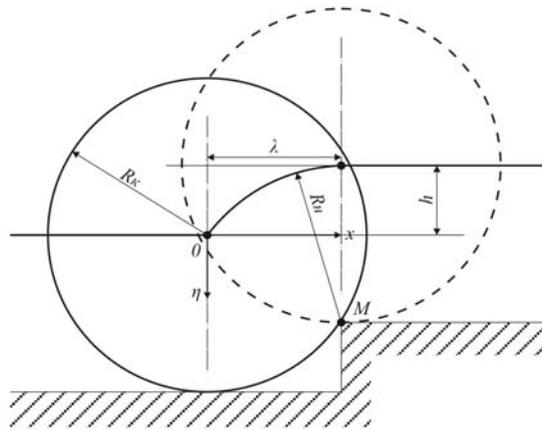


Рис. 3.9. Расчетная схема изменения траектории движения центра роликоопоры подвижного состава при прохождении стыкового соединения:

- $h$  – высота неровности (стыка), м;
- $R_{HK}$  – радиус ролика каретки, м;
- $\lambda$  – длина неровности, м

Таким образом, учитывая вышесказанное, стыковое соединение монорельса заменяется изолированной неровностью профиля, представляющей собой дугу окружности, аналитическое выражение для которой можно выразить в виде  $(x - \lambda)^2 + (\eta - (R_K - h))^2 = R_H^2$ . Отсюда

$$\eta = (R_K - h) \pm \sqrt{R_K^2 - (vt - \lambda)^2}, \text{ где } vt = x.$$

После разложения в ряд  $\eta$  примет вид

$$\eta = \frac{\sqrt{2R_k h - h^2}}{R_k - h} vt - 0,5 \left( \frac{R_k^2}{(R_k - h)^3} v^2 t^2 \right), \text{ где } \lambda = \sqrt{2R_k h - h^2}.$$

Определим усилия, действующие на опорные части роликов каретки при движении их по неровности профиля:

$$\begin{aligned} F'_1 = F'_2 &= cq_1 + clq_2 + cq_4 + \alpha\dot{q}_1 + \alpha l\dot{q}_2 - \alpha\dot{q}_4; \\ F'_3 = F'_4 &= cq_1 - clq_2 - cq_6 + \alpha\dot{q}_1 - \alpha l\dot{q}_2 - \alpha\dot{q}_6. \end{aligned}$$

Обратимые деформации опорных частей роликов будут соответственно иметь вид:  $\Delta_1 = \Delta_2 = q_1 - lq_2 - q_4$ ;  $\Delta_3 = \Delta_4 = q_1 - lq_2 - q_4$ .

Составим уравнения усилий, возникающих на контакте пар роликов и профиля монорельса:

$$F_1 = F_2 = c_1 q_4 + \alpha_1 \dot{q}_4 - c \eta_1 - \alpha \dot{\eta}_1, \quad F_3 = F_4 = c_2 q_6 + \alpha \dot{q}_6 - c_1 \eta_3 - \alpha_1 \dot{\eta}_3.$$

Колебания каретки, вызванные движением по неровности профиля пути при симметричном расположении неровностей на обеих частях профиля монорельса (относительно оси  $z$ ), описываются уравнениями (3.15), (3.16), (3.18) и системой уравнений (3.20). Перепишем эти уравнения с учетом обобщенных координат:

$$\left. \begin{aligned} m_k \ddot{q}_1 + 4\alpha\dot{q}_1 - 2\alpha\dot{q}_6 + 4cq_1 - 2cq_4 - 2cq_6 - 2\alpha\dot{q}_4 &= 0; \\ J_y \ddot{q}_2 + 4\alpha l^2 \dot{q}_2 - 2\alpha l \dot{q}_4 + 2\alpha l \dot{q}_6 + 4cl^2 q_2 - 2clq_4 + 2clq_6 &= 0; \\ m_{\pi} \ddot{q}_4 - 2\alpha\dot{q}_1 - 2\alpha l \dot{q}_2 + 2(\alpha + \alpha_1)\dot{q}_4 - 2cq_1 - 2clq_2 + 2(c + c_1)q_4 &= 2\alpha_1 \dot{\eta}_1 + 2c_1 \dot{\eta}; \\ m_{\pi} \ddot{q}_6 - 2\alpha\dot{q}_1 + 2\alpha l \dot{q}_2 + 2(\alpha + \alpha_1)\dot{q}_6 - 2cq_1 + 2clq_2 + 2(c + c_1)q_6 &= 2\alpha_1 \dot{\eta}' + 2c_1 \dot{\eta}'. \end{aligned} \right\} (3.21)$$

Для примера решим приведенную выше систему из четырех уравнений при заданных условиях: максимальный вес, приходящийся на одну каретку, 40000 Н, разность высот профиля на стыковом соединении 2 мм, скорость перемещения 1,3 м/с. Решив систему из четырех уравнений, получим зависимость изменения угла поворота вокруг оси вращения пар роликов каретки при прохождении стыкового соединения ( $q_2 = \varphi$ ), а также вертикальные перемещения центров масс соответственно каретки, первой и второй пар роликов ( $q_1 = z$ ;  $q_4 = z_1$ ;  $q_6 = z_2$ ) для заданного промежутка времени (рис. 3.10).

Представленные на рис. 3.10 результаты моделирования и расчеты различных технологических и эксплуатационных параметров транспортировки грузов (3.21) позволили сформулировать вывод, что в малые промежутки времени положение центра масс каретки практически не изменяется, а динамические нагрузки, возникающие при прохождении грузовой каретки

монорельсовой дороги через стыковые соединения, могут рассматриваться как статические. При этом количественные их значения могут быть различными в зависимости от скорости транспортирования и массы перевозимого груза, приходящегося на одну пару опорных роликов.

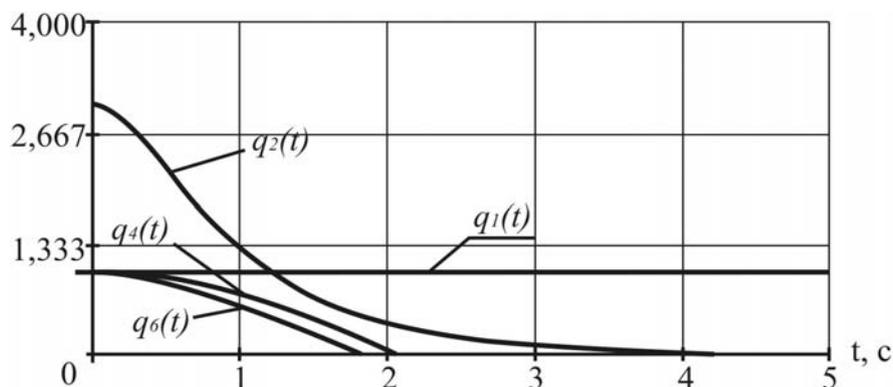


Рис. 3.10. Результаты моделирования

Таким образом, представленная модель является инструментом для установления особенностей нагружения элементов арочной крепи при движении подвижного состава по монорельсу и расчетов величин нагрузок  $P$  (рис. 3.8), оказывающих непосредственное воздействие на несущую способность арочной крепи в транспортных выработках с подвесной монорельсовой дорогой.

Регулируя параметры взаимодействия рассматриваемой системы «подвижной состав – монорельс – арочная крепь – массив горных пород», такие как скорость транспортирования и масса перевозимого груза, приходящаяся на одну пару опорных роликов, можно прогнозировать пропускную способность подготовительных выработок и соответственно темпы их проведения и время подготовки новых выемочных столбов в условиях интенсификации горных работ.

### 3.3. Повышение устойчивости крепи подготовительных выработок с подвесными монорельсовыми дорогами

Как указывалось ранее, одной из решаемых задач представленной монографии является исследование параметров подсистемы «крепь выработки – став монорельсовой дороги». Это, прежде всего, величины передаваемых нагрузок от монорельсовой дороги по подвеске в месте прикрепления ее к арочной крепи транспортной выработки при прохождении стыкового соединения монорельса грузовыми каретками.

В предыдущем параграфе оговаривалось, что величина веса передаваемых нагрузок в малые промежутки времени равна весу, приходящемуся на одну грузовую каретку подвижного состава монорельсовой дороги.

Шахтными исследованиями установлено, что подвеска согласно существующим проектным нормам представляет собой отрезок цепи типа  $18 \times 64$  – Кл, а длина его в зависимости от условий эксплуатации изменяется в диапазоне  $0,4 - 1,5$  м. Поскольку длина подвески не постоянна и даже в пределах одной горной выработки изменяется, то рассмотрение отрезков всех ее длин является очень сложной задачей. Поэтому для более точного решения поставленной задачи настоящими исследованиями предусматривается ввести некоторые допущения. Если принять, что каждое плоское поперечное сечение подвески шахтной монорельсовой дороги во время движения не изменяет своих геометрических параметров, а напряжение распределено по нему равномерно, то рассмотрев малый элемент любого из звеньев подвески монорельса и представив его как стержень, ограниченный сечениями I – I и II – II длины  $\delta z$  с поперечной площадью равной,  $S$ , можно получить уравнение движения (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Расчетная схема определения нагрузок в подвеске монорельса от действия подвижного состава

Пусть напряжение в плоскости, проходящей через I – I, равно  $\sigma_{zz}$ , тогда на другом конце элемента сечения II – II напряжение равно  $\sigma_{zz} + \left(\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}\right) \delta z$  и согласно [95] имеем:

$$m_v S \delta z \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = S \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} \delta z, \quad (3.22)$$

где  $m_v$  – объемная масса стержня. Отношение напряжения  $\sigma_{xx}$  к деформации  $du/dx$  равно модулю упругости  $E$ , так что (3.22) можно записать в виде:

$$m_v \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = E \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}. \quad (3.23)$$

Решение уравнения (3.23) представим в виде:

$$u = f\left(t \cdot \left(\frac{E}{m_V}\right)^{0,5} - z\right) + F\left(t \cdot \left(\frac{E}{m_V}\right)^{0,5} + z\right), \quad (3.24)$$

где  $F$  и  $f$  – произвольные функции, определяемые начальными условиями. Функция  $f$  соответствует волне, распространяющейся в направлении возрастания  $z$ , а функция  $F$  – в направлении убывания  $z$ .

Однако не предполагалось, что стержень обязательно цилиндрический, и уравнение (3.23) приемлемо при рассмотрении стержней любого поперечного сечения, не изменяющегося по длине.

Следует также учесть допущения, что плоские поперечные сечения стержня остаются постоянными при прохождении волн напряжения, которое равномерно распределяется по каждому поперечному сечению. Между тем продольные удлинения и сокращения отрезков стержня обязательно сопровождаются поперечными сокращениями и расширениями, причем отношение поперечных и продольных деформаций подчинены закону Пуассона [95]. Это движение приводит к неоднородному распределению напряжений по поперечному сечению стержня, так что плоские поперечные сечения искажаются.

Рассмотрим уравнение (3.24) для описания следствия приложения упругих волн, которые распространяются вдоль длины подвески, величина которых велика по сравнению с поперечными размерами рассматриваемого стержня (т. е. подвески). Для простоты рассмотрим волну, распространяющуюся в направлении убывающих значений  $z$ , и запишем формулу:

$$u = f\left(t \cdot \left(\frac{E}{m_V}\right)^{0,5} + z\right). \quad (3.25)$$

Дифференцируя обе части (3.25) по  $z$ , получим:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = f'\left(t \cdot \left(\frac{E}{m_V}\right)^{0,5} + z\right), \quad (3.26)$$

где  $f'$  означает производную по аргументу  $\left(t \cdot \left(\frac{E}{m_V}\right)^{0,5} + z\right)$ .

Затем возьмем производную от (3.25) по времени и получим:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = t \left(\frac{E}{m_V}\right) f' + z f' \cdot \left(\frac{E}{m_V}\right)^{0,5}, \quad (3.27)$$

далее преобразуем выражения (3.26), подставляя (3.27):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left( \frac{E}{m_v} \right)^{0,5} \cdot \frac{\partial u}{\partial z}.$$

Поскольку  $\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\sigma_{zz}}{E}$ , тогда:

$$\sigma_{zz} = (Em_v)^{0,5} \cdot \frac{\partial u}{\partial t}. \quad (3.28)$$

Уравнение (3.28) показывает, что напряжение в каждой точке подвески монорельса пропорционально скорости распространения в ней упругих волн и зависит от коэффициента  $(Em_v)^{0,5}$ . В связи с вышеизложенным можно сформулировать следующий вывод: передаваемая на арочную крепь нагрузка пропорциональна приведенному выше коэффициенту и будет изменяться в зависимости от материала, из которого изготовлена подвеска. Необходимо также отметить, что величина коэффициента не зависит от геометрической длины подвески, так как она относительно мала, чтобы увеличить нарастание передаваемой нагрузки на арочную крепь подготовительной выработки от подвижного состава монорельсовой дороги.

Шахтными исследованиями установлено, что нагрузка, передаваемая арочной крепи и массиву горных пород при движении груженого состава по монорельсу, имеет свои особенности, которые определяются состоянием трассы монорельса, скоростью перемещения груза, его массой и описывается параметрами взаимодействия подсистемы «монорельс – подвижной состав». Исследования характера взаимодействия элементов этой подсистемы проводились в условиях шахты им. Стаханова [96]. В результате были сформулированы следующие выводы:

– при движении грузовых тележек по искривленному в профиле и плане ставу монорельса, а также в местах соединения его звеньев возникают динамические нагрузки, передаваемые элементам арочной крепи и массиву горных пород;

– показатели нагрузок, передаваемых арочной крепи (рис. 3.12), зависят от состояния трассы монорельса, скорости перемещения и величины груза, транспортируемого по участковой выработке.

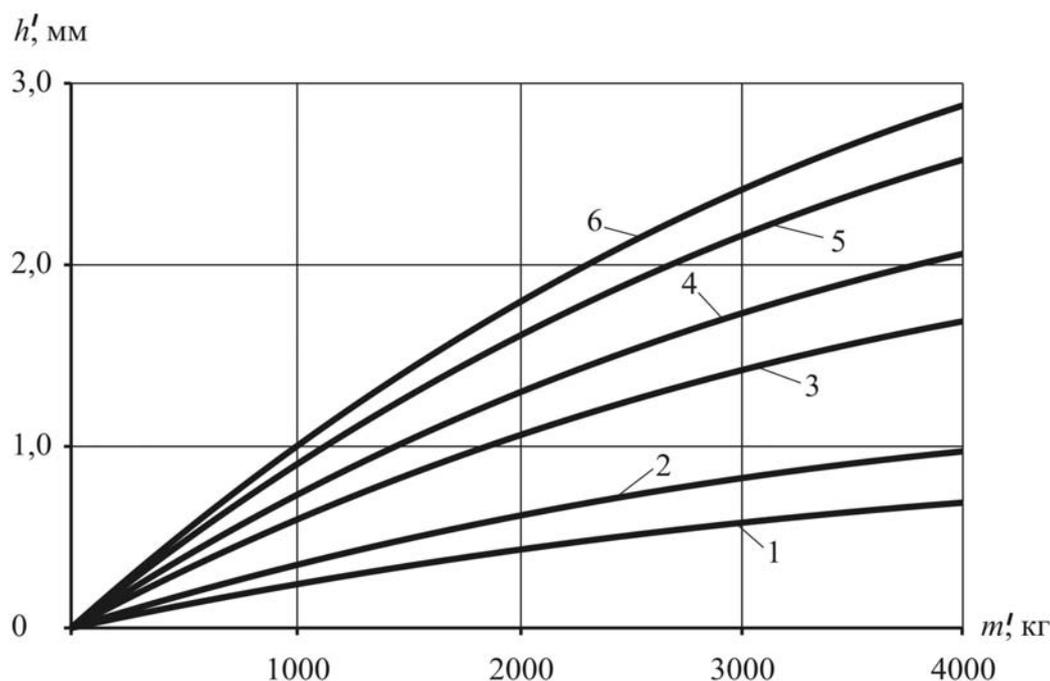


Рис. 3.12. Зависимости изменения податливости элементов арочной крепи от массы груза:

- 1 – для  $v = 0,5$  м/с; 2 – для  $v = 1,0$  м/с; 3 – для  $v = 1,2$  м/с;  
 4 – для  $v = 1,5$  м/с; 5 – для  $v = 1,8$  м/с; 6 – для  $v = 2,0$  м/с

Кроме того, установлены зависимости податливости элементов арочного крепления подготовительных выработок от величины транспортируемого груза для различных показателей скорости перемещения (таблица).

**Зависимость податливости элементов арочной крепи от массы груза, транспортируемого по монорельсу одной грузовой тележкой  $h' = f(m')$**

Скорость транспортирования, $v$ , м/с	Аналитическое выражение
0,5	$h' = -0,033(m')^2 + 0,373m' - 0,268$
1,0	$h' = -0,0465(m')^2 + 0,5235m' - 0,376$
1,2	$h' = -0,08(m')^2 + 0,901m' - 0,647$
1,5	$h' = -0,097(m')^2 + 1,093m' - 0,785$
1,8	$h' = -0,121(m')^2 + 1,363m' - 0,979$
2,0	$h' = -0,135(m')^2 + 1,518m' - 1,09$

Необходимо отметить, что значения масс на приведенном графике (рис. 3.12) по оси абсцисс соответствуют нагрузкам, приходящимся на одну грузовую каретку подвижного состава монорельсовой дороги.

Таким образом, масса всего поезда может быть определена суммированием количества грузовых кареток при условии, что транспортируемый груз распределен равномерно вдоль всего подвижного состава.

Как указывалось в п. 3.2, по результатам шахтных исследований установлено, что при взаимодействии несущих рам арочной крепи с массивом горных пород после многократного прохождения подвижного состава, при перемещении крупнотоннажных грузов, через стыковое соединение монорельса наблюдается значительное изменение несущей способности секции арочной крепи. Это приводит к потере устойчивости и изменению площади поперечного сечения выработки. Примером может служить состояние одной из участковых транспортных выработок ОАО «Шахтоуправление «Покровское» (рис. 3.3).

Учитывая вышесказанное, возникает необходимость охраны подготовительных транспортных выработок, где применяются подвесные монорельсовые дороги как с канатной, так и дизельной тягой. Поэтому настоящей монографией предусматривается разработка новых способов охраны транспортных выработок.

Известный способ монтирования шахтной монорельсовой дороги в горной выработке – установка металлической арочной податливой крепи. К ней прикрепляется став монорельсовой дороги двутаврового поперечного сечения, по которому перемещается подвижной состав [78].

Основным недостатком использования шахтной монорельсовой дороги является нарушение условий устойчивого взаимодействия элементов крепи с массивом горных пород под действием статических и реактивных динамических нагрузок, приложенных к монорельсу, при взаимодействии с ним подвижного состава как при установившемся, так и особенно при неустановившемся режиме движения. В момент разгона подвижного состава, плавного или экстренного торможения создаются значительные знакопеременные опрокидывающие моменты силы, которые воспринимаются арочной крепью, в результате чего провоцируется ее смещение относительно кровли выработки. Кроме того, при этом может происходить расслоение и обрушение пород кровли и, как следствие, нарушение стабильных связей между металлической податливой крепью и непосредственной кровлей выработки.

Наиболее близкий к предлагаемому – описанный выше известный способ применения монорельсовой дороги, который включает в себя техническое решение по закреплению ее става. В конструкции такой дороги предлагается использовать специальные П-образные башмаки и плиты, каждая из которых анкерами прижата к кровле выработки, а между ней и П-образным башмаком размещена вставка из податливого материала, которая снижает влияние реактивных динамических сил, возникающих при перемещении подвижного состава [97].

Основным недостатком способа является наличие упомянутых П-образных башмаков и специальных плит, которые усложняют технологию монтажа и увеличивают количество взаимодействующих узлов, что приводит к снижению надежности закрепления става монорельсовой дороги. Кроме того, предложенный способ оговаривает обязательное применение анкерного крепления, что не всегда возможно из-за разнообразия горно-геологических условий.

Монорельс крепится в пространстве горной выработки, тем самым обеспечивая устойчивую работу арочной крепи за счет распределения реактивных динамических нагрузок, возникающих и передающихся от монорельса арочной крепи подготовительной выработки как при движении подвижного состава в различных режимах транспортирования, так и в моменты прохождения его через стыковые соединения става монорельсовой дороги.

Технический результат достигается за счет того, что при монтаже шахтной монорельсовой дороги в транспортных горных выработках, закрепленных металлической арочной податливой крепью из профиля СВП, на которой крепится став монорельса (несущий профиль – двутавр), применяется способ подвешивания, предусматривающий распределение статических и реактивных динамических нагрузок. Эти нагрузки возникают и передаются арочной крепи подготовительной выработки от монорельса как при движении подвижного состава в различных режимах транспортирования, так и в моменты прохождения его через стыковые соединения става монорельсовой дороги.

