

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

**Герасименко Андрій Олександрович**

УДК 622.62:622.063

ДИСЕРТАЦІЯ

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-  
ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ СВОЄЧАСНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИЇМКОВИХ  
СТОВПІВ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВИСОКОНАВАНТАЖЕНИХ ЛАВ**

184 – «Гірництво»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ А.О. Герасименко

Науковий керівник  
доктор технічних наук, професор  
Ширін Леонід Никифорович

Дніпро 2024

## АНОТАЦІЯ

*Герасименко А. О.* Обґрунтування параметрів транспортно-технологічних схем своєчасної підготовки виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 – «Гірництво», – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Дніпро, 2024.

Дисертація присвячена встановленню експлуатаційних параметрів транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних та негабаритних вантажів до підготовчих вибоїв дільничних виробок і монтажних камер з використанням нетрадиційних для шахт Західного Донбасу дизельних підвісних монорейкових доріг для своєчасної підготовки нових виїмкових стовпів в складних умовах шахтового середовища.

В роботі розглянуто стан існуючих транспортно-технологічних систем (ТТС) вугільних шахт України та інноваційних технічних рішень на закордонних гірничодобувних підприємствах, наведені напрями використання потенційних резервів. Виконано оцінку математичних і комп'ютерних моделей для визначення особливостей транспортування великотоннажних вантажів

Проведений аналіз особливостей підготовки виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав та сучасних тенденцій розвитку технології комбайнового проведення пластових підготовчих виробок дозволив визначити потенційні їх резерви, наукові і проектні рішення з удосконалення технологічних схем допоміжного транспорту для специфічних умов шахт Західного Донбасу та сформулювати завдання дисертаційного дослідження.

В умовах багатоваріантності можливих проектних рішень при підготовці запасів вугілля до очисного виймання очевидною стає проблема адаптації технологічних схем транспортування великотоннажних вантажів в протяжних пластових виробках з породами підошви схильними до здимання.

Експертна оцінка комбайнового способу швидкісного проведення виробок дозволила встановити, що в реальних умовах шахтового середовища на

темпи проведення підготовчих дільничних виробок найбільш істотно впливають експлуатаційні показники транспортно-технологічних схем, їх адаптаційна здатність, а також гірничо-технічні та організаційні фактори, характерні для конкретно розглянутої ділянки шахти.

В зарубіжній практиці гірничопрохідницьких робіт найбільш поширеними вважаються технологічні схеми допоміжного транспорту з використанням дизельних підвісних монорейкових доріг (ПДМ) та самохідних вантажно-доставних машин нового покоління. Відсутність подібних технічних рішень у вітчизняній практиці комбайнового проведення пластових підготовчих виробок обумовили необхідність виконання спеціальних досліджень щодо вибору та обґрунтування принципів дії, параметрів і конструкції нетрадиційних для шахт України транспортних засобів нового покоління.

При обґрунтуванні транспортно-технологічних схем своєчасної підготовки фронту очисних робіт до першочергових завдань дослідження були віднесені: визначення потенційних резервів традиційних для регіону транспортно-технологічних схем підготовки запасів до очисного виймання; оцінка впливу коефіцієнта оборотності вагонеток у транспортних виробках зі знакозмінним профілем шляху на темпи їх проведення; підвищення показників експлуатаційної надійності традиційних колісно-рейкових видів транспорту для розширення їх функцій в специфічних умовах шахт регіону; обґрунтування інноваційних технічних рішень на розробку енергозберігаючої транспортно-технологічної системи доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер; розробка і впровадження вихідних вимог на проектування високоадаптивних технологічних схем допоміжного транспорту на базі використання гірничотранспортного обладнання високого технічного рівня.

Для підвищення пропускну здатності діючих ТТС на зарубіжних підприємствах галузі використовують сучасне самохідно-доставне обладнання та підвісні монорейкові локомотиви з дизельним приводом. Перевагами цього обладнання є багатфункціональність, висока мобільність і наявність бортової

системи контролю, яка фіксує зміни технічного стану механізмів і терміново сповіщає про це оператора.