Способ охраны подготовительной транспортной выработки с предлагаемой схемой подвешивания става монорельсовой дороги представлен на рис. 3.13.

В подготовительной транспортной выработке подвижной состав монорельсовой дороги перемещается по несущему профилю 1. Секции става профиля крепятся между собой замковым соединением 2 внизу двутаврового сечения и проушинами 3 в верхней его части. Далее при помощи специального комплектующего устройства 4 монорельс соединяется с вертикальной цепью подвеса 5, которая крепится к наклонной цепи подвеса 6 в центральной ее части. При этом концы наклонной цепи подвеса прикрепляются при помощи болтов к арочному подвесу пути 8. Специальные болты закрепляют арочный подвес пути на арочном профиле СВП 10. Экспериментальными исследованиями доказано, что образуемый суммарный угол  $\beta_1 + \beta_2$  (рис. 3.13) должен быть не менее  $120^\circ$  между двумя частями наклонной цепи подвеса и может быть не симметричным относительно вертикальной оси. Это обусловлено несовершенством установки секций арочного крепления в пространстве подготовительной транспортной выработки.

Далее поясним, как сохраняется устойчивость арочной крепи, тем самым не нарушая подземную транспортную выработку. Во время перемещения подвижного состава по монорельсу при установившемся и неустановившемся режимах движения и в моменты прохождения через его стыковые соединения в нем возникают продольные статические и динамические реактивные нагрузки, которые могут достигать больших значений как при разгоне, так и при штатном и экстренном торможении подвижного состава монорельсовой дороги.

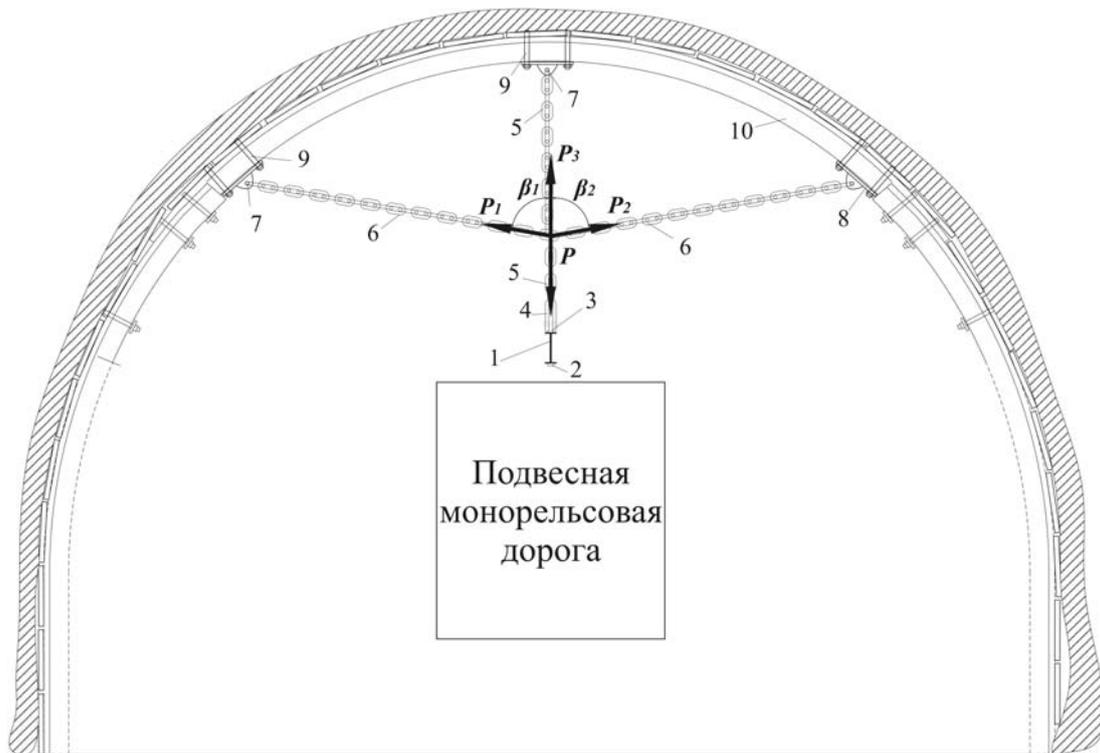


Рис. 3.13. Схема подвешивания става монорельсовой дороги к раме арочного крепления подготовительной выработки:

1 – несущий профиль I 155; 2 – замковое соединение; 3 – проушина подвесной дороги ДП 155; 4 – специальное комплектное устройство; 5 – вертикальная цепь подвеса; 6 – наклонная цепь подвеса; 7 – болт М 20 x 80; 8 – подвес пути арочный; 9 – специальный болт JP (JPP, JPPP, JPPPP); 10 – стальной арочный профиль СВП

Кроме того, независимо от направления перемещения подвижного состава, часть передаваемых нагрузок распределяется через отрезки наклонной цепи подвеса 6 в горизонтальную плоскость (рис. 3.13). При этом снижаются величины вертикальных составляющих статических и динамических реактивных нагрузок.

Рассмотрим способ крепления става монорельсовой дороги, когда длина отрезков наклонной цепи подвеса одинакова, т.е. соблюдается условие  $\beta_2 = \beta_1$ . Для необходимых расчетов применяется известный принцип Даламбера [93].

Необходимо отметить, что предложенный способ может быть использован и при реконструкции действующих монорельсовых установок, когда монорельс уже закреплен на арочной крепи, что исключит дополнительные нагрузки арочной крепи из-за возникающих опрокидывающих моментов. Предлагаемое техническое решение повышает устойчивость арочной крепи и исключает влияние указанных дополнительных нагрузок на арочный профиль СВП. Таким образом, увеличивается срок службы арочной крепи, снижается величина расслоения и уменьшаются разрушения пород кровли подготовительной транспортной выработки.

Сущностью предложенного способа охраны выработки наряду со схемой подвешивания става монорельсовой дороги является обеспечение устойчивости арочной крепи за счет частичного распределения статических и реактивных динамических нагрузок, возникающих и передающихся крепи от монорельса как при движении подвижного состава в различных режимах транспортирования, так и в моменты прохождения его через стыковые соединения несущего профиля. Это позволит увеличить срок службы арочной крепи и исключить деформацию и изменение площади поперечного сечения транспортной выработки.

## **Выводы**

1. Важнейшим элементом в получении достоверной оценки прогнозирования устойчивости подземных транспортных выработок и транспортно-технологической системы шахты в целом является учет фактора дилатансии горных пород, осуществить который часто невозможно из-за отсутствия рабочих программ расчета с использованием уравнений физических соотношений между напряжениями и деформациями пород, а также характеристик дилатансии пород в справочной литературе и методик её определения.

2. Применяя численное моделирование и системы уравнений (3.12), (3.13) и (3.14), можно производить расчет рассредоточенных нагрузок на крепь с учетом горного давления, что позволяет оценить возможность крепления става монорельсовой дороги непосредственно к арочной крепи в любом ее месте.

3. Приведенная расчетная схема (рис. 3.8) и представленная математическая модель (п. 3.3) могут быть использованы во время математического моделирования решения задачи о взаимодействии подвижного состава с монорельсом, а также в период прохождения его через стыковое соединение.

4. Установлены зависимости податливости элементов арочного крепления подготовительных выработок от величины транспортируемого груза, приходящегося на одну грузовую тележку монорельсовой дороги, для различных показателей скорости перемещения.

5. Разработан новый способ крепления става ПДМ, согласно которому устойчивость арочной крепи повышается за счет распределения статических и реактивных динамических нагрузок, возникающих и передающихся от монорельса к крепи как при движении подвижного состава в различных режимах транспортирования, так и в моменты прохождения его через стыковые соединения несущего профиля. Это позволит увеличить срок службы арочной крепи и исключить деформацию и изменение площади поперечного сечения транспортной выработки.

## **4. АДАПТАЦИЯ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА**

### **4.1. Потенциальные источники повышения темпов подготовительных работ на шахтах Западного Донбасса**

Своевременная подготовка фронта очистных работ в условиях шахт Западного Донбасса обеспечивается пропускной способностью применяемых транспортно-технологических схем и эффективной организацией работы проходческих участков.

Одним из основных условий своевременной подготовки нового выемочного участка (столба) является выполнение необходимых объемов подготовительных (проходческих) работ за период времени, в течение которого дорабатывается действующий выемочный участок с учетом временного запаса (резерв до 25...40 %) на перевыполнение плана добычи угля, монтажные и другие работы. Однако, как показала практика, такие требования приемлемы для комбайнового способа проведения выработок по пластам со стабильными горно-геологическими условиями и при соответствующем уровне механизации подготовительных работ.

Накопленный на шахтах Западного Донбасса опыт эксплуатации напочвенных канатных дорог нового поколения в качестве единого транспортного средства при проведении подготовительных выработок [9] обуславливает необходимость координации горноподготовительных работ с применением дизельных ПДМ.

Предложенная в п. 2.4 (рис. 2.14) адаптивная технологическая схема подготовительных работ на базе применения дизельных ПДМ предусматривает комплексное их использование как:

- вспомогательный транспорт для доставки в действующую лаву материалов, оборудования и людей;
- транспортно-технологическая система, обслуживающая горно-проходческие работы при проведении участковых подготовительных выработок и разрезной печи (просека);
- специальное транспортное средство, обеспечивающее демонтаж и монтаж забойного оборудования без разбора секций крепи на грузовые единицы при подготовке нового выемочного столба к очистной выемке.

Следует отметить, что в основу создания адаптивной схемы подготовительных работ с использованием ПДМ нового поколения был положен принцип теории технических систем, базирующийся на выявлении закономерностей, справедливых для всех видов вспомогательного транспорта.

С учетом вышеизложенного в ходе проектирования высокоадаптивной транспортно-технологической системы, обеспечивающей своевременную подготовку запасов к очистной выемке, необходимо было научно обосновать и сформулировать для каждого технологического звена технические и

организационные задачи. В процессе решения этих задач были определены следующие показатели, формирующие адаптивные возможности транспортно-технологической системы в сложных горно-геологических условиях подготовки запасов на шахтах Западного Донбасса:

- исследование потенциальных источников интенсификации горно-подготовительных работ, характерных для каждого вида транспорта;
- сравнение структур транспортно-технологических схем подготовки запасов к очистной выемке и их преобразование;
- разработка «Исходных требований на применение технологических схем подготовки выемочных столбов с использованием подвесных монорельсовых дорог повышенной адаптационной способности в условиях активного пучения почв подготовительных выработок».

Учитывая полное отсутствие каких-либо научных результатов по обоснованию параметров транспортно-технологических систем для подготовки запасов к очистной выемке с применением ПДМ, целесообразность принятия разрабатываемых новых технических решений определялась путем сравнения технико-экономических показателей традиционных транспортных комплексов и рекомендуемого оборудования нового поколения.

Благодаря существующим в регионе схемам подготовки запасов угля можно увеличить темпы подвигания подготовительных забоев до 2000 – 2400 м/год, тем самым обеспечивая формирование нового выемочного столба. В связи с увеличением нагрузок на очистные забои и внедрением высокопроизводительного выемочного оборудования нового поколения возникает необходимость в соответствующей координации технологических схем для увеличения темпов проведения участковых наклонных выработок.

В специфических (сложных горно-геологических) условиях залегания угольных пластов планируемые показатели продолжительности проведения и соответственно месячные темпы подвигания подготовительных забоев нуждаются в постоянной корректировке. Обусловлено это тем, что график проведения подготовительных выработок, при известной их проектной длине, зависит не только от общепринятых показателей, таких как темпы подвигания забоя в смену, режим работы по проходке, число рабочих дней в месяце, но и от способности адаптации проходческого и транспортного оборудования к реальным условиям их эксплуатации.

Подтверждением данного вывода могут служить обобщенные графики выполнения работ в подготовительных забоях при локомотивной откатке грузов [9]. На рис. 4.1 приведена планограмма процессов комбайнового проведения выработок, характерная для схем с применением напочвенных рельсовых транспортных установок периодического действия. Из планограммы видно, что каждый цикл работ в подготовительном забое начинается с работы комбайна по разрушению массива и заканчивается процессами крепления выработки и транспортирования грузов. Вспомогательные процессы и операции – сооружение водосточной канавки, рельсового пути и т. д. – совмещены с процессом крепления и практически не влияют на их продолжительность.

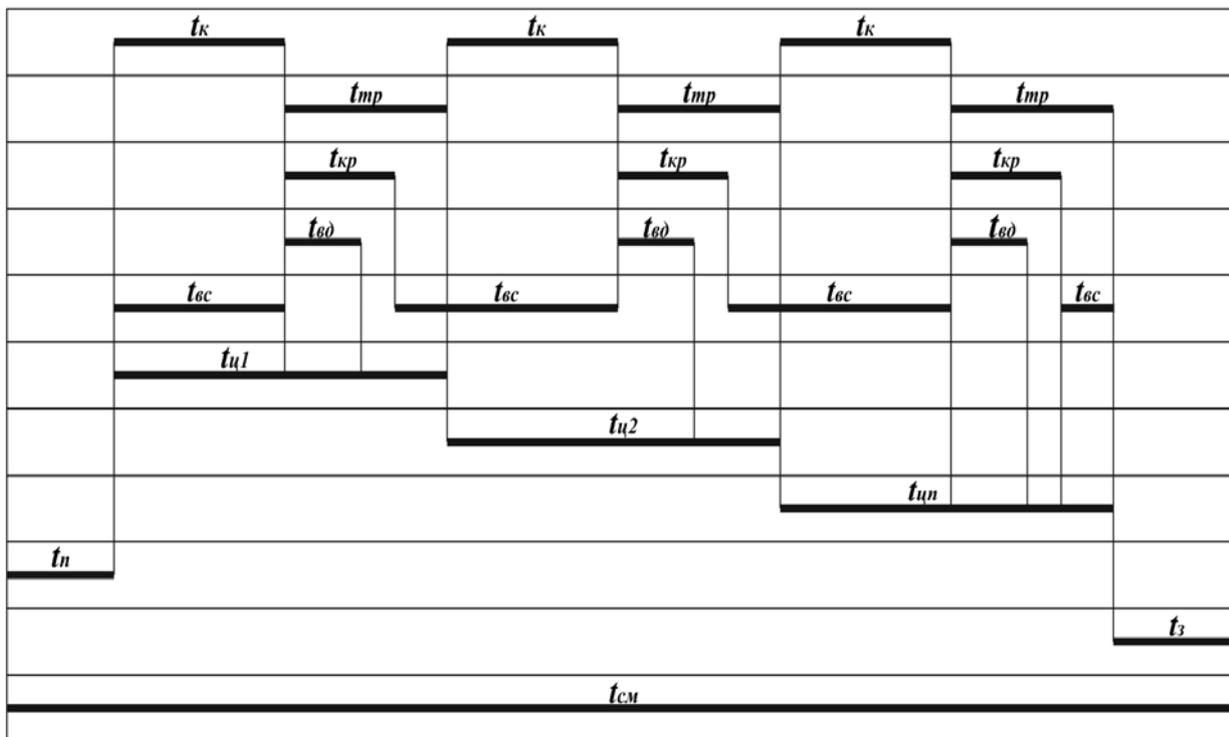


Рис. 4.1. Операции комбайнового проведения участковых пластовых выработок с применением транспортных установок периодического действия, продолжительность:  $t_k$  – работы комбайна,  $t_{mp}$  – транспортирования груза,  $t_{kp}$  – крепления выработки,  $t_{вд}$  – устройства водосточной канавки,  $t_{u1}$  – 1-го цикла,  $t_{u2}$  – 2-го цикла,  $t_{un}$  –  $n$ -го цикла,  $t_n$  – подготовительных операций,  $t_з$  – заключительных операций,  $t_{см}$  – смены

Продолжительность проходческого цикла будет равна суммарной длительности всех входящих в него операций с учетом их возможного совмещения во времени. При отсутствии совмещения, когда все основные процессы и операции выполняются последовательно, проходческие циклы четко разделяются между собой во времени. Характерной особенностью такой технологической схемы является цикличность выполнения операций с наличием вынужденных перерывов в работе оборудования. В этом случае продолжительность всего проходческого цикла при комбайновом проведении выработок, может быть определена из выражения [9]:

$$t_{ц} = t_k + t_{kp}(1 - k_{с.кр}) + t_{mp}(1 - k_{с.мп}) + t_{вд}(1 - k_{с.вд}) + t_{вс}(1 - k_{с.вс}),$$

где  $k_{с.кр}$ ,  $k_{с.мп}$ ,  $k_{с.вд}$ ,  $k_{с.вс}$  – соответственно коэффициенты, учитывающие совмещение крепления, транспортирования горной массы, отвода воды из забоя и вспомогательных процессов с работой комбайна и между собой.

Численные значения указанных коэффициентов могут быть определены как отношение продолжительности процесса, совмещенного с работой комбайна или другими процессами в составе проходческого цикла, к общей его

продолжительности. В соответствии с [47, 98] при работе проходческого забоя по цикличной технологической схеме, т. е. когда отсутствуют совмещения основных и вспомогательных операций, эти коэффициенты равны нулю.

При поточной технологической схеме проведения выработок, когда горная масса от комбайна передается на конвейерную цепочку и практически все процессы проходческого цикла совмещаются во времени, указанные коэффициенты принимают значения близкие или равные единице. При частичном совмещении процессов выемки и погрузки эти коэффициенты имеют промежуточное значение.

Потенциальными источниками интенсификации работ по подготовке запасов к очистной выемке следует считать факторы, ограничивающие темпы комбайнового проведения выработок. Так, с целью поиска источников повышения темпов комбайнового проведения участковых подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса выполнена оценка потерь времени подготовительных работ. Оцениваемые внутрисменные потери были классифицированы на три основные группы: потери времени производительной работы подготовительного забоя – мин/см.; количественные (по числу случаев за смену) – сл./см. и потери при проведении выработки (в метрах за смену) – м/см.

По результатам оценки показателей комбайнового проведения выработок на шахтах региона установлено, что среднесменные потери времени производительной работы подготовительного забоя составили 130,4 мин/см при средних темпах проведения – 1,6 м/см., а средние потери проведения одного проходческого забоя 0,53 м/см. [9].

Объем среднесменных потерь определялся индивидуально для каждого исследуемого забоя с учетом фактического объема проведения выработок в течение одного цикла (метров проведения на одну раму крепи) и технологического времени, затраченного на выполнение одного цикла:

$$V_{nom} = \frac{T_{nom} V_u}{T_u}, \text{ м/р.к.},$$

где  $T_{nom}$  – потери времени, мин;  $V_u$  – фактический объем проведения выработки в течение одного цикла, м/р.к;  $T_u$  – технологическое время, затраченное на выполнение одного цикла, мин.

В соответствии с действующими в регионе паспортами комбайнового проведения выработок технологическое время, затраченное на выполнение одного проходческого цикла включает: время разрушения массива горных пород исполнительным органом комбайна (машинное время); возведение арочной крепи (с учетом времени транспортировки материалов на расстояние не более 50 м); технологическое время маневров транспортного оборудования, не совмещенное со временем крепления, а также другие операции, не совмещенные с приведенными выше операциями (дробление

крупногабаритных кусков породы, маневры комбайна, наращивание рельсового пути и вентиляционного става, зачистка рабочего пространства выработки и др.).

Значения среднесменных показателей потерь времени в подготовительных забоях сведены в табл. 4.1.

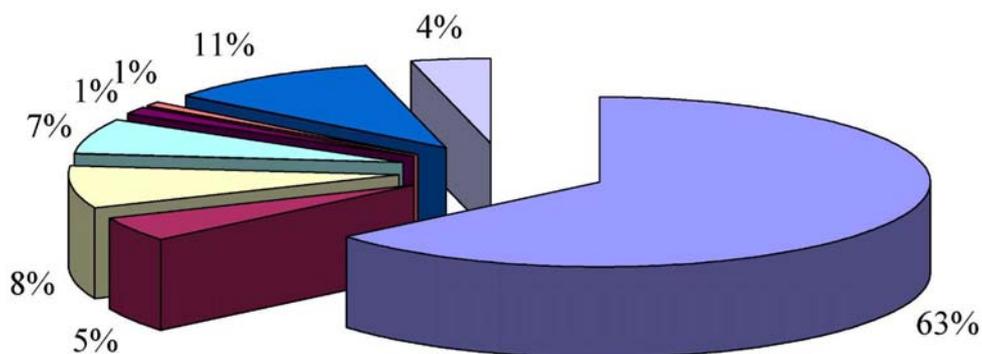
Таблица 4.1

**Среднесменные показатели потерь рабочего времени  
в подготовительных забоях**

Причины потерь времени	Потери времени, мин/см.		Количество случаев, случ./см.		Потери при проведении выработки, м/см.	
	Год					
	2008	2009	2008	2009	2008	2009
Организационные	22,5	17,0	1,13	1,04	0,17	0,08
Аварии оборудования в забое	18,9	29,2	0,73	0,65	0,14	0,11
Аварии призабойного транспорта	12,5	24,5	0,89	0,84	0,1	0,08
Аварии на участке ВШТ	6,1	4,9	0,07	0,1	0,06	0,02
Аварии на участке УКТ	3,1	2,3	0,12	0,12	0,03	0,01
Ожидание порожняка	34,2	38,3	1,2	1,1	0,25	0,16
Прочие	14,0	14,1	0,78	0,57	0,12	0,07

Приведенные в табл. 4.1 показатели потерь характеризуют следующие виды производственной деятельности: организационные причины – доставка людей, производственная дисциплина; аварии забойного оборудования – проходческого комбайна, бурового оборудования, электроснабжения, средств откачки воды; аварии призабойного транспорта – ленточного конвейера, перегружателя ППЛ, канатной откатки, рельсового пути и путевого хозяйства; аварии на участке ВШТ – отсутствие электровоза, аварии опрокида; аварии на участке конвейерного транспорта – аварии конвейеров; ожидание порожняковых вагонов – разминовка, доставка порожняка от ствола, маневры электровоза, отсутствие порожняковых вагонов; прочие работы – доставка материалов, устранение замечаний горнотехнической инспекции и др.