Проведеними дослідженнями встановлено, що не зважаючи на високі техніко-економічні характеристики машин зарубіжного виробництва, у підприємств-споживачів імпортного обладнання постійно виникають проблеми з підтримкою їх технічного стану та необхідністю заміни дефіцитних вузлів і агрегатів, що виходять з ладу в процесі експлуатації. Порівняльна оцінка експлуатаційних параметрів зарубіжного самохідного обладнання, що застосовується в умовах вітчизняних підприємств суміжних галузей, з показниками роботи аналогічних зразків за кордоном дозволила констатувати, що застосування високотехнологічного гірничотранспортного обладнання без врахування особливостей розробки вугільних покладів не дозволяє досягти планованих показників і реалізувати його конкурентоспроможність.

За результатами експертної оцінки технічних характеристик і експлуатаційних показників конкурентних засобів допоміжного транспорту, що ефективно використовуються на зарубіжних і вітчизняних підприємствах галузі, для швидкісного проведення пластових підготовчих виробок з породами підшоши, схильними до здимання перевагу віддано підвісним монорейковим дорогам з дизельним локомотивом.

Дослідженнями технічного стану пластових підготовчих виробок, оснащених ПДМ, були виявлені локальні - потенційно небезпечні зони зсуву гірських порід в межах верхняків несучих рам аркового кріплення та деформації монорейкового постапу і зміни його просторового положення, що виникали при різних режимах роботи та швидкостях рухомого складу.

Результати шахтних спостережень режимів роботи монорейкових систем в умовах інтенсифікації гірничих робіт дозволили зробити висновок, що домінуючим фактором, який провокує локальні зони зсуву гірського масиву та порушення технічного стану аркового кріплення дільничних виробок слід вважати динамічні навантаження від рухомого складу ПДМ, які виникають при

транспортуванні великотоннажних вантажів по монорейковому поставу з знакозмінним профілем.

За таких умов експлуатаційні показники технологічних систем допоміжного транспорту на базі високопродуктивних ПДМ та параметри гірничих виробок і шахтового середовища було рекомендовано розглядати комплексно - як взаємодіючу транспортно-технологічну систему «Підвісна монорейкова дорога – кріплення виробки – гірський масив» («ПДМ-КВ-ГМ»).

Згідно з структурно-логічною схемою комплексних досліджень для забезпечення загальних характеристик роботи дизельних ПДМ нового покоління в реальних умовах шахтового середовища транспортно-технологічна система «ПДМ-КВ-ГМ» була умовно поділена на три взаємодіючі підсистеми: «рухомий склад - монорейковий постав» («РС-МС»); «монорейковий постав – кріплення виробки» («МС-КВ»); «кріплення виробки – гірський масив» («КВ-ГМ»). Для кожної підсистеми було розроблено комп'ютерну модель взаємодії складових її елементів.

Шахтні спостереження механізму взаємодії елементів підсистеми «рухомий склад - монорейковий постав» дозволили визначити характер утворення і величини допустимого прогину ланок монорейкового поставу при транспортуванні великотоннажних вантажів, а також їх зміни по довжині ланок та вплив на технічний стан і експлуатаційні показники ПДМ.

За результатами діагностики технічного стану монорейкового поставу та обстеження демонтованих його ланок встановлено, що саме в зонах стикових з'єднань монорейкових балок та їх центральних частинах переважно утворюються неконтрольовані деформації. Утворення подібних зон аргументувалось діючою системою кріплення монорейкового поставу до верхняків аркового кріплення та існуючою технологією транспортування великотоннажних вантажів. Непрогнозовані деформації верхняків несучих арок істотно знижують переріз підземних транспортних виробок, а також експлуатаційні характеристики ПДМ та ефективність роботи всієї ТТС.

З метою поширення області ефективного використання ПДМ нового покоління в дисертаційній роботі проведено моделювання умов взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» з використанням методів математичного аналізу технічних систем та програмного комплексу SolidWorks Simulation. В процесі моделювання були виявлені особливості прояву навантажень на аркове кріплення та деформування неоднорідного породного масиву навколо виробки при транспортуванні великотоннажних вантажів.

Для перерозподілу динамічних навантажень на суміжні ланцюги монорейкового поставу та елементи аркового кріплення розроблено інноваційне технічне рішення, згідно з яким ходові візки ПДМ були об'єднані в вантажні платформи, які за допомогою шарнірно-рухомих штанг, дозволили сформувати високоадаптивну підйомно-транспортну підсистему, експлуатаційні параметри якої розглядались у комплексі з діючою на шахтах ЗД технологією рамно-анкерного кріплення пластових підготовчих виробок.

Для безпечного транспортування великотоннажних вантажів підвісними монорейковими дорогами в дисертаційному дослідженні рекомендовано удосконалити розроблену науковцями ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова та ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» технологію рамно-анкерного кріплення виробок шляхом введення нових конструктивних елементів, що знижують динамічні навантаження на монорейковий постав, рами аркового кріплення і безпосередню покрівлю, яка переважно представлена слабкими нестійкими породами. Важливість використання такого технічного рішення обумовлена вимогами основних положень по проєктуванню підземного транспорту нових і діючих шахт, згідно з якими транспортні засоби, задіяні на етапі проведення підготовчих виробок, повинні бути максимально адаптованими до умов експлуатації на подальших етапах життєвого циклу виробок, тобто на етапах монтажу і демонтажу очисного обладнання та при виконанні очисних робіт.

По результатам моделювання особливостей взаємодії елементів ТТС системи «ПДМ-КВ-ГМ» встановлено, що для підвищення стійкості підготовчих

виробок, оснащених ПДМ, необхідно постав монорейкової дороги додатково кріпити до покрівлі з використанням анкерів спеціального призначення. Для кріплення монорейкової траси до основної покрівлі рекомендовано використовувати анкери другого рівня (глибокого залягання). Для визначення особливостей негативного впливу динамічних навантажень на анкери глибокого залягання використано сучасні методи математичного та комп'ютерного моделювання з застосуванням програмного комплексу SolidWorks.

Отримані показники взаємодії елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ» та результати оцінки технічного стану ланок монорейкового поставу дозволили встановити, що в реальних умовах шахтного середовища проектний профіль траси ПДМ являє собою складну транспортно-технологічну систему, яка під впливом динамічних навантажень безперервно змінює свій первісний стан як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. За результатами математичного та комп'ютерного моделювання було встановлено, що дію динамічних навантажень можливо зменшити шляхом розподілення їх на суміжні ланки монорейкового поставу.

По результатам виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розроблено методику моделювання параметрів взаємодії елементів транспортно-технологічної системи «ПДМ – кріплення виробки – гірський масив», яка дозволяє із застосуванням програмного комплексу SolidWorks прогнозувати зміни технічного стану монорейкової траси ПДМ при транспортуванні великотоннажних вантажів, визначати особливості взаємодії елементів транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» в типових і нетипових виробничих ситуаціях та запаси їх міцності для характерних ділянок траси.

**Ключові слова.** автокореляційні функції, анкерне кріплення, аркове кріплення, великотоннажний вантаж, гальмо, дворівневе рамно-анкерне кріплення, дизельні ПДМ, ДКН, дизельний локомотив, динамічні навантаження, допоміжний транспорт, експертна оцінка, підготовка виїмкових стовпів, підйомно-транспортна система, метод продовження за параметром, метод скінченних елементів, монтажно-демонтажні роботи, напружено-деформований

стан, нелінійна динамічна задача з тертям, обчислювальний експеримент, період коливань, підготовчі виробки, спектральний аналіз, самохідні машини; слабометаморфізовані породи, транспортно-технологічна система, трибологічна система, фазові діаграми, чисельний аналіз, швидкісне проведення, coal, rock, stopping operations, longwall, Solidworks Simulation.