Анализируя структуру среднесменных показателей потерь рабочего времени в подготовительном забое, был сделан вывод, что наиболее весомой причиной снижения темпов прохождения подготовительных выработок является ожидание подачи порожняковых вагонов под погрузку горной массы, т. е. ожидание начала работ очередного цикла горнопроходческих работ. Подтверждением данного вывода является приведенные на рис. 4.2 процентные соотношения потерь времени к общей продолжительности смены.



- 63% - Полезная продолжительность смены
- 5% - Потери времени по организационным причинам
- 8% - Потери времени при аварии забойного оборудования
- 7% - Потери времени при аварии транспорта участка
- 1% - Потери времени при аварии на участке ВШП
- 1% - Потери времени при аварии на участке УКТ
- 11% - Потери времени при ожидании порожняка
- 4% - Потери времени по прочим причинам

Рис 4.2. Диаграмма процентного соотношения потерь времени и полезной продолжительности смены

Таким образом, показатели потерь времени при комбайновом проведении выработок на шахтах региона позволили выявить, что потенциальными источниками повышения эффективности организационно-технологических показателей подготовки запасов угля в условиях интенсификации горных работ являются процессы транспортирования грузов по выработкам и операции по обмену груженых вагонов на порожняковые.

Результаты анализа проходческих забоев с локомотивной и канатной откаткой грузов [52] подтвердили, что в условиях активного пучения почв существенные коррективы в типовые схемы прохождения выработок вносят особенности перемещения грузов по выработке.

Например, в традиционно применяемых схемах концевой откатки грузов при комбайновом проведении выработок по схеме снизу вверх предусматривается загрузка составов из 4 – 6 вагонеток и одновременное перемещение их по выработке. Однако на практике из-за активного пучения пород почвы и знакопеременного профиля пути фактически транспортируют по выработке 1 – 2 вагонетки.

Для выполнения трудоемких операций по обмену груженых вагонеток на порожняковые в устье выработки предусматривают обустройство тупиковых заездов, обслуживание которых возлагается на горнорабочих проходческого звена. Типовая схема проведения участковых подготовительных выработок с использованием электровозов для обмена вагонеток приведена на рис. 4.3.

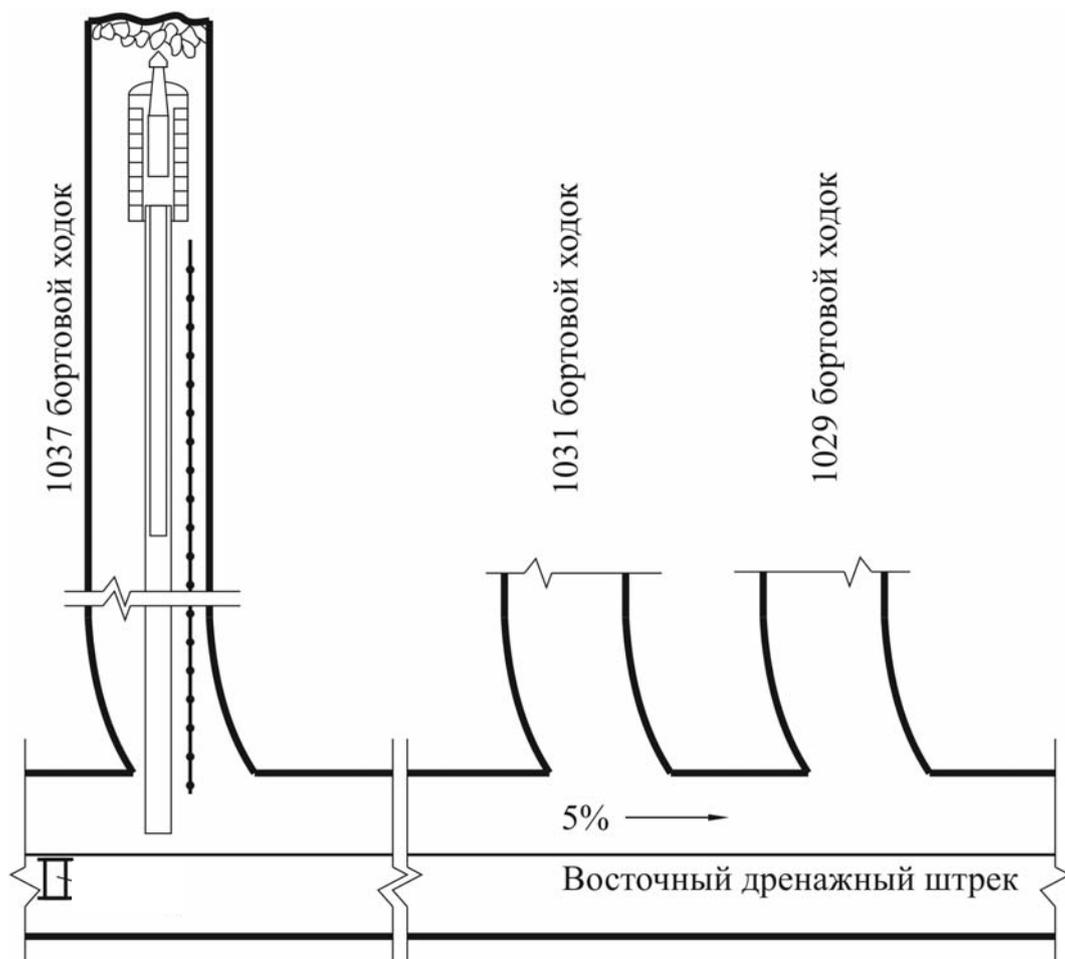


Рис. 4.3. Транспортно-технологическая схема проведения 1037 бортового ходка пласта  $C_{10}$ , горизонт 265 м шахты «Павлоградская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»

Анализ производственных ситуаций позволил установить, что подобные схемы обмена груженых вагонов на порожняковые, несмотря на их высокую трудоемкость и опасность, используются на всех шахтах региона. Традиционно состав порожняковых вагонеток доставляют магистральным электровозом типа АМ-8Д от околоствольного двора до места разминовки 1029 бортового ходка (вместимость разминовки – до 10-ти вагонеток).

После расцепки магистральным электровозом с помощью каната перевозит состав на линию 1029 бортового ходка, продолжая движение по восточному дренажному штреку. Затем затормозив его (колеса вагонеток крепятся к рельсам «хомутами»), возвращается к околоствольному двору.

При наличии груженых породой вагонеток, находящихся на разминовке (линия 1029 бортового штрека), магистральным электровозом отцепляет привезенный состав на определенном расстоянии от места разминовки, учитывая маневровые работы. Затем перетягивает груженые вагонетки на линию восточного дренажного штрека, после чего подает привезенный состав на линию разминовки. Забрав груженый состав, магистральным электровозом возвращается к околоствольному двору. Все маневровые операции в пределах

участка осуществляются при помощи участкового электровоза и маневровой лебедки ЛВД – 34.

Участковый электровоз с линии 1029 бортового штрека подает четыре порожняковые вагонетки (положено три) к месту прицепки на маневровую лебедку ЛВД – 34, с помощью которой их устанавливают под стрелу конвейера 1ЛТ80. Длина транспортирования лебедкой составляет около 550 м. Отбитую в забое комбайном горную массу грузят перегружателем на конвейер 1ЛТ80, с которого она поступает в вагонетки ВГ – 3,3. По окончании загрузки партии вагонеток опускают маневровой лебедкой до места прицепки, откуда участковым электровозом доставляют к месту разминки, где происходит обмен партии груженых вагонеток на порожняковые.

Доставку лесоматериалов и элементов арочной крепи к забою осуществляют канатной напочвенной дорогой на колею 600 мм, имеющей привод от канатного толкания ТКС – 22.

Показатели выполнения транспортных, маневровых и погрузочных операций в технологической цепи при проведении бортового ходка шахты «Днепровская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» приведены в табл. 4.2.

Результаты хронометражных наблюдений позволили выявить существенные недостатки в организации обменно-транспортных операций:

- из-за неудовлетворительного состояния рельсового пути главных откаточных выработок время транспортирования груженого и порожнякового составов увеличивается в среднем на 50,8 %;

- низкая производительность труда в проходческом забое, которую можно повысить, усовершенствовав общую организацию работ в забое и снизив время простоев из-за отсутствия порожняка;

- низкий коэффициент использования участкового электровоза (машинного времени) при общей нехватке количества работоспособных электровозов на горизонте;

- заштыбовка трети порожняковых вагонеток, подаваемых под погрузку (25...40 %).

Необходимо отметить, что в соответствии с рекомендациями [9] на шахте была внедрена технологическая схема комбайнового проведения участковых подготовительных выработок с использованием напочвенных канатных дорог в качестве единого транспортного средства для доставки вспомогательных материалов в забой, вывоза горной массы и обмена вагонеток на разминках (рис. 4.4).

Результаты шахтных исследований эксплуатационных параметров, рекомендованных техническими решениями, позволили установить, что несмотря на ликвидацию значительного объема недостатков традиционных схем транспорта, вопросы обмена груженых вагонеток на порожняковые остались нерешенными. Основная причина – низкая адаптационная способность рельсовых видов транспорта при маневрах в выработках со знакопеременным профилем пути вследствие активного пучения пород почвы.

Таблица 4.2

## Показатели хронометражных наблюдений проведения 1037 бортового ходка ш. Днепровская

№ рейса	Вид груза	Транспортные операции				Маневровые операции				Погрузочные операции						
		Время движения состава, мин		Причины задержек	Время маневров по обмену партии вагонов, мин	Маневровый лебедкой	Маневровый лебедкой	Коеф. использования маневрового электровагона	№ партии вагонов	Число вагонов в партии	Время загрузки одной вагонетки, мин	Время загрузки партии вагонов, мин		Причины задержек		
		к участку	к околотв. двору									без учета задержек	с учета задержек		без учета задержек	с учета задержек
1	8 порожних вагонов + 1 вагон затычки	25	40	-	-	В пути сошла с рельсов вагонетка	15	3	5	0,22	1	6	18,5	122	В процессе погрузки останавливали конвейер для натяжки ленты	
2	8 груженых породой вагонов	-	-	32	-	-	20	8	6	-	1	-	-	-	-	
3	11 порожних вагонов	28	63	-	-	Сошла с рельсов вагонетка, электровагон разошлась колея	18	4	5	0,12	1	5	21	55	Буксовала лента на барабане	
4	8 груженых породой вагонов	-	-	35	-	-	21	5	7	-	1	4	18	31	Останавливали конвейер	
5	1 порожняя вагонетка	28	-	-	-	-	21	3	5	-	1	-	-	-	-	
6	10 порожних вагонов	29	-	-	-	-	17	3	6	0,24	1	7	23	42	Останавливали конвейер	
7	10 порожних вагонов	-	-	30	75	Сошел с рельсов встречный электровагон	25	6	6	-	1	-	-	-	-	
8	6 порожних вагонов	26	-	-	-	-	18	7	6	0,17	1	5	21	21	-	
9	11 груженых вагонов	-	-	28	-	-	26	6	6	-	1	-	-	-	-	

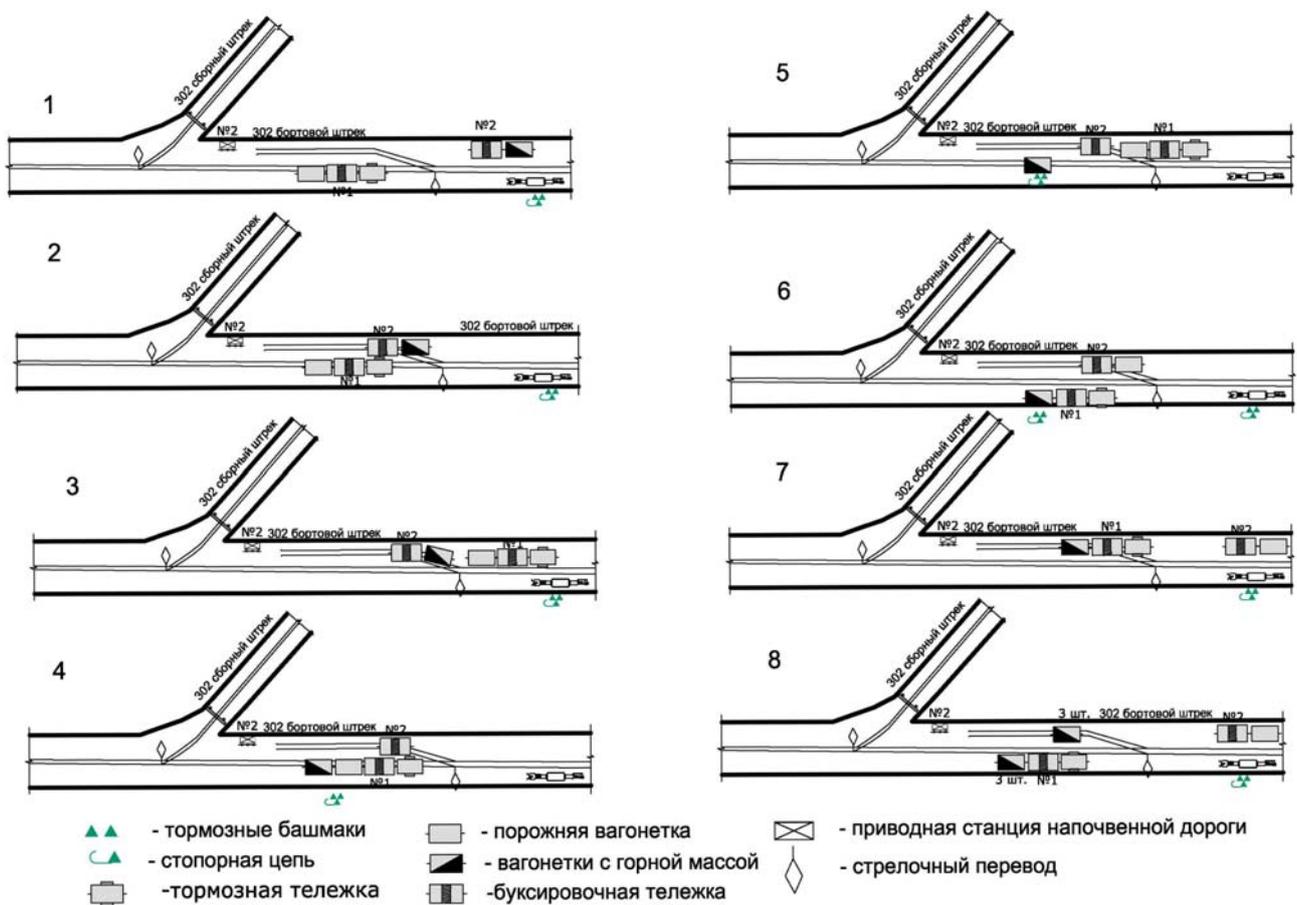


Рис. 4.4. Схемы маневровых операций на 302 бортовом штреке при обмене груженых составов на порожняковые

Приведенная на рис. 4.4 схема маневровых операций (позиции 1 – 8) предусматривает следующий порядок выполнения работ по обмену вагонеток:

1 – порожняковые вагонетки доставляются при помощи напочвенной дороги ДКНУ2 № 1 до разминовки на 302 бортовом штреке пл. С<sub>4</sub>; груженный состав транспортируется от забоя 302 бортового штрека до разминовки;

2 – стрелочный перевод устанавливается на разминовку, буксировочная тележка с грузом заезжает на разминовку;

3 – стрелка не переводится, буксировочная тележка дороги № 1 с порожняком проезжает за стрелочный перевод;

4 – порожняковый состав прицепляется к груженому и вытягивает его с разминовки;

5 – под груженный состав со стороны уклона подкладываются тормозные башмаки, порожняковый состав отцепляется от груженого, стрелка переводится на разминовку, буксировочная тележка № 2 с порожняковым составом заезжает на разминовку;

6 – порожняковый состав прицепляется к буксировочной тележке № 2 и отцепляется от буксировочной тележки № 1, стрелка не переводится, буксировочная тележка № 1 выезжает к груженому составу и прицепляется к нему, из-под состава убираются тормозные башмаки;

7 – стрелка переводится на разминовку, порожняковый состав с буксировочной тележкой № 2 движется в забой, стрелка не переводится, буксировочная тележка № 1 с груженым составом проезжает за стрелочный перевод, стрелка переводится на разминовку, груженный состав подается на разминовку;

8 – от груженого состава отцепляется три вагонетки, со стороны уклона подкладываются башмаки, буксировочная тележка с тремя вагонами выезжает с разминовки, стрелка не переводится, груженный состав движется в сторону наклонного квершлага пл. С<sub>4</sub>, остальные три вагона доставляются аналогично.

Приведенные в табл. 4.2 результаты сравнительного анализа хронометражных наблюдений за работой подготовительных забоев по шахтам региона показывают, что около 25 % рабочего времени затрачивается на простои, перерывы и непроизводительную работу подготовительных забоев по вине напочвенных видов транспорта, эксплуатируемых в условиях активного пучения пород почвы.

Теоретическими и экспериментальными исследованиями доказано, что создание транспортно-технологических систем подготовки запасов к очистной выемке на базе монорельсовых подвесных дорог позволит использовать указанные потенциальные источники повышения темпов проведения участковых подготовительных выработок путем реализации высоких адаптационных возможностей транспортного оборудования высокого технического уровня.

С учетом вышеизложенного и особенностей производства работ можно констатировать, что в специфических условиях шахт Западного Донбасса процесс обоснования параметров транспортно-технологических схем на базе оборудования нового поколения должен проходить поэтапно. В соответствии со структурно-логической схемой исследований вначале создается исходная технологическая модель с традиционными способами ведения работ, затем выполняется конструирование транспортно-технологической схемы комбайнового проведения участковых подготовительных выработок на базе подвесных монорельсовых дорог нового поколения, а на заключительном этапе обосновываются эксплуатационные параметры новых средств механизации при выполнении монтажно-демонтажных работ в очистных забоях. Одной из целей настоящих исследований является разработка «Исходных требований» на применение технологических схем подготовки выемочных столбов с использованием подвесных монорельсовых дорог повышенной адаптационной способности в условиях активного пучения почв подготовительных выработок.

#### **4.2. Оценка эффективности технологических схем проведения участковых выработок с применением подвесных монорельсовых дорог**

Несмотря на сложные горно-геологические условия залегания угольных пластов шахт Западного Донбасса, в настоящее время намечена тенденция увеличения темпов отработки запасов полезного ископаемого. Шахты ориентированы на внедрение в очистных забоях высокопроизводительных механизированных комплексов нового поколения, которые в сочетании с

системой разработки длинными столбами по восстанию (падению) обеспечивают высокие темпы подвигания суммарной линии лав и увеличивают нагрузку на пласт. Необходимо отметить, что сложные условия поддержания и низкие темпы проведения участковых подготовительных выработок выемочного столба в совокупности с несовершенными схемами и средствами вспомогательного транспорта в наклонных выработках снижают темпы ведения горных работ по своевременной подготовке запасов к очистной выемке.

Как отмечалось в п. 2.2, на выбор параметров транспортно-технологических схем комбайнового проведения участковых подготовительных выработок и их пропускную способность влияет группа факторов, характерных для большинства шахт Западного Донбасса. Для установления показателей взаимодействия основных транспортно-технологических процессов при комбайновом проведении пластовых выработок с активным пучением почв из табл. 2.4 была выбрана группа горно-геологических, технических и производственных факторов, наиболее существенно влияющих на пропускную способность проводимых участковых выработок.

К горно-геологическим факторам были отнесены: мощность и угол падения угольного пласта, крепость пласта и пород, по которым проводится выработка, их плотность, устойчивость и газоносность, водообильность и пр.