**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати  
дисертації**

*Статті у наукових фахових виданнях, включених до переліку наукових  
фахових видань України:*

1. Ширін Л.Н., Герасименко А.О., Коптовец О.М., Фелоненко С.В. (2023).  
Технологія комбінованого кріплення підготовчих виробок для ефективного  
використання підвісних монорейкових доріг. *Збірник наукових праць НГУ. –  
Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка». № 72, 77-86.*  
<http://dx.doi.org/10.33271/crpnmu/72.077>

*Здобувач дослідив існуючі підходи щодо кріплення монорейкового поставу  
та зниження динамічних навантажень. Запропонував технологію  
комбінованого кріплення монорейкового поставу в підготовчих виробках з  
використанням анкерів другого рівня для ефективного використання підвісних  
монорейкових доріг.*

2. Коптовец О.М., Ширін Л.Н., Яворська В.В., Герасименко А.О. (2023).  
Ідентифікація та дослідження характеристик фрикційних коливань у гальмі.  
*Збірник наукових праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська  
політехніка». № 73, 33-44.* <https://doi.org/10.33271/crpnmu/73.033>

*Здобувач дослідив фрикційні коливання у гальмівних системах та виконав  
дослідження по вдосконаленню традиційних колодочно-гальмівних систем.*

3. А.О. Герасименко, А.Л. Ширін, І.В. Інюткін, П.А. Дьячков (2024).  
Обґрунтування області ефективного використання гірничотранспортного  
обладнання для швидкісного проведення підготовчих виробок. *Збірник наукових  
праць НГУ. – Дніпро: Національний ТУ «Дніпровська політехніка». № 76, 20-32.*  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.020>

*Здобувач проаналізував існуюче гірничотранспортне обладнання для  
швидкісного проведення підготовчих виробок та виконав адаптацію найбільш  
поширених систем допоміжного транспорту до специфічних умов Західного  
Донбасу.*

*Статті у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу, з наукового напрямку, за яким підготовлено дисертацію здобувача:*

4. Herasymenko, A.O., Rastsvietaiev, V.O., Shyrin, A.L. (2023). Selection of the means of auxiliary transportation facilities and adaptation of their parameters to specific operation conditions. *Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu*. (2): 40–46. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/040>

*Здобувач виконав експертну оцінку особливостей технології підготовки шахтного поля та монтажних-демонтажних робіт, рекомендував найбільш перспективний варіант і розробив технічні рішення щодо підвищення його потенційних резервів.*

5. Shyrin, L., Herasymenko, A., Inyutkin, I. (2023). Modelling the suspended monorail route stresses and deflections during the transport of heavy loads with use of diesel locomotives. *Mining Machines*, 41(2), 132-142. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2023.2.5>

*Здобувач промодельював динамічні навантаження на монорейковий постав при транспортуванні великотоннажних вантажів та розробив методи їх зниження за рахунок перерозподілу маси по принципу д'Аламбера.*

#### *Патенти:*

6. Барташевський С.Є. Денищенко О. В. Коровяка Є. А. Расцветаєв В. О. Єгорченко Р. Р. Герасименко А. О. (2021). Спосіб доставки дегазаційного трубопроводу у шахту (Україна/Дніпро Заявка на винахід u202003964 від 14.01.21). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

7. Денищенко О.В. Барташевський С. Є. Герасименко А. О. Коптовець О. М. Інюткін І. В. Барташевська Л. І. Барташевська Ю. М. (2022). Канатна транспортна система (Україна/Дніпро Заявка на винахід a202001979 від 01.09.22). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

8. Ширін Л.Н., Герасименко А.О., Ширін А.Л., Єгорченко Р. Р., Коптовець О.М., Дьячков П.А., Інюткін І.В. (2022). Підйомна-транспортна система для доставки вантажів (Україна/Дніпро Заявка на винахід а2022 02487 від 14.07.22). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

*Матеріали наукових конференцій:*

1. Shirin L.N., Inyutkin I.V., Herasymenko A.O. Problems and prospects of self-propelled delivery equipment use in terms of uranium deposit development. In "The IX International Conference "Actual Problems of the Uranium Industry". Almaty November 24–26 2022. Vol. 1, P. 98-103.

2. L. Shyrin, A. Herasymenko, P. Dyachkov. Peculiarities of the formation of transport and logistics schemes for the delivery of large-tonnage cargoes to assembly chambers and preparatory pits. Physical and Chemical Geotechnologies: Collection of scientific works from Scientific and Practical Conference. Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro NTU 2022. P. 50-57. <https://doi.org/10.15407/pcgt.22.05>

3. Герасименко А.О. Перспективи впровадження шахтних локомотивів із зубчастим зачепленням на шахтах Західного Донбасу. Молодь: наука та інновації – 2019: Матеріали VII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. Дніпро, 11-12 листопада НТУ ДП 2019.

4. Герасименко А.О. Розширення сфери ефективного застосування шахтного локомотивного транспорту. Наука III тисячоліття : пошуки, проблеми, перспективи розвитку : Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції. Бердянськ 22-23 квітня БДПУ 2020. Ч. 1. С. 173-174.

5. Герасименко А.О. Напрямки підвищення технічного рівня шахтних локомотивів. Молодь: наука та інновації – 2020: Матеріали VIII Ювілейної Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. Дніпро, 26-27 листопада НТУ «ДП» 2020.

6. Герасименко А.О., Костюшин Д.О. Адаптація діючих засобів допоміжного транспорту підготовчих дільничих виробок до монтажу очисного обладнання. Молодь: наука та інновації 2021: Матеріали Всеукраїнської

науковотехнічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпро, 11–12 листопада НТУ «ДП» 2021. С.451-452

7. Ширін, Л., & Герасименко, А. (2021). Підвищення ефективності монтажно- демонтажних робіт при експлуатації високонавантажених лав. Ukrainian School of Mining Engineering 2021. P. 69-72. <https://doi.org/10.33271/usme15.069>

8. Коптовець, О., Коровяка, Є., Расцветаєв, В., & Герасименко, А. (2021). Структурно-морфологічний аналіз гальма шахтних локомотивів. Ukrainian School of Mining Engineering 2021.P. 73-76. <https://doi.org/10.33271/usme15.073>

9. Герасименко А.О. Переваги використання підвісних і надгрунтових дизель-гідравлічних локомотивів на шахтах Західного Донбасу. Наукова весна – 2019: Матеріали X Ювілейної Всеукраїнської науковотехнічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених. Дніпро, 25-26 квітня НТУ «ДП» 2019.

10. Герасименко А.О. Удосконалення методики вибору засобів допоміжного транспорту для своєчасної підготовки виїмкових стовпів. «Наукова весна» 2022: Матеріали XII Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпро, 23–24 травня НТУ «ДП» 2022. С. 289- 291.

11. Герасименко А.О. Особливості кріплення монорейкового ставу підвісних монорейкових доріг в пластових дільничих виробках. Молодь: наука та інновації: Матеріали X Міжнародної науковотехнічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Дніпро, 23–25 листопада НТУ «ДП» 2022. С. 126-127.

12. Герасименко А.О. Результати моделювання навантажень на монорейковий став підвісних доріг при транспортуванні великотоннажних вантажів. «Наукова весна» 2023: Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 1–3 березня НТУ «ДП» 2023. С. 15-16.