К техническим и производственным факторам отнесены: площадь сечения выработки, ее протяженность, характер забоя (угольный, породный, смешанный), необходимые темпы проведения выработок и др.

На рис. 4.5 по оси абсцисс откладываются отрезки, соответствующие интервалам варьирования показателей технологичности исследуемых процессов, а по оси ординат – частоты соответствующего интервала.

Одной из основных характеристик, оценивающих технологичность схемы комбайнового проведения выработок, является коэффициент присечки боковых пород, который оказывает непосредственное влияние на параметры затрат времени и износа горнопроходческого оборудования.

Кроме того, приведенный коэффициент необходимо учитывать при проведении и эксплуатации выработок с применением подвесных монорельсовых дорог, так как различные способы закрепления става монорельсовых дорог (при арочном, анкерном или комбинированном креплении выработок) предполагают различные значения площади поперечного сечения выработок в проходке.

По результатам шахтных исследований был установлен диапазон рациональных значений коэффициента присечки вмещающих боковых пород при проведении и креплении выработок арочной крепью  $k_n = 0,6 \dots 0,75$  (рис. 4.5, зависимость 1). Зависимости диапазона изменения коэффициента присечки боковых пород от удельного веса его значений в общем объеме статистических данных, которые подвергались обработке, можно представить выражением:

$$S_{k_n} = -0,4714k_n^2 + 2,5486k_n + 0,84.$$

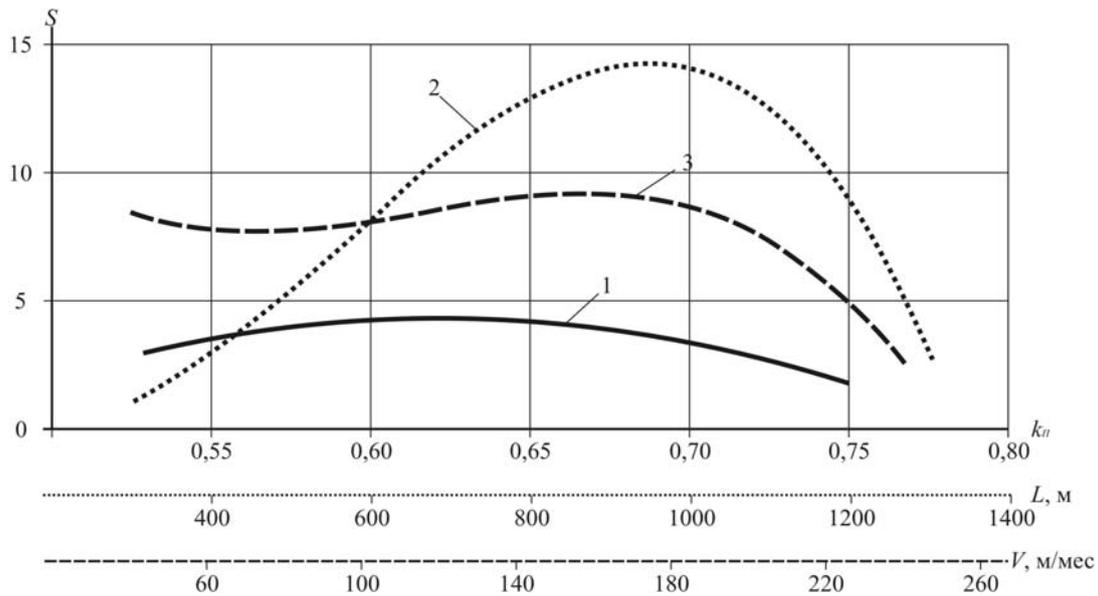


Рис. 4.5. График распределения коэффициента присечки боковых пород, протяженности и скорости проведения пластовых выработок при подготовке запасов угля к очистной выемке на шахтах Западного Донбасса

Плотность транспортируемого материала оказывает влияние на характеристику грузопотока и выбор оборудования. Поскольку при отдельной выдаче угля и породы 1/3 часть транспортных единиц загружены углем, а 2/3 – породой.

Необходимо отметить, что протяженность выработки оказывает существенное влияние на выбор типа транспортного оборудования, его производительность, надежность и соответствие требованиям правил ТБ. На рис. 4.5 (зависимость 2) представлено распределение протяженности участковых подготовительных выработок по шахтам региона, описываемое выражением:

$$S_L = -0,5L^3 + 3,4964L^2 - 2,6464L + 0,7.$$

По результатам обработки статистических данных установлено, что средняя площадь сечения участковых транспортных выработок в проходке для условий шахт Западного Донбасса составляет  $S_{np} = 13,8 \text{ м}^2$ , а средние темпы проведения – 1,6 м/см. В табл. 4.3 приведена характеристика действующих транспортных выработок шахты «Степная» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь», где в настоящее время в участковых выработках при подготовке и отработке пласта  $S_4$ , закрепленных арочной крепью из спецпрофиля СВП – 27, уже смонтирована трасса подвесной монорельсовой дороги и планируется внедрение дизельного локомотива производства фирмы «Феррит» (Чехия).

Таблица 4.3

## Характеристика действующих протяженных транспортных выработок шахты «Степная»

№	Выработка	Длина, м	Уклон пути, %		Тип крепи	Сечение, м <sup>2</sup>	Радиус кривой на сопряжении, м	Обводненность, м <sup>3</sup> /ч
			max (град)	min				
1	2 зап. отк. штр. гор. 145 м	3370	0,005	0	АП-9,2	9,2	20	20
2	Маг. конв. квершлаг гор. 145 м	700	0,005	0	АП-15,5	15,5	20	70
3	2 зап. вент. штр. гор. 130 м	1990	0,005	0	АП-13,8	13,8	20	5
4	Сев. вент. квершлаг гор. 130 м	1200	0,005	0	АП-13,8	13,8	20	5
5	Сев. откат. квершлаг гор. 210 м	2100	0,005	0	АП-9,2	9,2	20	220
6	Зап. полевой отк. штр. гор. 210 м	2800	0,005	0	АП-9,2	9,2	20	35
7	2 зап. вент. штр. гор. 200 м	2610	0,005	0	АП-13,8	13,0	20	0
8	Вост. конв. штр. гор. 210 м	1490	0,005	0	АП-15,5	15,5	20	1
9	2 вост. вент. штр. гор. 200 м	1740	0,005	0	АП-13,8	13,0	20	1
10	Вост. отк. штр. гор. 300 м	1840	0,005	0	КШС-15,6	15,0	20	7
11	Вост. вент. штр. гор. 290 м	1840	0,005	0	АП-13,8	13,0	20	1
12	Маг. откат. квершлаг гор. 300 м	2460	0,005	0	КШУ-17,7	17,7	20	40
13	Вост. маг. отк. штр. гор. 300 м	1000	0,005	0	КШУ-15,1	15,1	20	0
14	Маг. вент. квершлаг гор. 290 м	2240	0,005	0	КШУ-17,7	17,7	20	0
15	Зап. отк. штр. гор. 300 м	3400	0,05	0	АП-9,2	9,0	20	130
16	Зап. вент. штр. гор. 290 м	3440	0,005	0	АП-13,8	13,0	20	0
17	Сев. отк. квершлаг гор. 210 м	1200	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	По почве
18	Зап. отк. штр. гор. 300 м	5260	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	По почве
19	Вост. отк. штр. гор. 300 м	1840	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	По почве
20	Зап. конв. штр. гор. 300 м	3300	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	Капез по почве
21	Зап. вент. штр. гор. 290 м	5300	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	Капез по почве
22	Вост. вент. штр. гор. 290 м	1840	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	По почве
23	Маг. конв. штр. гор. 300 м	1340	3	0,03	АП-13,8	13,8	20	Капез по почве
24	Маг. конв. квершлаг гор. 200 м	700	0,03	0,03	АП-13,8	13,8	20	Капез
25	Вост. конв. штр. гор. 210 м	2500	5	0,03	АП-15,5	15,5	20	По почве

Необходимо также отметить, что шахта «Степная» провела промышленные испытания анкерной крепи в подготовительных выработках и в перспективе планирует перейти на данный и комбинированный типы крепи. Поэтому при формировании адаптивной схемы вспомогательного транспорта для подземных трасс в сложных условиях шахт Западного Донбасса возникла необходимость в оценке объективности аргументов, выдвигаемых разработчиками и их конкурентами, относительно эксплуатационных параметров поставляемого на рынок транспортного оборудования.

В современных рыночных условиях, при отсутствии отечественного конкурентоспособного оборудования, первостепенной задачей предприятий отрасли является поиск и объективная оценка прототипа, эксплуатируемого в аналогичных условиях.

С целью научного обоснования рациональных для шахт Западного Донбасса параметров рекомендуемой нами транспортно-технологической схемы подготовки запасов угля настоящим исследованием в качестве аналога была выбрана шахта «Молодогвардейская» ОАО «Краснодонуголь», которая использует подвесную монорельсовую дорогу для доставки в очистные и подготовительные забои вспомогательных материалов, оборудования и людей.

В настоящее время на шахте отрабатывается пласт «Орловский» на участке шахтного поля горизонта 617 м. Уголь добывается одновременно с двух лав в уклонном поле пл. К<sub>2</sub> горизонта 617 м с общей нагрузкой 2300 т/сут, с лавы по пласту N<sub>3</sub><sup>1</sup> в бремсберговом поле горизонта 617 м производительностью 500 т/сут и от проходки двух подготовительных выработок в количестве 100 т/сут при отдельной выемке угля и породы в забоях (комбайнами КСП – 32 и КПД).

Для обеспечения текущей работы подготовительных забоев проводимых выработок с комбинированной (рамно-анкерной) крепью ежедневная потребность забоев в материалах обуславливается среднесуточными темпами проходки до 5 м, что соответствует средним темпам комбайнового проведения участковых подготовительных выработок на шахтах Западного Донбасса.

Номенклатура и объем материалов, поставляемых в подготовительные забои с арочной крепью, составляют:

- верхняк для крепи КМП-Т 4,2 (l = 4,2 м) из СВП 27 – 7 шт.;
- стойка для крепи КМП-Т 4,2 (l = 1,7 м) из СВП 27 – 28 шт.;
- комплект скрепляющих элементов крепи КМП-Т 4,2 – 14 ед.;
- трубы Ø150 мм, длиной 8 м в количестве 2 шт.;
- анкер Ø22 мм или Ø25 мм длиной 2,4 м с комплектом ампул для химического закрепления – 70 шт.;
- секции монорельсовой дороги для наращивания трассы – 2 шт.

Для подготовительных забоев с анкерным креплением установлена ежедневная потребность в материалах при среднесуточном темпе проходки до 6 м:

- анкер Ø22 мм или Ø25 мм длиной 2,4 м – 80 шт.;
- трубы Ø150 мм длиной 8 м 2 шт.;

– роlikоопоры верхние для наращивания става ленточного конвейера – 5 шт.;

– роlikоопоры нижние для става ленточного конвейера с подвесками к канату става – 3 шт.;

– резиноканевая конвейерная лента шириной 1000 мм – до 14 м;

– канат става ленточного конвейера Ø22,5 мм в количестве 12 м;

– пакеты секций монорельса для наращивания трассы – 3 шт.

В результате анализа производственных ситуаций установлена рациональная периодичность доставки материалов в забои – двухразовая доставка грузов в неделю согласно указанной потребности в материалах подготовительных забоев. В этой связи определена потребность своевременного обеспечения подготовительных забоев с комбинированной крепью при двухразовой доставке материалов в неделю:

– верхняк для крепи КМП-Т 4,2 из профиля СВП 27 – 21 шт. (2,39 т);

– стойка для крепи КМП-Т 4,2 из профиля СВП 27 – 84 шт. (3,85 т);

– комплект скрепляющих элементов для КМП-Т 4,2 – 42 ед. (0,83 т);

– трубы Ø150 мм, длиной 8 м – 6 шт. (0,69 т);

– анкер Ø22 или Ø25 мм длиной 2,4 м с комплектом ампул для химического крепления – 250 шт. (2,81 т);

– секции монорельсовой дороги для наращивания трассы – 7 шт. (0,47 т);

– подвесы, цепи и другие элементы крепления става монорельсовой дороги (до 1,0 т).

Для перевозки всей номенклатуры указанных выше материалов, оборудования и людей предложено подвесное транспортное оборудование производства фирмы «Феррит» (Чехия).

В процессе шахтных экспериментов зафиксировано, что максимальная масса груза, перевозимого одной подвесной транспортной единицей поезда в подготовительные забои выработок, закрепляемых комбинированной крепью, сосредоточена в пакете стоек крепи КМП-Т 4,2 из профиля СВП-27 и составляет 3,85 т. Для доставки грузов в забои с анкерной крепью максимальный вес 1,7 т имеет рулон ленты шириной 1000 мм и длиной 110 м.

Определяется количество работников, перевозимых подвесными дизельными поездами, с учетом численности всех работающих на действующих очистных и подготовительных, а также на других участках (ремонтных, монтажных и т. п.), что находятся на маршруте движения поезда.

Так, на шахте «Молодогвардейская» в выработках, обслуживаемых подвесными дизельными локомотивами, предусматривается одновременная работа двух очистных забоев и четырех подготовительных. Максимальная численность рабочих, доставляемых каждую смену монорельсовой дорогой в очистные забои, достигает 42 человек, а в каждый подготовительный забой – 6 человек. Кроме того, каждую смену перевозится около 20 человек обслуживающего персонала на конвейерном транспорте, работников надзора, ИТР и др.

Из практики транспортирования перечисленных выше грузов напочвенными видами транспорта можно сделать вывод, что при обслуживании

подготовительных забоев монорельсовой дорогой наибольшие неудобства будет составлять доставка длинномерных материалов по выработкам, искривленным в профиле и плане, например доставка пакетов труб  $\varnothing 150$  мм, длиной 8 м в количестве 6 шт. (0,69 т).

Для адаптации подвижного состава в криволинейных трассах необходимо обосновать минимальные радиусы их закруглений и согласовать рациональную скорость перемещения подвижного состава при перевозке длинномерных грузов по проводимым и эксплуатируемым участковым выработкам. В соответствии со структурно-логической схемой исследований решение такой задачи осуществляется путем моделирования.

Экспертная оценка работы подвесных монорельсовых дорог на шахтах Красноармейского горнопромышленного региона показала, что эффективность их применения на участках с геологическими нарушениями и искривленной трассой снижается на 25 – 30 % по сравнению с проектными показателями. Основными причинами является то, что при прохождении искривленных и деформированных участков горной выработки оператор снижает скорость подвижного состава интуитивно. В путевых листах машиниста ПДМ не отмечаются фактические параметры выработки в зонах деформации крепи, характер искривления трассы и скорректированные для конкретных участков маршрута рекомендуемые показатели скорости подвижного состава. Более того, в существующих методиках расчета эксплуатационных параметров монорельсовых подвесных дорог коэффициент снижения скорости движения (разгон, замедление) при прохождении криволинейных участков и стрелочных переводов учитывает лишь влияние состояния трассы на скорость подвижного состава без учета характеристик транспортируемого груза.

С целью прогнозирования диапазона изменения скорости ПДМ при прохождении искривленных участков трассы было выполнено моделирование процесса вписывания контейнера с длинномерами в сечение изгибающейся выработки. В ходе моделирования процесса рассматривались варианты вписывания подвижного состава в сечение выработки при расположении людского прохода на внешней и внутренней сторонах кривой при минимальных допустимых радиусах закругления выработки и монорельса. При этом задавались максимальные длина и ширина контейнера, допустимая ширина людского прохода и зазора.

На рис. 4.6 представлена схема моделирования процесса доставки длинномерных грузов при закреплении става монорельса по центру выработки, когда размеры зазора между габаритами подвижного состава и крепью выработки на прямолинейном участке равны ширине прохода для людей; а также учитывает фактические параметры укрупненных грузовых единиц, сечения и радиусы закругления выработки, а также амплитуду бокового колебания груза относительно оси монорельса при различных скоростях движения подвижного состава и технологические требования к доставке грузов по горным выработкам. В зависимости от минимальных размеров сечения и радиусов закруглений шахтных горных выработок, по которым

транспортируются длинномерные грузы, определяется вписываемость транспортируемого контейнера и соответственно скорость подвижного состава, при которой боковые колебания груза в сечении выработки будут минимальными.

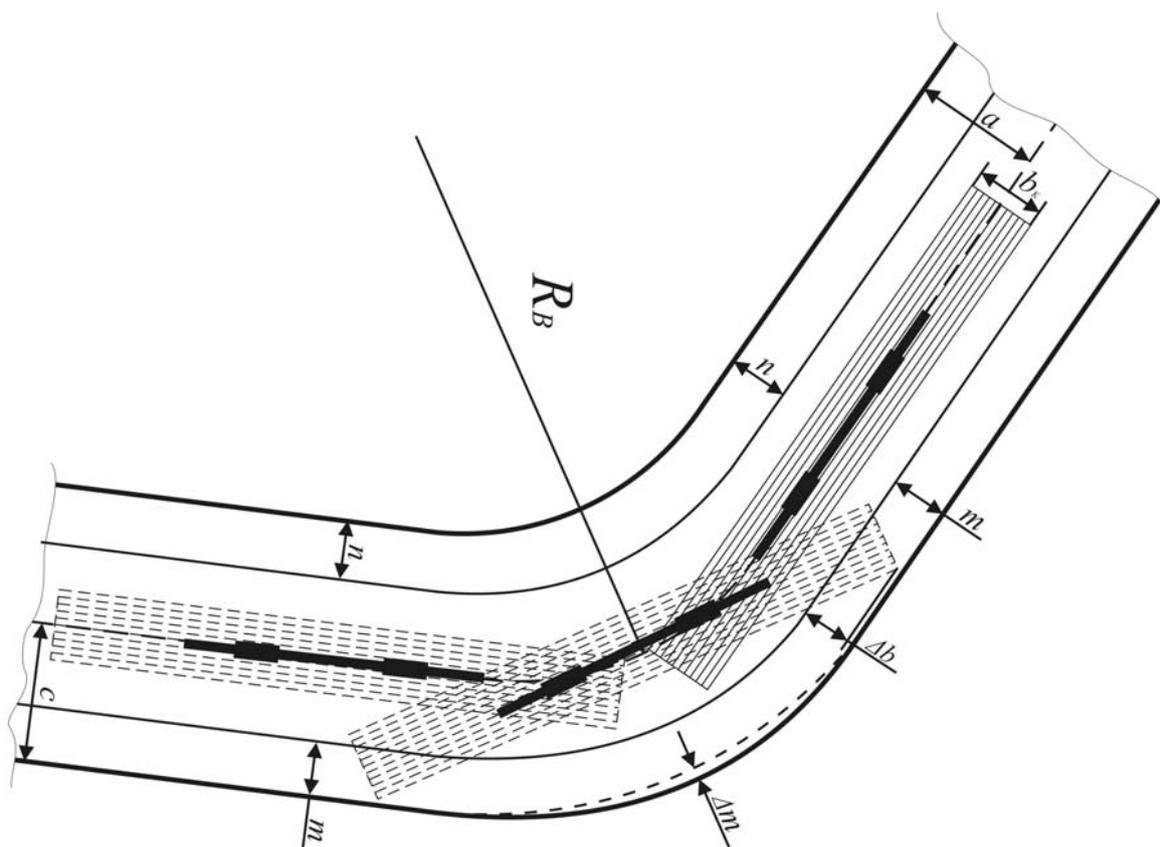


Рис. 4.6. Схема моделирования процесса доставки длинномерных грузов:

$L_{kc}$  – длина контейнера с двумя симметричными относительно поперечной оси базы контейнера консолями длинномеров, м;

$R_B$  – радиус оси монорельса, м;

$b_k$  – ширина контейнера, м;

$n$  – ширина людского прохода, м;

$m$  – ширина зазора между подвижным составом и крепью, м;

$\Delta m$  – величина уширения на закруглении, м;

$\Delta b$  – вылет негабарита при вхождении в криволинейный участок выработки, м;

$a$  – расстояние от оси монорельса до крепи со стороны людского прохода, м;

$c$  – расстояние от оси монорельса до крепи со стороны зазора  $m$ , м

Если радиусы закруглений выработок меньше регламентируемой величины, допустимую длину контейнера с длинномером определяют из условий расположения людского прохода в сечении выработки относительно кривой ее изгиба.

Для случая, когда проход расположен на внутренней стороне кривой (рис. 4.6), допустимая длина контейнера с длинномером определяется из формулы:

$$L_{kc} \leq 2\sqrt{(R_B + c - n)^2 - (R_B - a + m + b_k)^2},$$

а, когда на внешней стороне кривой, то так:

$$L_{kc} \leq 2\sqrt{(R_B + a - m)^2 - (R_B - c + n + b_k)^2}.$$

На основании анализа, синтеза результатов моделирования и корреляции расчетных показателей установлено, что для повышения эффективности работы ПДМ в сложных горно-геологических условиях допустимая скорость движения подвижного состава на прямолинейных участках выработок должна варьироваться в пределах 2,5 – 3 км/ч; а при переходах через стрелочные переводы и на закруглениях выработки, когда наблюдается максимальный вылет негабарита ( $\Delta b$ ), должна быть не более 1 км/ч.

Скорректированная таким образом скорость перемещения подвижного состава в реальных условиях трассы позволяет определить необходимое число дизелевозных составов для перевозки вспомогательных материалов к подготовительному забою или к монтажной камере и общее время на подготовку нового выемочного столба.

Сравнивая эффективность работы традиционных транспортно-технологических схем подготовки пологих пластов при эксплуатации напочвенных видов рельсового транспорта и аналогичных схем подготовки запасов с применением подвесных монорельсовых дорог можно констатировать, что в сложных горно-геологических условиях проведения подготовительных выработок в качестве вспомогательного транспорта целесообразно применять дизельные подвесные монорельсовые дороги. В то же время из-за ограниченного опыта эксплуатации дизельных ПДМ каждому проектному решению на их внедрение должны предшествовать предварительная оценка характера взаимодействия подвижного состава и крепи в конкретных условиях эксплуатации и технико-экономическое обоснование технологических схем доставки грузов.

Необходимая скорость проведения пластовых выработок оказывает значительное влияние на выбор оборудования для технологических схем транспортирования. Увеличение скорости проведения выработок ведет, как правило, к улучшению технико-экономических показателей проходки, однако вместе с этим оно связано с более интенсивным выполнением основных и вспомогательных операций и их совмещением, повышением концентрации оборудования и численным увеличением проходческих бригад. Следовательно, это целесообразно до тех показателей, пока увеличение скорости проведения выработок не приводит к изменению экономических показателей, т. е. к уменьшению производительности труда и повышению стоимости проведения выработки.

Различные значения скорости проведения исследованных подготовительных забоев (рис. 4.5, зависимость 3) объясняются применением разных видов транспортного оборудования (электровозная откатка, канатная откатка, конвейерный транспорт).

Зависимость распределения скоростей проведения подготовительных выработок может быть определена из соотношения:

$$S_V = -0,0021V^4 - 0,2699V^3 + 2,4424V^2 - 6,1327V + 12,417.$$

При комбайновом проведении пластовых выработок с отдельной выемкой угля и породы рекомендуется применять локомотивную откатку горной массы и доставку материалов. Однако из-за активного пучения пород почвы в выработках с рельсовым транспортом образуется знакопеременный профиль пути, поэтому локомотивная откатка становится малоэффективной, а иногда и невозможной. Для погрузки горной массы в транспортные средства и перемещения грузов в призабойном пространстве затрачивается до 30 – 40 % общей продолжительности проходческого цикла, что наряду с разрушением массива является наиболее трудоемким и длительным процессом.

С учетом вышеизложенного можно констатировать, что режим работы подвесной монорельсовой дороги (рис. 4.7, 4.8) является одним из основополагающих составляющих в общем цикле проходческих работ в пределах подготовительного участка.

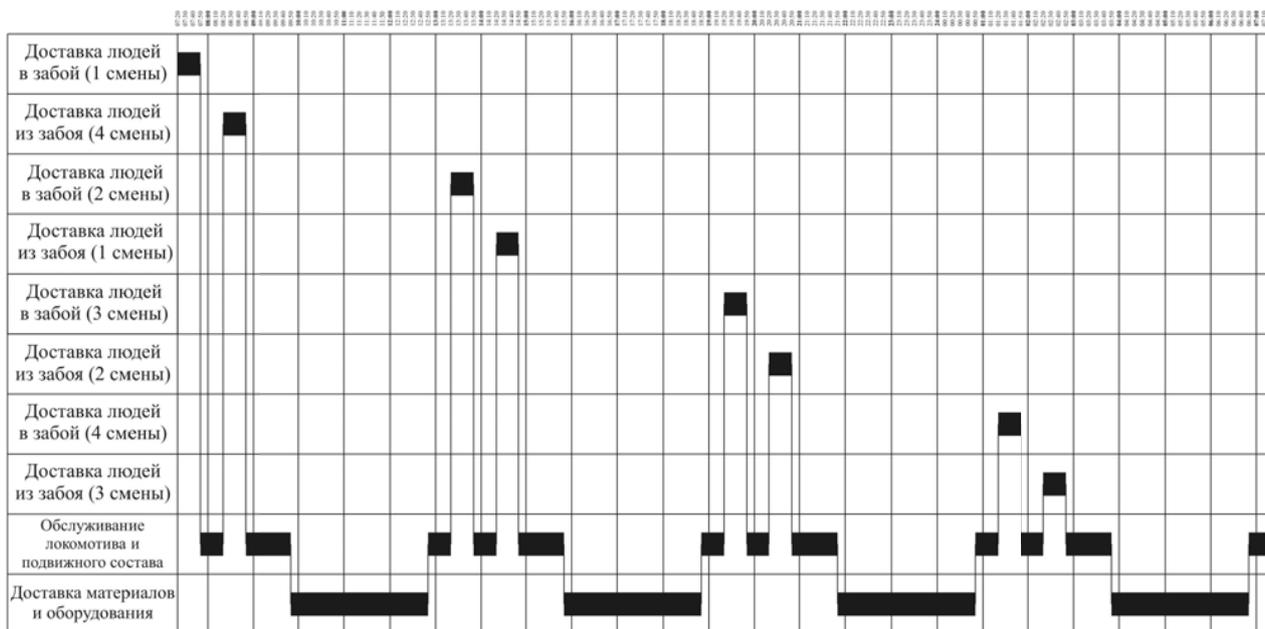


Рис. 4.7. График организации транспортировки материалов, оборудования и людей в пределах подготовительной выработки одним дизелевозом

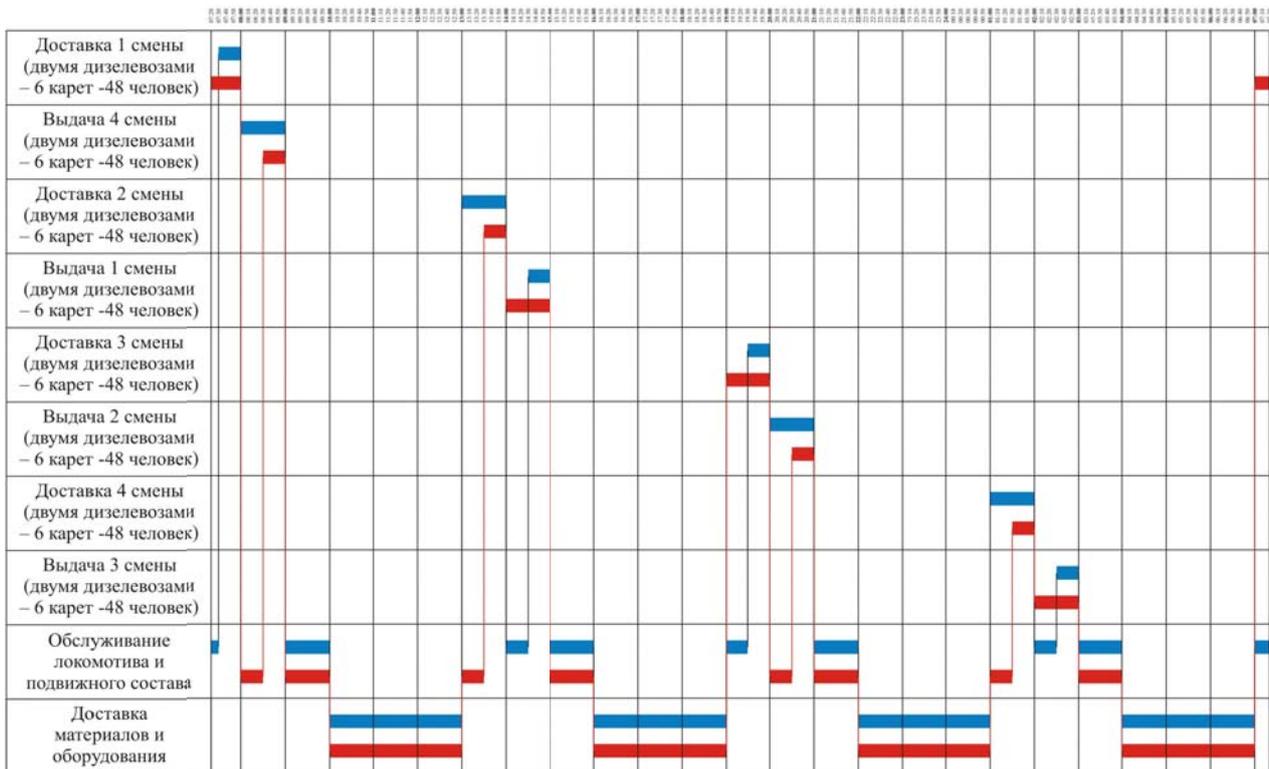


Рис. 4.8. График организации транспортировки материалов, оборудования и людей в пределах одной подготовительной выработки двумя дизелевозами

Шахтными исследованиями доказано, что данный вид вспомогательного транспорта, как правило, более надежный, чем любой другой вид напочвенного рельсового транспорта, и малейшие сбои в организации работ по транспортировке материалов, оборудования и людей в пределах даже одной выработки приводит к незапланированным простоям всего комплекса горно-подготовительных работ.

Пропускная способность и интенсивность работы технологических схем транспорта характеризуется реальными грузопотоками от подготовительных забоев, которые в свою очередь зависят от масштабов горных работ, вида призабойного транспорта, производительности погрузочно-перегрузочного комплекса и своевременного обеспечения забоев вспомогательными материалами и оборудованием.

Зависимость грузопотоков от своевременного обеспечения забоев вспомогательными материалами и оборудованием обусловлена тем, что для транспортировки горной массы из проходческих забоев и доставки к ним материалов и оборудования существующими проектными решениями, как правило, предусматриваются напочвенные рельсовые виды транспорта – локомотивная или одноконцевая канатная откатки. При этом в проектных решениях обычно не учитывается то, что типовые технологические схемы и рекомендуемые средства вспомогательного транспорта не адаптированы к условиям эксплуатации в выработках со знакопеременным профилем пути,

характерным для шахт Западного Донбасса. Шахтными исследованиями установлено, что подготовительные забои, оснащенные энергоемкими проходческими комбайнами, значительное время простаивают из-за низкой оборачиваемости вагонеток и отсутствия в действующих технологических схемах высокоадаптивных транспортных средств нового поколения.

Таким образом, в условиях подготовки и отработки шахтных полей Западного Донбасса необходимость создания высокоадаптивной системы вспомогательного транспорта и координация существующих транспортно-технологических схем комбайнового проведения выработок становится наиболее серьезной проблемой.

#### **4.3. Параметры адаптации подвешного транспортного оборудования при ведении монтажно-демонтажных работ в очистных забоях**

В условиях интенсификации горных работ особо актуальными становятся вопросы своевременной подготовки новых выемочных столбов и обеспечения очистных и подготовительных забоев материалами и оборудованием. Существующие схемы вспомогательного транспорта представлены, как правило, рельсовыми напочвенными видами, которые в условиях пучения почвы выработок становятся малоэффективными, а иногда и невозможными.

Шахтными исследованиями установлено, что применение рельсовых видов транспорта в сложных горно-геологических условиях (активное проявление горного давления, высокие водопритоки и пучение почв) требует проведение дополнительных мероприятий по укреплению и подпирке, а также других сложных технологических операций. Непредвиденные производственные операции, связанные с восстановлением сечения выработок и приведением трасс к допустимым нормам эксплуатации приводят к незапланированным простоям в подготовительных забоях, что недопустимо при интенсификации горноподготовительных работ [5].

В зарубежной практике альтернативой напочвенным видам вспомогательного транспорта являются подвешные монорельсовые дороги с дизельными локомотивами. Обоснованию области эффективного применения ПДМ в специфических условиях шахт Западного Донбасса посвящены исследования Национального горного университета [30, 32, 57, 69, 75, 99]. Необходимо отметить, что область эффективного применения ПДМ в условиях шахт Западного Донбасса можно значительно расширить, если включить их в транспортно-технологические схемы подготовки новых выемочных столбов с повторным использованием транспортных выработок. В подобных схемах (рис. 4.9) процессы доставки вспомогательных материалов, оборудования и людей при очистных работах, проведении участковых подготовительных выработок, разрезной печи и монтаже оборудования объединяются в единую (комбинированную) транспортно-технологическую систему.

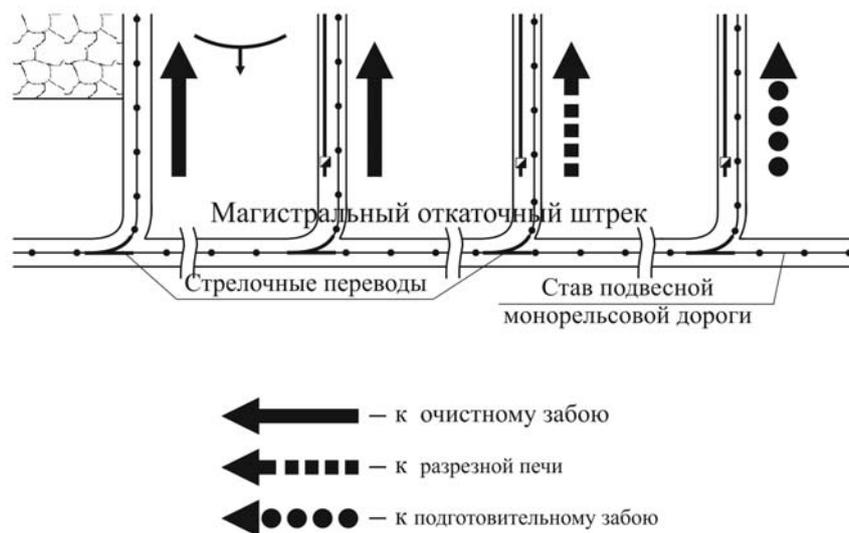


Рис. 4.9. Комбинированная схема применения подвесных монорельсовых дорог при подготовке запасов угля

В соответствии с рекомендациями [100, 101] общее время на подготовку нового выемочного столба определяется выражением:

$$T_{\text{пот}} = t_{\text{пл}} + t_{\text{шт}} + t_{\text{р.п}} + t_{\text{мон}}, \quad (4.1)$$

где  $t_{\text{пл}}$  – время сооружения приемной площадки, мес.;  $t_{\text{шт}}$  – время, затраченное на проведение одного из штреков, мес.;  $t_{\text{р.п}}$  – время проведения разрезной печи, мес.;  $t_{\text{мон}}$  – время монтажа оборудования, мес.

Однако в условиях шахт Западного Донбасса темпы проведения участковых пластовых выработок – это случайные величины, которые определяются типом и назначением выработок, численностью проходческих бригад, а также горно-геологическими условиями залегания пластов и горнотехническими условиями их подготовки и разработки. Поэтому выражение (4.1) необходимо рассматривать как гибкую систему совокупности всех технологических операций подготовки выемочного столба.

Первые три составляющие  $t_{\text{пл}}, t_{\text{шт}}, t_{\text{р.п}}$  имеют характер непостоянных величин с небольшим диапазоном изменения. Единственным исключением может быть тот случай, когда наблюдается активное проявление горного давления.

Анализируя современный опыт выполнения монтажно-демонтажных работ и структуру составляющего  $t_{\text{мон}}$ , можно констатировать, что время, фактически затрачиваемое на монтажно-демонтажные работы, может быть сокращено путем комплексного использования гибких транспортных систем, созданных на базе ПДМ, на всех этапах подготовки выемочных столбов.

Сравнительная оценка работы ПДМ с различными видами тяги показала, что эффективность использования монорельсовых дорог с канатной тягой

обеспечивается при транспортировании грузов и перевозке людей одной установкой на полную длину выработки без перегрузки грузовых единиц [78].

При использовании дизелевозов нового поколения адаптивная система монорельсовых путей обеспечивает возможность бесперегрузочного транспортирования вспомогательных грузов и перевозку людей от околоствольного двора до очистных и подготовительных забоев или с перегрузкой на другие виды транспорта [78]. Поэтому монорельсовые дороги с подвесными дизелевозами рациональнее применять в пределах выемочных участков с большим количеством сопрягающихся выработок, а также на шахтах с полной или частичной конвейеризацией доставки горной массы.

Опираясь на зарубежный опыт работы ПДМ, можно также утверждать о возможности эффективного использования данного вида транспорта не только в качестве вспомогательного, но и как основного при выполнении монтажно-демонтажных работ при подготовке выемочных столбов, а также при проведении протяженных наклонных горных выработок и выработок, искривленных в плане.

Следует отметить, что при выполнении монтажно-демонтажных работ в условиях активного пучения пород почвы особую актуальность приобретают интегрированные системы внутришахтного транспорта, обеспечивающие локомотивную доставку укрупненных грузовых единиц (секции механизированной крепи, рельсы, трубы и др.) по магистральным выработкам и перегрузку их на ПДМ для транспортирования по наклонным участковым выработкам. Анализ условий эксплуатации подобных технологических схем показал, что для повышения эффективности доставки укрупненных грузовых единиц по участковым транспортным выработкам необходимо разрабатывать комплекс повышенных эксплуатационных требований к параметрам ПДМ и к функциональному состоянию транспортных выработок. В особой степени это относится к доставке тяжеловесных грузовых единиц и длинномерных материалов в зоны ведения монтажно-демонтажных работ.

В соответствии с рекомендациями [102] одним из основных показателей эффективности применения средств подземного транспорта является выбор их эксплуатационных параметров из условия тяговой способности. Выбор весовой нормы монорельсового дизелевозного поезда, а также скорости его движения производится в зависимости от условий эксплуатации (уклон пути и др.) по тяговым параметрам локомотива. Необходимое число дизелевозных составов для перевозки вспомогательных материалов  $m_{дг}$  (при специализированных перевозках) по аналогии с числом рельсовых локомотивов соответственно составит:

$$m_{дг} = \frac{K_H A \left( t_{нозр} + \sum \frac{l_i}{K'v_{i.зр}} + t_{раззр} + \sum \frac{l_i}{K'v_{i.ноз}} + t_{раз} n_{раз} \right)}{60 Q_{г} (1 - \sum K_T) T_{см} n n_1}, \text{ сост./см,}$$

где  $K_H$  – коэффициент неравномерности работы, который принимается в зависимости от сложности транспортной системы в пределах  $1,3 - 1,5$ ;  $A$  – планируемый расход всех видов материалов, транспортируемых в контейнерах или в пакетах, т/год;  $t_{нозр}$ ,  $t_{разр}$  – длительность операций по погрузке и разгрузке, мин;  $t_{раз} = 2 - 3$  мин; в сложных случаях  $t_{раз}$  необходимо определять по графику движения;  $l_i$  – длина отдельных ( $i$ ) участков трассы, м;  $K'$  – коэффициент, учитывающий снижение скорости движения (разгон, замедление) при прохождении криволинейных участков и стрелочных переводов,  $K' = 0,8 \dots 0,85$ ;  $v_{i.гр}$ ,  $v_{i.нор}$  – скорость движения с грузом и порожняком на отдельных ( $i$ ) участках трассы, м/с (принимается по тяговым характеристикам локомотива);  $n_{раз}$  – число разминок;  $Q_G$  – допустимая масса грузового поезда,  $\sum K_T$  – суммарный коэффициент тары грузового состава (контейнеров, подвесок и т.д. без учета локомотива);  $T_{CM}$  – продолжительность смены, ч;  $n$  – число рабочих дней в году;  $n_I$  – расчетное число смен по доставке вспомогательных материалов.

Следует отметить, что в сложных горно-геологических условиях диапазон колебания и максимальное значение коэффициента неравномерности работы в выражении (4.9) может быть значительно больше. Это зависит, прежде всего, от горно-геологической и горнотехнической обстановок, в которых ведутся подготовительные работы, и параметров принятой на шахте транспортно-технологической схемы. В особой степени это относится к доставке длинномерных материалов (рельсы, трубы и др.) при смешанных перевозках, когда одним рейсом доставляются стандартные и крупногабаритные грузовые единицы в период ведения монтажно-демонтажных работ.

Ниже приведен опыт ведения монтажно-демонтажных работ в очистных выработках СП «Шахта «Молодогвардейская» ОАО «Краснодонуголь».

В период монтажа и демонтажа лав или ведения других монтажных работ осуществляется доставка крупногабаритных и тяжелых узлов оборудования к этим участкам подвесными поездами допустимой массы, обоснованной расчетами или выбранной по диаграммам. Максимальная неделимая масса таких грузов в условиях шахты СП «Шахта «Молодогвардейская» ОАО «Краснодонуголь» составляет 9,6 т (ЗКД – 90Т).