13. L. Shyrin, A. Herasymenko. Modeling of loads on the anchoring of suspended monorail roads during the transportation of large-tonnage cargo. Physical

and Chemical Geotechnologies: Collection of scientific works from Scientific and Practical Conference. Ministry of Education and Science of Ukraine, Dnipro University of Technology. – Dnipro : NTU “DP”, 2023. – 102 p. (68-74).

14. Герасименко А.О. Потенційні резерви традиційних та альтернативних транспортних засобів для швидкісного проведення підготовчих виробок. Молодь: наука та інновації: матеріали XII Міжнародної науковотехнічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 23–25 листопада 2023 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023.

15. Герасименко А.О. Результати моделювання навантажень на анкерне кріплення підвісних монорейкових доріг при транспортуванні великотоннажних вантажів. «Наукова весна» 2024: матеріали XIV Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 2024 / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2024

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....</b>	<b>16</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>17</b>
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМИ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ...24</b>	<b>24</b>
1.1 Особливості підготовки виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав.....	24
1.2 Аналіз тенденцій розвитку транспортно-технологічних схем комбайнового проведення підготовчих виробок в умовах шахт Західного Донбасу.....	30
1.3 Оцінка наукових і проектних рішень з удосконалення технологічних схем допоміжного транспорту для своєчасної підготовки виїмкових стовпів.....	37
1.4 Формування напрямів модернізації діючих транспортно-технологічних схем підготовки запасів до очисного виймання та завдань дослідження.....	40
Висновки по розділу 1.....	46
Список використаних джерел за розділом 1.....	46
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛІ СВОЄЧАСНОЇ ПІДГОТОВКИ ЗАПАСІВ ДО ОЧИСНОГО ВИЙМАННЯ.....53</b>	<b>53</b>
2.1 Оцінка показників ефективного використання засобів допоміжного транспорту для швидкісного проведення підготовчих виробок.....	53
2.2 Особливості визначення адаптаційних показників самохідних машин при проведенні та експлуатації підготовчих виробок.....	70
2.3 Удосконалення експлуатаційних показників колісно-рейкових видів транспорту для розширення їх функцій в умовах шахт Західного Донбасу.....	76
2.4 Аргументація засобів допоміжного транспорту та адаптація їх до умов експлуатації.....	85
2.5 Обґрунтування напрямів зниження динамічних навантажень на кріплення підготовчих виробок при транспортуванні великотоннажних вантажів.....	98
Висновки по розділу 2.....	109
Список використаних джерел за розділом 2.....	110

### **РОЗДІЛ 3. АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ МОНОРЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ ДО СПЕЦИФІЧНИХ УМОВ ПРОВЕДЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛАСТОВИХ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК.....117**

- 3.1 Аналіз процесів гірничого виробництва і характеристик вантажопотоків, що визначають вибір засобів допоміжного транспорту.....117
- 3.2 Особливості кріплення монорейкового поставу підвісних монорейкових доріг в пластових дільничних виробках.....120
- 3.3 Розробка методики досліджень умов взаємодії рухомого складу підвісних монорейкових доріг з арковим кріпленням підготовчих виробок.....125
- 3.4 Моделювання навантажень на монорейковий постав підвісних доріг при транспортуванні великотоннажних вантажів.....131
- 3.5 Обґрунтування підйомно-транспортної системи для перерозподілу динамічних навантажень на монорейковий постав.....145
- Висновки по розділу 3.....148
- Список використаних джерел за розділом 3.....149

### **РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ КРІПЛЕННЯ ВІЙМКОВИХ ВИРОБОК ОБЛАДНАНИХ ПІДВІСНИМИ МОНОРЕЙКОВИМИ ДОРОГАМИ.....154**

- 4.1 Загальні положення.....154
- 4.2 Оцінка технічних рішень щодо зниження навантажень на кріплення підготовчих виробок від дії рухомого складу.....155
- 4.3 Обґрунтування параметрів технологічної схеми двохрівневого кріплення підготовчих виробок та динамічних навантажень на масив.....162
- 4.4 Розробка вихідних вимог для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів підвісними монорейковими дорогами...172
- 4.5 Рекомендації щодо підвищення графіків виконання монтажних-демонтажних робіт з використанням альтернативних видів допоміжного транспорту.....182
- Висновки по розділу 4.....185
- Список використаних джерел за розділом 4.....186

**ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....189**

**ДОДАТКИ .....191**

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БВ - буксирний візок  
БП – бункер перевантажувач  
ВДМ - вантажно-доставна машина  
ВШ - відкотний штрек  
ГБ - гальмівний башмак  
ГВ - гірничча виробка  
ГМ – гірський масив  
ГПР - гірничопідготовчі роботи  
ДКН – надгрунтові канатні дороги  
ЗД - Західний Донбас  
КВ – кріплення виробки  
КСП – комбайн стріловий прохідницький  
МВШ - магістральний вентиляційний штрек  
МДЕ - метод дискретних елементів  
МДР - монтажні-демонтажні роботи  
МК – механізоване кріплення  
МС – монорейковий постав  
МСЕ - метод скінченних елементів  
НДС – напружено деформований стан  
ОМК - очисних механізованих комплексів  
ПДМ - підвісні дороги монорейкові  
ПТС - підйомно-транспортна система  
РС - рухомий склад  
СО – самохідне обладнання  
ТТС - транспортно технологічні схеми  
MBS - Multi Body System



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Розвиток гірничих робіт на діючих шахтах України пов'язаний із збільшенням глибини розробки вугільних пластів та доопрацювання розвіданих запасів. Проблема доопрацювання запасів біля меж шахтних полів є особливо актуальною для шахт Західного Донбасу, де виробничі потужності обмежені порівняно низькою вугленосністю родовища, нерівномірним поширенням робочої потужності пластів, високою водообільністю, а також наявністю великих порушень та інтенсивним здиманням гірських порід у підготовчих виробках.

З урахуванням складних гірничо-геологічних умов залягання пластів відпрацювання запасів здійснюється переважно довгими стовпами по повстанню та падінню. Ухвалений спосіб підготовки виїмкових стовпів заснований на проведенні великого обсягу протяжних похилих виробок (бортових та збірних ходків). В умовах високої обводненості та інтенсивного здимання порід ґрунту забезпечення прохідницьких вибоїв обладнанням та матеріалами є першорядним завданням. У подібних умовах експлуатації системи підземного транспорту, спроектовані понад 40 років тому, відрізняються багатоланковістю, є найенергоємнішими підсистемами шахт і не забезпечують своєчасну підготовку виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав.

На сучасному етапі розвитку гірничої техніки та технології очисні вибої діючих шахт оснащуються високопродуктивними механізованими комплексами нового покоління. У зв'язку з цим, для своєчасної підготовки виїмкових стовпів на шахтах ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» необхідно щорічно проводити понад сто кілометрів дільничних підготовчих виробок зі складним профілем колії та змінним кутом нахилу. Але, впроваджуючи високопродуктивні прохідницькі комбайни шахти Західного Донбасу, як і раніше, орієнтуються на традиційні види допоміжного транспорту - електровозну та кінцеву канатну відкатку гірської

маси та доставку вантажів у підготовчі забої. Область застосування електровозної відкатки обмежується ухилами до 0,05 %, а кінцеву канатну відкатку неможливо використовувати на знакозмінному профілі шляху.

Недосконалість діючих схем транспорту особливо відчувається при доставці великотоннажних і негабаритних вантажів до монтажних камер при підготовці нових виїмкових стовпів. З віддаленням гірничих робіт до меж шахтних полів на продуктивність і надійність технологічних схем рейкового транспорту стохастично впливають безліч технічних, технологічних та організаційних факторів. Тому сучасні системи допоміжного транспорту повинні бути високоадаптивними та орієнтованими на зниження енерговитрат та збереження якості вантажів, що транспортуються по гірничих виробках.