Доставка оборудования и материалов с поверхности в шахту предусматривается на напочвенных грузовых средствах транспорта (в вагонетках и на платформах) в клетях по вспомогательному стволу в выработки околоствольного двора гор. 617 м, далее электровозами АМ-8Д на верхнюю приемно-отправительную площадку в магистральном полевом вентиляционном штреке, где они с напочвенных средств транспорта перегружаются для дальнейшего транспортирования на монорельсовые средства транспорта и доставляются подвесными дизельными локомотивами по выработкам гор. 617 м к монтажным камерам очистных забоев и к подготовительным забоям уклонного поля пласта  $K_2$ .

Доставка людей осуществляется в пассажирских подвесных поездах с посадочной площадки в Магистральном полевом вентиляционном штреке по тем же выработкам в соответствии с графиком перевозки людей до промежуточных и конечных посадочных площадок.

Монорельсовая дорога МПД – 24Ф служит для доставки грузов. В качестве тяговых средств монорельсовых дорог предусмотрены шахтные подвесные дизель-гидравлические локомотивы DLZ110F с тяговым усилием до 80 кН (4 силовые установки), предназначенные для эксплуатации в выработках с содержанием метана в атмосфере не более 1%, а также подвесные маневровые устройства ШАМАН Д. 1 Э для использования их преимущественно в пределах верхней площадки, а также временных промежуточных и нижних приемно-отправительных площадок при выполнении концевых транспортных операций с грузовыми подвесными подвижными единицами и составами.

В качестве подвесного монорельсового состава предусмотрены специализированные для конкретных видов груза подвесные грузовые средства, вид и количество которых определены в соответствии с планируемыми суточными и недельными грузопотоками и номенклатурой перевозимых грузов.

Планируется также применение оборудования других производителей вместо оборудования фирмы «Ferrit», имеющего такое же назначение, аналогичные характеристики и всю разрешительную документацию, что позволяет эксплуатировать оборудование на шахтах Украины.

Система дорог дизелевозной монорельсовой откатки представляет собой подземный комплекс сооружений, включающий:

- разветвленную сеть монорельсовых дорог по горным выработкам шахты;
- подземный гараж парка дизельных локомотивов (для обслуживания и заправки дизелевозов с запасом топлива в течении 3-х суток эксплуатации), расположенный в магистральном полевом вентиляционном штреке;
- депо для парковки, обслуживания, ремонта и формирования подвесных поездов в магистральном полевом вентиляционном штреке;
- приемно-отправительные площадки в магистральном полевом вентиляционном штреке (верхняя приемно-отправительная площадка), конечных и промежуточных пунктах маршрутов следования подвесных поездов.

Система монорельсовых дорог, а также приемно-отправительные площадки, подземный гараж для дизелевозов и депо для обслуживания подвесного подвижного состава сооружаются в действующих транспортных и вентиляционных выработках шахты и являются элементами общей системы подземного транспорта шахты.

Для обоснования рациональных эксплуатационных параметров подвесных монорельсовых дорог и обеспечения планируемых темпов проведения подготовительных выработок в сложных горно-геологических условиях необходимо было провести комплекс предварительных шахтных исследований. В результате установлено, что таковыми являются производительность подвесных монорельсовых дорог и рациональная длина транспортирования материалов, оборудования и рабочего персонала. Кроме того, анализ литературных источников по данному направлению показал, что

до настоящего времени малоисследованными остаются вопросы влияния процесса перемещения подвижного состава по ставу монорельсовой дороги на крепь и структуры горных пород вокруг подготовительной выработки.

Следует отметить, что для установления рациональных значений применения подвесных монорельсовых дорог возникает необходимость в определении всех негативных проявлений горного давления в окрестностях проводимых выработок, что является основной причиной сбоев транспортирования и эффективного применения данного вида транспорта.

В процессе моделирования особенностей взаимодействия массива горных пород с крепью подготовительных выработок, оснащенных монорельсовой дорогой (раздел 3), была установлена возможность прогнозировать поведение пород вокруг подготовительной выработки. Для подтверждения принятых зависимостей были проведены исследования в условиях шахты им. Стаханова.

Как указывалось ранее, согласно сформулированным задачам и принятой структурно-логической схеме (п. 1.4) в ходе проведения исследований в условиях шахты им. Стаханова установлено, что процесс перемещения подвижного состава по ставу монорельсовой дороги, закрепленному на арочной крепи, следует рассматривать как взаимодействующую систему «боковые породы – арочная крепь – подвижной состав». В свою очередь, комплексная оценка данной системы является достаточно трудной задачей. Поэтому данная система была разделена на самостоятельные подсистемы: «боковые породы – арочная крепь», «арочная крепь – став монорельсовой дороги», «став монорельсовой дороги – подвижной состав».

Настоящими исследованиями предусмотрена разработка программы и методики шахтных исследований нагрузок на арочную крепь при комбайновом проведении горных выработок с применением подвесных монорельсовых дорог.

Базовым предприятием для проведения стендовых исследований была принята ш. «Степная» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь». Данная программа и методика предусматривают организацию и способ проведения комплексных исследований поэтапно путем установления характера поведения перечисленных выше подсистем в горно-геологических условиях шахты «Степная», характерных для большинства шахт Западного Донбасса.

Основной целью методики исследования является получение фактических показателей изменения профиля трассы монорельса под воздействием деформации пород вокруг подготовительной выработки для установления степени их влияния на эксплуатационные показатели ПДМ и соответственно на темпы проведения выработок в сложных горно-геологических условиях подготовки запасов.

На первом этапе по результатам экспертной оценки условий эксплуатации подготовительных выработок выбираются наиболее характерные участки для установки замерных станций (рис. 4.10) с целью регистрации деформаций элементов крепи в замковых соединениях.



Рис. 4.10. Замерная станция в условиях ш. «Степная» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь»

Замерная станция представляет собой конструкцию, устанавливаемую на раме арочной крепи, для регистрации статических и динамических нагрузок, передаваемых на арочную крепь подготовительной выработки, в момент прохождения подвижного состава монорельсовой дороги через стыковое соединение отрезков монорельса.

Выбор характерного участка осуществляется группой экспертов с использованием метода ранговой корреляции. В начале наблюдений все рамы крепи в пределах выбранного участка нумеруются в возрастающем порядке от устья выработки к забою. Исходные показатели регистрируются в журнале наблюдений.

В конструктивном отношении замерная станция состоит из двух кронштейнов и измерительной стойки СУИ. Кронштейны соответственно крепятся на «верхняк» и «ножку» арочной крепи таким образом, чтобы величина перемещения штока стойки СУИ соответствовала податливости крепи в замковых соединениях.

Регистрация нагрузок осуществляется с помощью универсальной стойки СУИ-2 (ГОСТ 577-68), которая устанавливается между специально выставленными платформами кронштейнов.

Для получения достоверной информации согласно разработанной методики в журнале наблюдений отмечаются секции арочной крепи, находящиеся непосредственно в зоне влияния стыкового соединения монорельса (зона крепления ПДМ). Кроме того, в журнал наблюдений заносятся: дефекты устанавливаемых рам; причины изменения типовых сечений; качество забутовки закрепленного пространства; характеристики применяемой крепи; свойства вмещающих пород; наличие и характер

геологических нарушений; капеж воды и т. п. Результаты проведенных наблюдений о величинах и зависимости площади поперечного сечения выработок от значений сопротивления крепи представлены на рис. 4.11.



Рис. 4.11. График зависимости площади поперечного сечения выработок от значения сопротивления крепи: 1 – выработки с напочвенными видами вспомогательного транспорта; 2 – выработки с подвесными монорельсовыми дорогами

Исследования характера взаимодействия элементов системы «став монорельсовой дороги – подвижной состав» при взаимодействии показателей динамических нагрузок на арочную крепь осуществляется в момент прохождения кареток монорельсовой дороги через стыковое соединение подвешенного монорельса.

Показателями взаимодействия являются: величина амплитуды колебаний секций арочной крепи и скорость срабатывания замковых соединений, масса транспортируемого груза, скорость его перемещения и другие факторы, оказывающие непосредственное влияние на режимы работы подвешенной монорельсовой дороги.

Опыт эксплуатации транспортно-технологических схем и организации подземных горных работ в ОАО «Шахтоуправление «Покровское» (табл. 4.4) показывает, что применение подвесных монорельсовых дорог в качестве базового транспортного средства вспомогательного грузопотока нуждается в совершенствовании. Основной причиной этого является отсутствие в методиках расчета эксплуатационных параметров вспомогательного транспорта горнотехнической составляющей, которая оказывает существенное влияние на распределение всех технологических операций во времени и координирует режим работы монорельсовой дороги.

Причиной незапланированных простоев подготовительных забоев зачастую служат обрушения массива горных пород в кровле подготовительных выработок, оборудованных подвесными монорельсовыми дорогами, а также потеря несущей способности арочной крепи от динамики подвижного состава.

Таблица 4.4

**Перечень маршрутов механической доставки грузов  
дизелевозами ДПЛ-80 и DLZ 110 F (Ferrit)**

№ п/п	Наименование маршрута	Протяженность маршрута, м	Пределный угол наклона, град	Скорость движения $v = 3,6$ км/ч (1 м/с)		Скорость движения $v = 4,7$ км/ч (1,3 м/с)	
				Доступная масса поезда, т	Продолжительность доставки, мин	Доступная масса поезда, т	Продолжительность доставки, мин
<b>Дизелевоз № 1 – ДПЛ-80</b>							
1	ПОП ВПХ бл.8 – участок № 6	620	10	22	11	5	8
2	ПОП ВПХ бл.8 – участок № 5 в/штрек	920	10	22	16	5	12
3	ПОП ВПХ бл.8 – участок № 5 к/штрек	1250	10	22	21	5	17
4	ПОП ВПХ бл.8 – УПР-2	1880	20	11	32	8	25
5	ПОП ВПХ бл.8 – УПР-2	2430	20	11	41	8	32
6	ПОП ВПХ бл.8 – УПР-4	2550	20	11	43	8	33
7	ПОП ВПХ бл.8 – ДУП	2450	20	11	41	8	32
<b>Дизелевоз № 2 – ДПЛ-80</b>							
8	ПОП К/Х бл.8 – ШСМУ	2830	20	11	48	8	37
9	ПОП К/Х бл.8 – участок ГКР	2930	20	11	49	8	38
10	ПОП К/Х бл.8 – ДУП	2840	20	11	48	8	37
<b>Дизелевоз № 3 – DLZ 110 F (Ferrit)</b>							
1	ПОП ВПХ бл.8 – участок № 6	620	10	22	11	5	8
2	ПОП ВПХ бл.8 – участок № 5 в/штрек	920	10	22	16	5	12
3	ПОП ВПХ бл.8 – участок № 5 к/штрек	1250	10	22	21	5	17
4	ПОП ВПХ бл.8 – УПР-2	1880	20	11	32	8	25
5	ПОП ВПХ бл.8 – УПР-2	2430	20	11	41	8	32
6	ПОП ВПХ бл.8 – УПР-4	2550	20	11	43	8	33
7	ПОП ВПХ бл.8 – ДУП	2450	20	11	41	8	32

В связи с этим в настоящей работе (предусмотрено разработанной методикой) были проведены исследования в 37 подготовительных забоях на шахтах Украины, где применяются подвесные монорельсовые дороги.

На рис. 4.12 согласно разработанной методике представлены результаты шахтных исследований – зависимость изменения диапазона скоростей для эффективного маневрирования ПДМ в выработках сложной конфигурации.

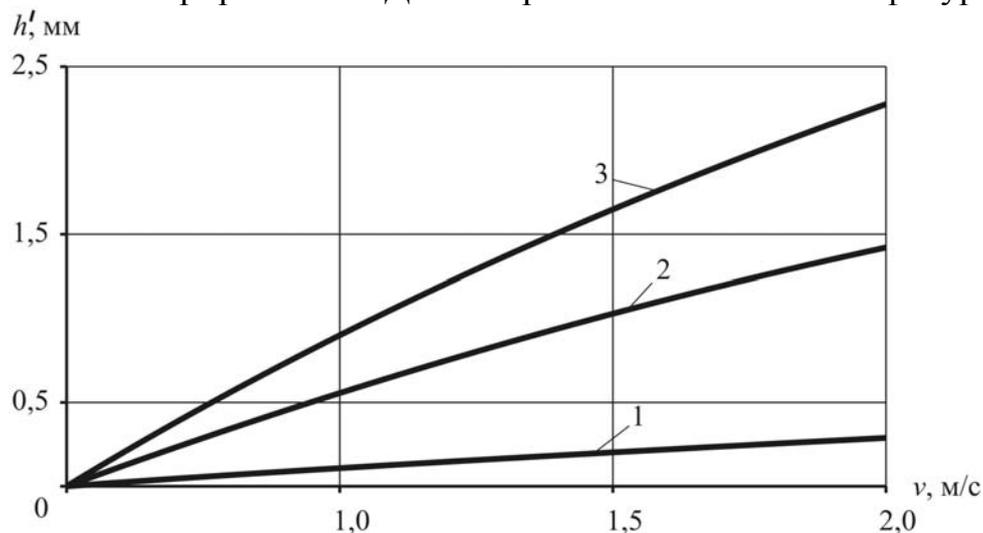


Рис. 4.12. График диапазона скоростей для эффективного маневрирования ПДМ в выработках сложной конфигурации:

1 – для  $m' = 140$  кг; 2 – для  $m' = 840$  кг; 3 – для  $m' = 2100$  кг

Результаты аппроксимации полученных зависимостей податливости элементов арочной крепи подготовительных выработок от скорости перемещения груза с различными значениями массы, приходящейся на одну грузовую тележку, по ставу монорельсовой дороги сведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

**Зависимость податливости элементов арочной крепи от скорости перемещения груза  $h' = f(v)$**

Масса, приходящаяся на одну грузовую тележку, $m'$ , кг	Аналитическое выражение
140	$h' = -0,002v^2 + 0,0649v - 0,0606$
840	$h' = -0,0096v^2 + 0,3116v - 0,2909$
2100	$h' = -0,0154v^2 + 0,4988v - 0,4656$

Представленные зависимости могут быть использованы для определения рациональных диапазонов скоростей, которые обеспечат не только своевременную доставку материалов, оборудования и людей в пределах даже одной проводимой подготовительной выработки, но и бесперебойную работу всего комплекса проходческих работ в пределах одного выемочного столба, яруса, крыла шахты и др.

Скорость транспортирования, как правило, прямо пропорционально влияет на производительность любой транспортной установки, но при применении подвесных монорельсовых дорог большое влияние на этот технологический параметр оказывает время технологических перерывов,

которые напрямую связаны с ликвидацией проявления горного давления в кровле выработки. Поэтому возникает необходимость балансирования параметрами транспортирования (скоростью перемещения) для обеспечения стабильной работы монорельсовой дороги в проводимых выработках. А это особенно актуально при интенсификации горных работ и увеличении скорости проведения подготовительных выработок.

#### **4.4. Рекомендации по эксплуатации подвесных монорельсовых дорог в условиях шахт Западного Донбасса**

В условиях интенсификации горных работ особую актуальность приобретают вопросы совершенствования действующих схем проведения протяженных наклонных выработок с использованием нетрадиционных видов вспомогательного транспорта и методов расчета их эксплуатационных параметров.

Альтернативой локомотивной откатке грузов могут быть технологические схемы транспорта с использованием подвесных монорельсовых дорог, предложенные для подготовки запасов угля в засбросовых полях шахт «Павлоградская» и «Терновская» ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» [30]. Однако отсутствие опыта эксплуатации ПДМ и отраслевой методики расчета эксплуатационных параметров ПДМ, комплексно учитывающей негативное влияние горно-геологических и горнотехнических факторов на эффективность их работы, сдерживает использование перспективного вида вспомогательного транспорта и требует разработки рекомендаций для его применения в специфических условиях проведения протяженных пластовых выработок.

Как указывалось в п. 2.2, при интенсификации горных работ и отработке запасов в условиях шахт Западного Донбасса возникает ряд проблем, связанных с горно-геологическими особенностями региона. В связи с этим возникает необходимость в обосновании рациональных параметров системы подготовки и отработки запасов шахт. Это заключается в разработке и применении новых, отличающихся от традиционных способов подготовки запасов угольных шахт [73] не только в период проведения участковых подготовительных выработок, но и при ведении монтажно-демонтажных работ.

Для решения представленной проблемы настоящей работой предлагается применение способа подготовки запасов угольных шахт при разработке пологих угольных пластов длинными столбами в обратном порядке, что характерно для условий шахт Западного Донбасса.

Предлагаемый способ подготовки запасов угольных шахт относится к подземной добыче угля, в частности, к способам подготовки запасов и разработке пологих угольных пластов, залегающих на небольшой глубине.

Известный способ подготовки запасов к очистной выемке предполагает применение напочвенных видов рельсового вспомогательного транспорта при

отработке выемочных столбов, проведение подготовительных выработок и монтажной камеры с последующим монтажом очистного оборудования [8].

Основным недостатком данного способа подготовки является необходимость выполнения большого объема погрузочно-перегрузочных операций на сопряжениях выработок и при транспортировке секций механизированной крепи по почве монтажной камеры, что снижает эффективность монтажных работ в условиях пучения почвы.

Наиболее близкий к предлагаемому – способ подготовки запасов для подземной добычи угля из пологих пластов, где предполагается применение в качестве вспомогательного транспорта подвесных монорельсовых дорог [4].

Недостатком приведенной схемы является необходимость наличия дополнительного комплекта очистного оборудования для корректировки времени окончания очистных и начала монтажно-демонтажных работ.

Цель изобретения – снижение сроков подготовки новых выемочных столбов путем координации (совмещения) работ по сооружению монтажной камеры и монтажа в ней демонтированного очистного оборудования [103, 104].

Способ поясняется схемой подготовки и отработки запасов горного отвода шахты, представленной на рис. 4.13, 4.14, 4.15 и 4.16.

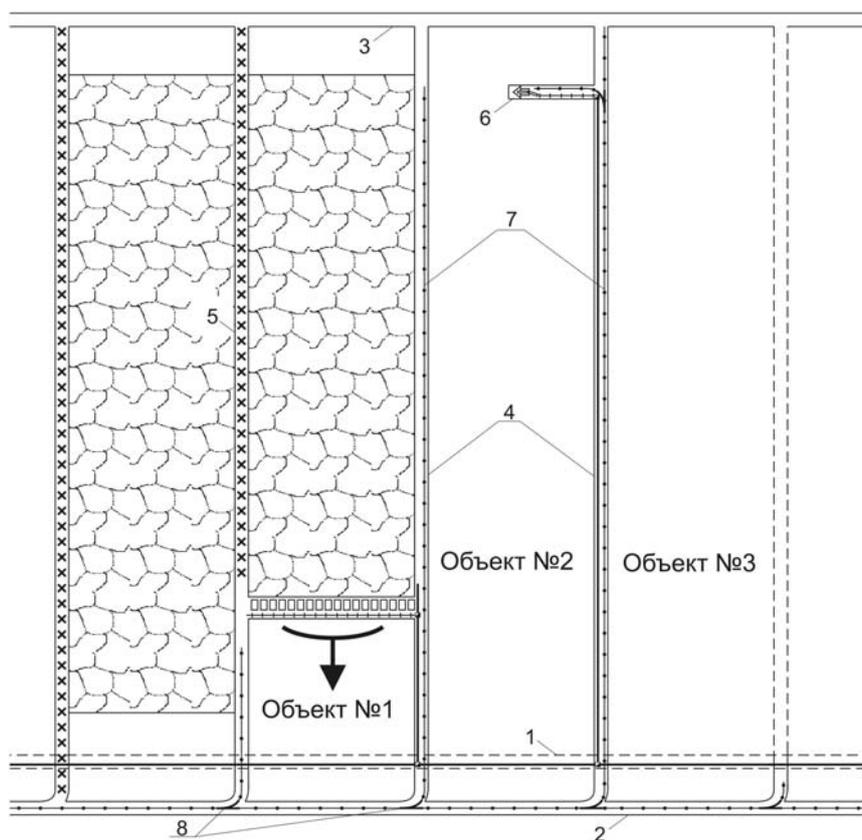


Рис. 4.13 Схема подготовки следующего выемочного столба

Как указано на рис. 4.13, при доработке запасов угля в действующем выемочном столбе (объект №1) подготавливается следующий выемочный столб (объект №2).

По результатам выполненных исследований установлено, что при отработке 75 % запасов действующих выемочных столбов необходимо предварительно начинать подготовку путем проведения конвейерного ходка 4 объекта № 2 и просека для формирования монтажной камеры 6, соединяющего конвейерные ходки 4 (рис. 4.13, объект № 2) выемочных столбов (объектов № 1 и № 2). Параметры этой выработки задаются геометрическими размерами применяемого проходческого и транспортного оборудования, а именно: геометрическими размерами применяемого проходческого комбайна, секций механизированной крепи, скребкового конвейера и очистной машины.

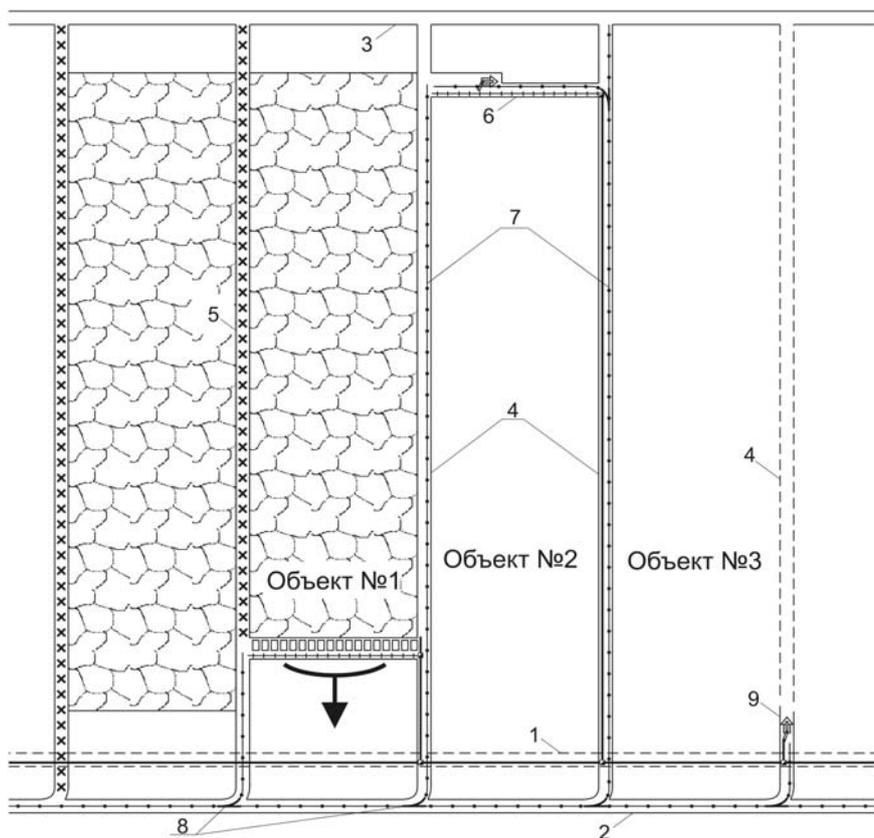


Рис. 4.14 Схема проведения монтажной камеры

При доработке запасов объекта № 1 (рис. 4.13) подготовительные выработки 4 уже проведены и в них смонтированы участковые ленточные конвейеры. Проходческий комбайн, проводивший конвейерный ходок 4 объекта № 2 до дренажного штрека 3, начинает проведение просека и расширение его до параметров монтажной камеры 6 (объект № 2).

Вслед за продвижением проходческого комбайна производится монтаж забойного скребкового конвейера, при помощи которого транспортируется горная масса от проходческого комбайна до участкового ленточного конвейера ходка 4 (рис. 4.13, объект № 2) и далее на магистральный конвейерный штрек 1.

Необходимые вспомогательные материалы, оборудование и люди доставляются в проводимую монтажную камеру при помощи

дизельлокомотивной подвесной монорельсовой дороги по магистральному штреку 2 и конвейерному ходу 4 (объект № 2).

Поскольку ширина монтажной камеры [7] превышает максимально возможную, проводимую горнопроходческим комбайном ширину выработки, возникает необходимость проведения монтажной камеры 6 в одну сторону и с последующим увеличением ее ширины в другую (рис. 4.14).

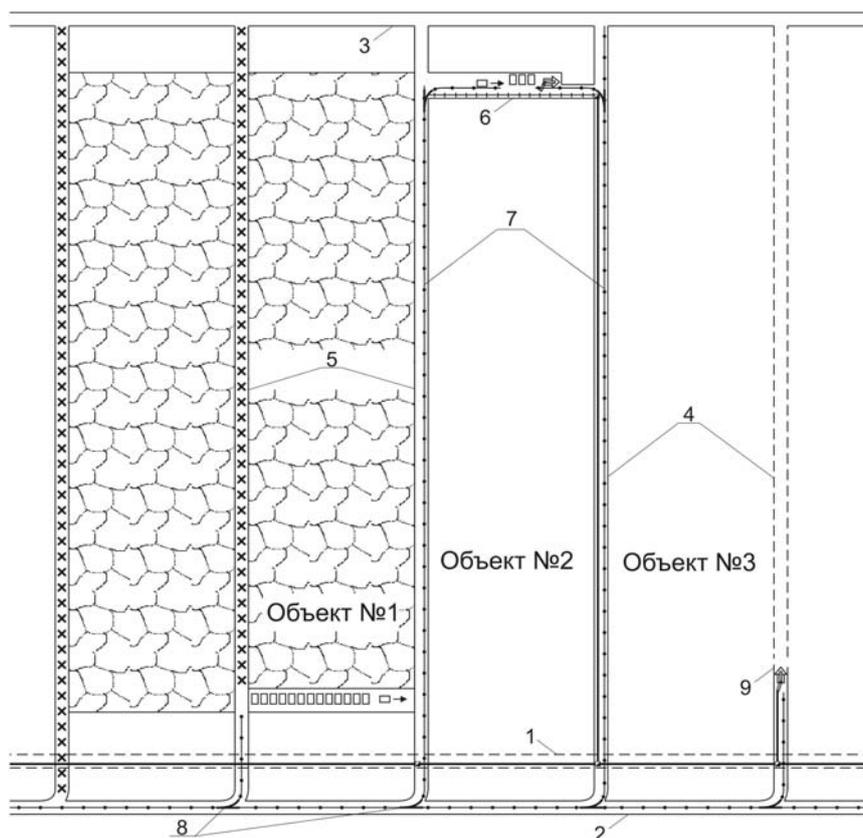


Рис. 4.15 Схема монтажа очистного оборудования

Данная схема подготовки запасов к очистной выемке для дальнейшего ведения горноподготовительных работ при добыче угля предполагает совмещение начала проведения конвейерного хода 9 (объект № 3) с началом работ по увеличению поперечного сечения монтажной камеры 6 до ее проектных значений. Кроме того, предложенная схема проведения монтажной камеры 6 целесообразна и с точки зрения управления горным давлением.

При увеличении геометрических размеров монтажной камеры до необходимых (предусмотренных проектной документацией) производится демонтаж става подвесной монорельсовой дороги 7 с последующим его монтажом вслед за перекреплением пространства монтажной камеры и подвиганием проходческого комбайна. Горная масса отгружается на уже смонтированный вдоль всей длины монтажной камеры 6 скребковый конвейер (рис. 4.14). При этом выемка угля в очистном забое (объект № 1) практически завершена.

При увеличении геометрических размеров монтажной камеры до проектных показателей и в связи с удалением проходческого комбайна на



направлению к бортовому ходку 5 объекта № 2 (рис. 4.15) до полного проведения монтажной камеры 6 и увеличения поперечного сечения до проектных показателей по всей ее длине (от бортового ходка 5 до конвейерного ходка 4 объекта № 2). Таким образом, к моменту сооружения монтажной камеры 6 протяженность участка с уже смонтированными секциями механизированной крепи в ее центральной части должна составлять не менее 20 – 25 % общей длины всей монтажной камеры 6 (рис. 4.16).

После того, как монтажная камера 6 сооружена и в ней смонтированы скребковый конвейер и секции механизированной крепи, в ее центральной части, на участке не менее 20 – 25 % от общей длины лавы, последующий монтаж производится одновременно с двух сторон (рис. 4.16). Транспортировка секций механизированной крепи из отработанного очистного забоя (объект № 1) может осуществляться двумя маршрутами:

- по бортовому ходку 5 объекта № 2 и далее при наличии смонтированного става монорельсовой дороги или через дренажный штрек 3 в конвейерный ходок 4 объекта № 2 до монтажной камеры 6;

- по бортовому ходку 5 объекта № 2 до магистрального откаточного штрека 2 и далее по конвейерному ходку 4 объекта № 2 в монтажную камеру 6.

Монтаж секций механизированной крепи, демонтированных из отработочного очистного забоя (объект № 1), в монтажной камере 6 объекта № 2 осуществляется по упомянутой выше схеме.

Таким образом, за счет совмещения времени проведения монтажной камеры 6 (объект № 2) и монтажа очистного оборудования из отработанного очистного забоя (объект № 1) предполагается сократить общие затраты времени на подготовку запасов (общее время сооружения монтажной камеры и монтажа очистного оборудования сокращается на 20 – 25 %) и тем самым повысить производительность ведения горноподготовительных работ при добыче угля из пологих пластов.

Экономический эффект – выгода, которая получена в результате проведения мероприятий по увеличению объёмов работ и снижению доли каждого элемента затрат в себестоимости 1 погонного метра выработки.

Дополнительный годовой экономический эффект от внедрения предложенного выше способа подготовки запасов, в частности от совмещения времени проведения монтажной камеры и монтажа очистного оборудования из отработанного очистного забоя, рассчитывается по формуле [9]:

$$\mathcal{E}_{\text{дон}} = k_c \frac{C_{\text{ш}} A_{\text{год}} \gamma_{\text{унз}}}{100} \cdot \frac{V_y}{V_{\text{ш}}} \left( 1 - \frac{v_1}{v_2} \right), \text{ грн}, \quad (4.2)$$

где  $k_c$  – коэффициент несоответствия уменьшения числа действующих подготовительных забоев темпам роста скорости проведения выработок ( $k_c = 0,8$ );  $C_{\text{ш}}$  – производственная (общешахтная) себестоимость 1 тонны угля;  $A_{\text{год}}$  – годовая добыча угля на шахте до сокращения сроков подготовки забоя;

$\gamma_{унз}$  – доля условно-постоянных затрат при проведении подготовительных выработок в производственной себестоимости угля,  $\gamma_{унз} = 5 - 12 \%$ ;  $V_y, V_{из}$  – среднемесячный объем проведения подготовительных выработок на участке, где сокращены сроки проведения подготовки забоя, и в целом по шахте;  $v_1, v_2$  – среднемесячная скорость проведения подготовительных выработок перед и после сокращения сроков подготовки выработки. Подставим значения в (4.2), получим:

$$\mathcal{E}_{дон} = 0,8 \cdot \frac{400 \cdot 1000000 \cdot 5}{100} \cdot \frac{215}{1536} \cdot \left(1 - \frac{215}{297}\right) = 619 \text{ тыс. грн.}$$

Таким образом, расчетный дополнительный годовой экономический эффект составляет 619 тыс. грн.

### Выводы

1. Производительность подготовительных забоев и максимальная численность рабочих в них не постоянна и колеблется в зависимости от применяемой технологической схемы проведения выработок. Объясняется это спецификой той или иной схемы: соотношением затрат ручного и механизированного труда, особенностями используемого оборудования, соответствием требований правил безопасности, технической эксплуатации и др. Кроме того, основные факторы и параметры процессов (операций), их продолжительность в значительной степени характеризуют производительность применяемой технологической схемы проведения выработок. Наряду с показателями трудоемкости работ они являются основой для оценки достигнутого уровня технологичности транспортно-технологической схемы.

2. В проектных решениях, как правило, не учитывается то, что типовые технологические схемы и рекомендуемые средства вспомогательного транспорта не адаптированы к условиям эксплуатации в выработках со знакопеременным профилем пути, характерным для шахт Западного Донбасса.

3. Шахтными исследованиями установлено, что подготовительные забои, оснащенные энергоемкими проходческими комбайнами, значительное время простаивают из-за низкой оборачиваемости вагонеток, отсутствия в действующих технологических схемах высокоадаптивных транспортных средств нового поколения.

4. Согласно разработанному способу подготовки запасов, который заключается в совмещении времени проведения монтажной камеры и монтажа очистного оборудования из отработанного очистного забоя, предполагается сократить общие временные затраты (общее время сооружения монтажной камеры и монтажа очистного оборудования сокращается на 20 – 25 %) и тем самым повысить производительность ведения горноподготовительных работ при добыче угля из пологих пластов в условиях шахт Западного Донбасса. Ожидаемый дополнительный годовой экономический эффект от внедрения предложенного выше способа подготовки запасов составляет 619 тыс. грн.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монография является завершенной научной работой, синтезирующей технические ресурсы горнопроходческого и транспортного оборудования нового поколения, на основе установленных зависимостей его взаимодействия и схемы адаптации к сложным условиям подготовки, монтажа и отработки запасов угля как для новых, так и для действующих шахт. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований решена актуальная задача, заключающаяся в обосновании рациональных параметров энергосберегающей транспортно-технологической системы проведения участковых подготовительных выработок с применением подвесных дизельных монорельсовых дорог как единого транспортного средства. Это позволяет повысить темпы подготовки запасов при комбайновом проведении участковых подготовительных выработок и монтажной камеры на 20 – 25 % и обеспечить своевременную подготовку новых выемочных столбов в условиях интенсификации очистных работ.

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Впервые предложено исследовать процесс транспортирования грузов по подземным выработкам как взаимодействующую транспортно-технологическую систему «подвижной состав подвесной монорельсовой дороги – крепь подготовительной выработки – горный массив». В частности, исследование технологического процесса взаимодействия подсистем «горный массив – крепь подготовительной выработки», «крепь выработки – став монорельса», «монорельс – подвижной состав подвесной монорельсовой дороги» предусматривает установить конструктивные параметры способов подвески монорельсовой дороги и закрепления горной выработки в целом.

2. Впервые разработана математическая модель, позволяющая учесть взаимосвязь технологических параметров транспортировки при помощи ПДМ и параметров, характеризующих организацию их взаимодействия с транспортно-технологической системой шахты в целом. Установлено, что своевременная подготовка запасов в условиях интенсификации горных работ обеспечивается применением подвесных монорельсовых дорог, эксплуатационные параметры которых, в отличие от традиционных схем транспортирования, характеризуются состоянием боковых пород вокруг подготовительных выработок и величинами деформации несущих рам арочной крепи, которые изменяются в пределах 50 – 150 мм при транспортировании грузов массой 180 – 4000 кг со скоростью 0,5 – 2,0 м/с.

3. Впервые разработана и рекомендована рациональная схема подготовки выемочных столбов с использованием подвесных монорельсовых дорог. Однако область применения данного вида вспомогательного транспорта ограничена в связи с непредусмотренным снижением скорости перемещения подвижного состава с 1,2 до 0,5 м/с, что ведет за собой увеличение времени доставки грузов в 1,3 – 1,6 раза по сравнению с расчетными показателями.

4. Впервые разработан новый способ крепления става подвесной монорельсовой дороги, согласно которому устойчивость арочной крепи достигается за счет распределения статических и реактивных динамических нагрузок, возникающих и передающихся крепи от монорельса как при движении подвижного состава в различных режимах транспортирования, так и в моменты прохождения его через стыковые соединения несущего профиля. Это позволит увеличить срок службы арочной крепи и исключить деформацию и изменение площади поперечного сечения транспортной выработки.

5. Впервые разработан способ подготовки запасов, который заключается в совмещении времени проведения монтажной камеры и монтажа очистного оборудования из отработанного очистного забоя, чем предполагается сократить общие временные затраты (общее время сооружения монтажной камеры и монтажа очистного оборудования сокращается на 20 – 25 %) и тем самым повысить производительность ведения горноподготовительных работ при добыче угля из пологих пластов в условиях шахт Западного Донбасса. Предполагаемый дополнительный годовой экономический эффект от внедрения предложенного выше способа подготовки запасов составляет 619 тыс. грн.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабинский К.Н. Обоснование параметров шпуровых зарядов, обеспечивающих повышение скорости сооружения горных выработок: автореф. дис. ... канд. тех. наук: спец. 05.15.04 «Шахтное и подземное строительство» / Лабинский Константин Николаевич; Нац. горн. ун-т. – Д., 2004. – 20 с.
2. Коваль А.И. Решение стратегических горнотехнических задач с помощью технологии стратегического планирования развития горных работ / А.И. Коваль // Школа подземной разработки: междунар. науч.-практ. конф. (02 – 08 октября 2011 г., г. Днепропетровск): тез. докл. / М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2011. – С. 26 – 32.
3. Прогрессивные технологические схемы разработки пластов на угольных шахтах. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1979. – 244 с.
4. Технологические схемы подземного транспорта выемочных участков на угольных шахтах (для пологих пластов с углом падения до 18°) / Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского. – М., 1972. – С. 74 – 75.
5. Научное обоснование производительности транспортно-технологических схем и параметров шахтного транспорта высокого технического уровня: отчет о НИР: ГП-367 / Нац. горн. ун-т; науч. рук. Л.Н. Ширин. – Д., 2006. – 126 с. – № ГР 0105U000520.
6. Цибко С.А. Техническое перевооружение действующих шахт Украины и передовой опыт / С.А. Цибко, В.П. Свечкаренко, В.А. Гонтаренко // Добыча и переработка угля. – М., 1986. – С. 42 – 54. – (Экспресс-информация / ЦНИИЭИуголь; вып. 6).
7. Монтаж и демонтаж очистных механизированных комплексов угольных шахт / А.Ф. Борзых, А.М. Кузьменко, В.И. Сафонов, В.Д. Рябичев; Восточноукр. нац. ун-т им. Владимира Даля. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 265 с.
8. Бурчаков А.С. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых / А.С. Бурчаков. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 488 с.
9. Посунько Л.Н. Обоснование параметров транспортно-технологических схем проведения участковых выработок при расширении границ шахтных полей: дис. ... канд. тех. наук: 05.15.02: защищена 26.11.10: утв. 23.02.11 / Посунько Людмила Николаевна; Нац. горн. ун-т. – Д., 2010. – 166 с.
10. Барташевский С.Е. Совершенствование технологии проведения подготовительных выработок буровзрывным способом на базе оптимизации параметров взаимодействия погрузочно-транспортного оборудования: дис. ... канд. техн. наук: 05.15.02: защищена 19.09.03 / Барташевский Станислав Евгеньевич; Нац. горн. ун-т. – Д., 2003. – 135 с.
11. Гребьонкін С.С. Проведення та експлуатація горизонтальних гірничих виробок на шахтах з крутим та похилим заляганням вугільних пластів: навч. посіб. для вузів / С.С. Гребьонкін. – Донецьк: Регіон, 2001. – 410 с.

12. Александров С.Н. Управление устойчивостью подготовительных выработок регулированием эффекта саморасклинивания вмещающих пород: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.11: защищена 25.06.04: / Александров Сергей Николаевич; Дон. нац. техн. ун-т. – Донецк, 2004. – 278 с.
13. Борзых А.Ф. Разработка способов охраны подготовительных выработок при отработке пологих угольных пластов восточного региона украинского Донбасса: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.02: защищена 13.11.98 / Борзых Анатолий Филиппович; Дон. гос. техн. ун-т. – Донецк, 1998. – 456 с.
14. Управление горным давлением / А.А. Борисов, В.И. Матанцев, Б.П. Овчаренко, Ф.Н. Воскобоев. – М.: Недра, 1983. – 275 с.
15. Бузило В.И. Геомеханическое обоснование технологий проведения выработок с применением пневмоконструкций при сооружении станций метрополитена в слабых породах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04: защищена 22.12.97 / Бузило Владимир Иванович; Нац. горн. акад. Украины. – Д., 1997. – 302 с.
16. Глушко В.Т. Разрушение горных пород и прогнозирование проявлений горного давления / В.Т. Глушко, В.В. Виноградов. – М.: Недра, 1982. – 192 с.
17. Зборщик М.П. Выбор способов охраны и места расположения подготовительных выработок / М.П. Зборщик, А.С. Братишко, В.П. Прокофьев. – К.: Техника, 1970. – 228 с.
18. Литвинский Г.Г. Механизм пучения почвы подготовительных выработок / Г.Г. Литвинский // Уголь. – 1987. – № 2. – С. 15 – 17.
19. Литвинский Г.Г. Опорное давление и устойчивость подготовительных выработок / Г.Г. Литвинский // Уголь Украины. – 1981. – № 4. – С. 19 – 21.
20. Литвинский Г.Г. Повышение устойчивости выработок разгрузкой горного массива от напряжений щелями / Г.Г. Литвинский, Г.В. Бабиюк // Строительство предприятий угольной промышленности. – М., 1979. – С. 1 – 4. (Обзор / ЦНИИЭИуголь).
21. Мухин А.В. Об охране выемочных штреков в условиях слабометаморфизованных пород / А.В. Мухин, С.И. Скипочка, Ю.И. Кияшко // Уголь Украины. – 1996. – № 8. – С. 18 – 19.
22. Усаченко Б.М. Свойства пород и устойчивость выработок / Б.М. Усаченко – К.: Наук. думка, 1979. – 135 с.
23. Халимендик Ю.М. Научно-техническое обоснование устойчивости выработок на шахтах Западного Донбасса / Ю.М. Халимендик, А.Н. Зорин // Уголь Украины. – 1996. – № 8. – С. 16 – 18.
24. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: дис. ... д-ра техн. наук: 05.15.04, 05.15.11: защищена 01.12.88: / Шашенко Александр Николаевич; Днепропетр. горн. ин-т. – Д., 1988. – 507 с.

25. Ефремов И.А. Обоснование способов сохранения устойчивости участковых выработок в зонах влияния техногенной вибрации конвейерных установок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / Ефремов Игорь Алексеевич; Дон. нац. техн. ун-т. – Донецк, 2002. – 18 с.
26. Фотиева Н.Н. Расчет крепи подземных сооружений в сейсмически активных районах / Н.Н. Фотиева. – М.: Недра, 1980. – 222 с.
27. Леонов С.Г. Выбор и обоснование параметра рационального способа сохранения устойчивости почвы выемочной выработки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / Леонов Сергей Геннадьевич; Дон. нац. техн. ун-т. – Донецк, 2004. – 20 с.
28. Нильва Э.Э. Горноподготовительные работы на угольных шахтах / Э.Э. Нильва, И.Э. Цейтин. – М.: Недра, 1981. – 280 с.
29. Унифицированные типовые сечения горных выработок – К.: Будивельник, 1971. – Т. 1. – 300 с.
30. Обоснование параметров энергосберегающих технологических схем подземного транспорта в условиях отработки совместных запасов шахт «Павлоградская» и «Терновская» ОАО «Павлоградуголь»: отчет о НИР: 01.05.02 / Нац. горн. ун-т; науч. рук. Л.Н. Ширин. – Д., 2005. – 137 с. – № ГР 0105007350.
31. Кузнецов Б.А. Транспорт на горных предприятиях / под общ. ред. Б.А. Кузнецова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 552 с.
32. Оценка геометрических несовершенств рельсового пути в подземных выработках шахт Западного Донбасса / А.В. Денищенко, В.В. Зиль, Л.Н. Посулько, В.А. Расцветаев // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 6. – С. 79 – 81.
33. Беляков Н.И. Состояние и пути вспомогательного транспорта / Н.И. Беляков // Комплексная механизация и автоматизация разработки угольных месторождений Карагандинского бассейна: науч. сообщения / КНИУИ. – Караганда, 1973. – Вып. 47. – С. 14 – 21.
34. Качко Ю.Я. Совмещение основных и вспомогательных работ на угольных шахтах / Ю.Я. Качко, Г.В. Саенко. – К.: Вища шк., 1975. – 76 с.
35. Кузнецов Л.И. Анализ развития вспомогательного транспорта на отечественных и зарубежных угольных шахтах / Л.И. Кузнецов, Ф.М. Эйдинзон. – М., 1981. – С. 27 – 33. – (Обзор. информ. / ЦНИИЭИуголь; № 34).
36. Справочник горного инженера угольной шахты с крутым (крутонаклонным) залеганием пластов / С.С. Гребёнкин, С.В. Янко, В.Н. Павлиш и др.; под общ. ред. С.В. Янко и С.С. Гребёнкина. – Донецк: ВИК, 2011. – 420 с.
37. Братченко Б.Ф. Рудничный транспорт и механизация вспомогательных работ / Б.Ф. Братченко. – М.: Недра, 1978. – 423 с.

38. Денищенко А.В. Обоснование параметров и технологических схем применения канатных напочвенных дорог при проведении горных выработок: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06: защищена 06.10.99 / Денищенко Александр Валерьевич; Нац. горн. акад. Украины. – Д., 1999. – 122 с.
39. Congouille, R. Aubel. Transports et mametenetions. “Publications techniques des charleonnares deFrance”. 1974. % 6., Transports et telicommunications aux Hoillires de Provance – “Industrie minerale mine”, 1975, № 3.
40. Watt R.G. Transport of Men and Materials: the Problems – Some Solutions and New Concepts / R.G. Watt, J.H. Nothard // Mining Engineering, 1977. – October.
41. Хакенберг В. Обзор работы совещания «Возможности и границы применения рельсовой транспортой техники» / В. Хакенберг // Глюкаюф. – 1977. – № 24.
42. Безопасность горнотранспортного оборудования угольных шахт: сб. док. Сер. 05. / А.И. Субботин, В.Д. Чигрин, Л.А. Беляк и др. – М.: Науч.-техн. центр по безопасности в пром-сти Госгортехнадзора России», 2004. – 108 с.
43. Временные нормы и технические требования для безопасной эксплуатации дизельных локомотивов (машин) в угольных шахтах. – Макеевка: Донбасс, 1975.
44. Временные требования безопасности при эксплуатации монорельсовых дорог в угольных шахтах. – Макеевка: Донбасс, 1983.
45. Инструкция по эксплуатации шахтного подвесного локомотива DLZ 110F, s.r.o. Ferrit, Czech Repuplik.
46. Правила безпеки у вугільних шахтах: НПАОП 10.0-1.01-05. – Х.: Форт, 2007. – 240 с.
47. Гранкин И.С. Проведение подготовительных выработок / И.С. Гранкин, И.Л. Сушко, И.Л. Рудь. – К.: Техника, 1981. – 97 с.
48. Проведение и поддержание выработок в неустойчивых породах / Ю.В. Потапенко, Ю.В. Козанский, Б.В. Цыплаков, В.Н. Гелескул, Ф.А. Карасев, Б.М. Суровский, М.А. Козлов. – М.: Недра, 1990. – 336 с.
49. Проведение, крепление и поддержание горных выработок: науч. сообщ. / Ин-т горн. дела им. А.А. Скочинского. – М.: ИГД, 1990. – 144 с.
50. Сургай Н.С. Уголь – главный энергоноситель в Украине! / Н.С. Сургай // Школа підземної розробки: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф., 13 – 19 верес. 2009 р., м. Дніпропетровськ. – Д.: НГУ, 2009. – С. 7 – 13.
51. Айзеншток Л.И. Исследование динамики и обоснование параметров конструкции и условий эксплуатации шахтных скоростных монорельсовых дорог: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: спец. 05.05.06 «Горные машины» / Айзеншток Леонид Иосифович; ИГТМ АН УССР. – Д., 1983. – 23 с.
52. Айзеншток Л.И. Исследование состояния пути шахтных монорельсовых дорог / Л.И. Айзеншток, В.С. Носов, Р.Л. Слободенюк // Способы и средства безопасной эксплуатации электро-механического оборудования в шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – 1982. – С. 61 – 62.

53. Веткин А.С. Разработка методики расчета вписывания подвижного состава в закругления шахтных монорельсовых дорог для совершенствования их проектирования и эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: спец. 05.05.06 «Горные машины» / Веткин Андрей Семенович; Политехн. ин-т. – Донецк, 1984. – 22 с.

54. Желтухин Л.Г. Исследование динамики взаимодействия подвижного состава и пути шахтной подвесной монорельсовой дороги: автореф. дис. ... канд. техн. наук.: спец. 05.05.06 «Горные машины» / Желтухин Леонид Григорьевич. – М., 1977. – 17 с.

55. Кравцов А.И. Динамика пуска и определение рациональных параметров приводных установок подземных канатных дорог: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.06 «Горные машины»: защищена 23.03.89 / Кравцов Александр Иванович; Коммунар. горн.-метал. ин-т. – Стаханов, 1989. – 176 с.

56. Шахтарь П.С. О колебаниях сосудов монорельсовых дорог / П.С. Шахтарь // Шахтный и карьерный транспорт. – М., 1981. – Вып. 7. – С. 199 – 209.

57. Ширин Л.Н. Оценка эксплуатационных параметров подвесных монорельсовых дорог / Л.Н. Ширин, Л.Н. Посунько, В.А. Расцветаев // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць / Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Д., 2008. – Вип. 76. – С. 91 – 96.

58. Амурский Б.С. Средства комплексной механизации и автоматизации горнопроходческих работ за рубежом / Б.С. Амурский – М.: ЦНИИЭИуголь, 1987. – С. 83.

59. Барташевский С.Е. Перспективы применения самоходного оборудования для комплексной механизации проведения выработок буровзрывным способом / С.Е. Барташевский, Л.Н. Ширин // Вибрации в технике и технологиях. – 1998. – № 3 (7). – С. 19 – 20.

60. Воспроизводство вскрытых и подготавливаемых запасов угля на шахтах. – М.: Недра, 1990. – 352 с.

61. Гелескул М.Н. Справочник по креплению капитальных и подготовительных выработок / М.Н. Гелескул, В.Н. Каретников. – М.: Недра, 1982. – 312 с.

62. Заславский Ю.З. Новые виды крепи горных выработок / Ю.З. Заславский, Е.Б. Дружко. – М.: Недра, 1989. – 256 с.

63. Технология, механизация и организация проведения горных выработок / Б.В. Бокий, Е.А. Зимица, В.В. Смирняков, О.В. Тимофеев; под ред. Б.В. Бокия. – М.: Недра, 1983. – 250 с.

64. Малевич Н.А. Горнопроходческие машины и комплексы / Н.А. Малевич. – М.: Недра, 1980. – 384 с.

65. Тиро А.М. О выборе показателей, характеризующих влияние смежных условий на работу самоходного погрузочно-транспортного комплекса (в горных условиях) / А.М. Тиро // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1969. – № 2. – С. 117 – 120.

66. Усаченко Б.М. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса / Б.М. Усаченко, В.Я. Кириченко, А.В. Шмиголь. – М.: Недра, 1992. – 167 с.

67. Ороховский И.И. Монорельсовые дороги с дизельным приводом / И.И. Ороховский, А.И. Кулевкин, Г.С. Руденко. – М., 1980. – 68 с. – (Обзор информ. / ЦНИИЭИуголь).

68. Черняк И.Л. Предотвращение пучения почвы горных выработок / И.Л. Черняк. – М.: Недра. – 1988. – 233 с.

69. Ширин Л.Н. Оптимизация схем взаимодействия погрузочного и транспортного оборудования и совершенствование технологии горно-подготовительных работ / Л.Н. Ширин, С.Е. Барташевский, В.Ю. Мельничук // Научно-прикладные проблемы разработки крутых и крутонаклонных угольных пластов Донбасса: кол. монография. – Донецк: Регион, 1999. – С. 370 – 379.

70. Ширин Л.Н. Перспективы развития адаптационных систем вспомогательного транспорта в условиях шахт Западного Донбасса / Л.Н. Ширин, Л.Н. Посунько, В.А. Расцветаев // Школа подземной разработки: материалы. междунар. науч.-практ. конф., 17 – 22 сент. 2007 г., г. Днепропетровск / М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – С. 296 – 301.

71. Яворский В.Н. Обоснование параметров технологии отработки угольных целиков камерами в условиях шахт Западного Донбасса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / Яворский Василий Николаевич; Нац. горн. акад. Украины. – Д., 2000. – 19 с.

72. Analysis of combined support behavior of development openings with criteria of resource-saving technologies / I. Kovalevska, A. Laguta, O. Vivcharenko, O. Koval // Technical and Geoinformational Systems in Mining. Proceedings of the school of underground mining, 2 – 8 October 2011, Yalta, Ukraine. – D., 2011. – P. 71 – 77.

73. Бурчков А.С. Проектирование шахт: учебник для вузов / А.С. Бурчков, А.С. Малкин, М.И. Устинов. – 3-е изд., доп. – М.: Недра, 1985. – 400 с.

74. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах / Дон. науч.-исслед. угольный ин-т. – Донецк, 2007. – 40 с.

75. Расцветаев В.А. Комплексная оценка транспортно-технологических схем комбайнового проведения подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса / В.А. Расцветаев, Л.Н. Посунько, М.Г. Дятленко // Проблемы горного дела и экологии горного производства: материалы V междунар. науч.-практ. конф., 14 – 15 мая 2010 г. – Антрацит, 2010. – С. 36 – 41.

76. Окунь Я. Факторный анализ / Я. Окунь – М.: Статистика, 1974. – 200 с.

77. Харман Г. Современный факторный анализ / Гарри Харман– М.: Статистика, 1972. – 488 с.

78. Дубровский Е.М. Монорельсовые дороги для угольных шахт: обзор / Е.М. Дубровский. – М., 1960. – 20 с.
79. Гиленко В.А. Монорельсовый транспорт при проходке горизонтальных горных выработок: обзор / В.А. Гиленко, В.В. Кадышев, С.И. Костюченко. – М., 1975.
80. Крушенников Г.А. Распределение напряжений в породном массиве / Г.А. Крушенников, Н.А. Филатов, Б.З. Амусин. – М.: Недра, 1972. – 216 с.
81. Супруненко А.Н. Обоснование надежности крепи и затрат на поддержание подготовительных выработок по смещениям контура в выемочных полях пологих и наклонных пластов шахт Кузнецкого бассейна: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / Супруненко Александр Николаевич; Ин-т горн. дела. – Новосибирск, 1983. – 22 с.
82. Выледжанин В.Н. Адаптивное управление подземной технологией добычи угля / Э.И. Витковский, В.П. Потапов. – Новосибирск: Наука, 1987. – 232 с.
83. Лубенец Н.А. Моделирование пластических свойств горных пород / Н.А. Лубенец // Сборник научных трудов НГУ. – Д., 2003. – № 17. – С. 574 – 576.
84. Лубенец Н.А. Явление сверхпластичности горного массива – ключ к пониманию причин и механизма возникновения некоторых динамических явлений / Н.А. Лубенец // Науковий вісник НГУ. – Д., 2004. – № 10. – С. 29 – 32.
85. Ширин Л.Н. Исследование особенностей взаимодействия массива горных пород с арочной крепью в выработках с подвесной монорельсовой дорогой / Л.Н. Ширин, В.А. Расцветаев, А.Л. Лебедь // Науковий вісник НГУ. – Д., 2010. – № 11 – 12. – С. 52 – 54.
86. Ширин Л.Н. Прогнозирование устойчивости участковых транспортных выработок в условиях шахт Западного Донбасса / Л.Н. Ширин, Н.А. Лубенец, В.А. Расцветаев // Науковий вісник НГУ. – Д., 2011. – № 1. – С. 40 – 44.
87. Кравченко А.В. Обоснование рациональных параметров крепей для магистральных выработок на угольных шахтах со слабометаморфизованными вмещающими породами (на примере шахт Западного Донбасса): автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.15.02 «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» / Кравченко Анатолий Васильевич; Нац. горн. акад. Украины. – Д., 1994. – 20 с.
88. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 222 с.
89. Крауч С. Метод граничных элементов в механике твердого тела: пер. с англ. / С. Крауч, А. Старфилд. – М.: Мир, 1987. – 328 с.
90. Новикова Л.В. Метод граничных элементов в задачах горной геомеханики / Л.В. Новикова, П.И. Пономаренко, В.В. Приходько, И.Т. Морозов. – Д.: Наука и образование, 1997. – 180 с.

91. Бреббия К. Метод граничных элементов: пер. с англ. / К. Бреббия, Ж. Теллес, Л. Вробел. – М.: Мир, 1987. – 524 с.
92. Бенерджи П. Метод граничных элементов в прикладных науках: пер. с англ. / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд. – М.: Мир, 1984. – 494 с.
93. Маркеев А.П. Теоретическая механика: учебник для университетов / А.П. Маркеев. – М.: ЧеРо, 1999. – 572 с.
94. Поляков Н.С. Динамика шахтного рельсового транспорта / Н.С. Поляков, Е.Е. Новиков. – К.: Наук. думка, 1973. – С. 101 – 111.
95. Кольский Г. Волны напряжения в твердых телах: пер. с англ. / Г. Кольский. – М.: Изд-во иностр. лит., 1955. – 182 с.
96. Расцветаев В.А. Особенности формирования дополнительных нагрузок на арочную крепь участковых выработок с подвесными монорельсовыми дорогами / В.А. Расцветаев // Науковий вісник НГУ. – Д., 2011. – № 4. – С. 44 – 47.
97. А. с. 2279550 РФ, МПК E21F 13/02, B61B 13/04, B61B 3/02. Шахтная монорельсовая дорога / Ю.Д. Тарасов, В.В. Габова, А.К. Николаев. – № 2005103903/11; заявл. 14.02.2005; опубл. 10.07.2006.
98. Гребёнкин С.С. Проектирование систем угольных шахт, разрабатывающих крутые и крутонаклонные пласты: учеб. пособие для вузов / С.С. Гребёнкин. – Донецк: УкрНТЭК, 2001. – 340 с.
99. Ширин Л.Н. Совершенствование методики расчета эксплуатационных параметров подвесной монорельсовой дороги при доставке грузов в сложных горно-геологических условиях / Л.Н. Ширин, В.А. Расцветаев // Науковий вісник НГУ. – Д., 2007. – № 10. – С. 17 – 20.
100. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов / В.И. Бондаренко, А.М. Кузьменко, Ю.Б. Грядущий, В.А. Гайдук, О.В. Колоколов, Н.М. Табаченко, В.Н. Почепов. – Д.: Полиграфист, 2003. – 708 с.
101. Организация и планирование очистных и подготовительных работ: учеб. пособие для вузов / В.И. Бондаренко, М.А. Ильяшов, Н.К. Руденко, С.В. Салли; М-во образования и науки Украины; Нац. горн. ун-т. – Д.: НГУ, 2009. – 327 с.
102. Основные положения по проектированию подземного транспорта новых и действующих угольных шахт. – М.: ИГД им. А.А. Скочинского, 1986. – 356 с.
103. А. с. 67842 Україна, МПК E21C 41/18. Спосіб розробки пологих вугільних пластів / Л.Н. Ширін, В.О. Расцветаев, О.Л. Лебідь. – № u201108902; заявл. 15.07.2011; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
104. А. с. 100607 Україна, МПК E21C 41/18, E21D 9/00. Спосіб розробки пологих вугільних пластів / Л.Н. Ширін, В.О. Расцветаев, О.Л. Лебідь. – № a201107468; заявл. 14.06.2011; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ УГЛЯ ПРИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ.....	5
1.1. Особенности подготовки выемочных столбов в условиях интенсификации процессов добычи угля.....	5
1.2. Оценка действующих схем вспомогательного транспорта при комбайновом проведении подготовительных выработок.....	10
1.3. Опыт эксплуатации схем вспомогательного транспорта с применением подвесных монорельсовых дорог .....	15
1.4. Пути совершенствования транспортно-технологических схем подготовки запасов к очистной выемке.....	22
Выводы.....	27
2. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ ТРАНСПОРТА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЗАПАСОВ УГЛЯ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА.....	28
2.1. Метод оценки параметров взаимодействия технологических процессов при комбайновом проведении выработок.....	28
2.2. Факторы, ограничивающие темпы подготовки запасов в условиях шахт Западного Донбасса.....	36
2.3. Принципы адаптации схем вспомогательного транспорта к условиям подготовки запасов шахт Западного Донбасса.....	50
Выводы.....	62
3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД С КРЕПЬЮ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, ОСНАЩЕННЫХ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГОЙ.....	63
3.1. Обоснование модели взаимодействия массива горных пород с арочной крепью выработок, оборудованных монорельсовыми дорогами.....	63
3.2. Моделирование нагрузок, действующих на арочную крепь при движении подвижного состава.....	78
3.3. Повышение устойчивости крепи подготовительных выработок с подвесными монорельсовыми дорогами.....	85
Выводы.....	93
4. АДАПТАЦИЯ ПОДВЕСНЫХ МОНОРЕЛЬСОВЫХ ДОРОГ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ВЫЕМОЧНЫХ СТОЛБОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА.....	94
4.1. Потенциальные источники повышения темпов подготовительных работ на шахтах Западного Донбасса.....	94

4.2. Оценка эффективности технологических схем проведения участковых выработок с применением подвесных монорельсовых дорог.....	104
4.3. Параметры адаптации подвесного транспортного оборудования при ведении монтажно-демонтажных работ в очистных забоях.....	115
4.4. Рекомендации по эксплуатации подвесных монорельсовых дорог в условиях шахт Западного Донбасса.....	125
Выводы.....	131
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>132</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>134</b>

Наукове видання

**Ширін** Леонід Никифорович  
**Расцветаєв** Валерій Олександрович  
**Коваль** Олександр Іванович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ МОНОРЕЙКОВИХ ДОРІГ  
ПРИ ПІДГОТОВЦІ ЗАПАСІВ ВУГІЛЛЯ ДО ОЧИСНОГО ВИЙМАННЯ**

Монографія

(Російською мовою)

Редактор Ю.В. Рачковська

Підп. до друку 08.12.2014. Формат 30x42/4.  
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 8,1.  
Обл.-вид. арк.. 8,1. Тираж 100 пр. Зам. №

Підготовлено до друку та видруковано  
у Державному вищому навчальному закладі  
«Національний гірничий університет».  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842 від 11.06.2004.

49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.