Досягається це шляхом оптимізації параметрів існуючих підземних транспортних установок та розробкою високоадаптивних транспортно-технологічних схем на базі транспортного обладнання нового покоління.

Саме тому дисертаційна робота присвячена встановленню особливостей взаємодії елементів транспортно-технологічної системи доставки великотоннажних та негабаритних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер із застосуванням нетрадиційних для шахт Західного Донбасу дизельних підвісних монорейкових доріг є актуальною і своєчасною.

**Метою дослідження** є обґрунтування закономірностей зміни експлуатаційних параметрів та напружено-деформованого стану складових елементів транспортно-технологічної системи «Підвісна монорейкова дорога – Кріплення виробки – Гірський масив» залежно від маси вантажу, що транспортується в підземних виробках складної конфігурації.

Для досягнення поставленої мети сформульовано та вирішено наступні завдання:

1. Визначити потенційні резерви підвищення експлуатаційних показників альтернативних ТТС при проведенні пластових підготовчих виробок в умовах шахт ЗД

2. Дослідити умови взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «Підвісна монорейкова дорога – Кріплення виробки – Гірський масив» для встановлення альтернативного виду транспортування великотоннажних вантажів

3. Обґрунтувати інноваційні технічні рішення на розробку енергозберігаючої транспортно-технологічної системи доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер

4. Провести чисельне моделювання за допомогою методу скінченних елементів зміни напружено-деформованого стану несучих елементах ТТС «ПДМ – КВ – ГМ» залежно від маси вантажу, що транспортується в підземних гірничих виробках складної конфігурації

5. Розробити вихідні вимоги на проєктування ТТС доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер з використанням ПДМ нового покоління за величиною прогину монорейки та межі міцності на розтягання анкерів другого рівня

**Ідея роботи** полягає у використанні принципу д'Аламбера для перерозподілу динамічних навантажень між несучими елементами системи «ПДМ – кріплення виробки – гірський масив» залежно від величини маси великотоннажного вантажу, що транспортується по гірничим виробкам.

**Об'єкт дослідження** – транспортно-технологічна система «ПДМ – кріплення виробки – гірський масив» доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер в складних умовах розробки вугільних пластів шахт Західного Донбасу.

**Предметом дослідження** є процеси взаємодії елементів системи «ПДМ – кріплення виробки – гірський масив» при транспортуванні великотоннажних вантажів в гірничих виробках, викривлених в профілі та плані.

**Методи дослідження.** Для обґрунтування параметрів технологічних схем підготовки виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав застосовано апробовані методи аналізу та синтезу, експертної оцінки, експериментальних досліджень і комп'ютерного моделювання максимальних напружень і деформацій в лінійних частинах монорейкового поставу ПДМ та показників запасу міцності анкерного кріплення другого рівня з використанням програмного комплексу SolidWorks.

**Наукова новизна одержаних результатів:**

– уперше за допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation досліджено зміни напружено-деформованого стану несучих елементів підсистеми «МС-КВ» залежно від величини маси великотоннажного вантажу. Отримана квадратична залежність інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{von Mises}$  у анкері другого рівня від маси великотоннажного вантажу  $P$ , що дозволило виконати структурний аналіз поведінки підсистеми при транспортуванні великотоннажних вантажів та прогнозувати технічний стан складної системи «ПДМ-КВ-ГМ» в реальних умовах шахтного середовища.

– використовуючи метод скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation досліджено зміни напружено-деформованого стану елементів підсистеми «РС-МС» залежно від величини маси великотоннажного вантажу. Отримана лінійна залежність прогину балки монорейки  $f_{\theta}$  від маси великотоннажного вантажу  $p$ . Розглянута складна взаємодіюча транспортно-технологічна підсистема «РС-МС» в реальних умовах шахтного середовища під впливом динамічних навантажень безперервно змінює свій первісний стан як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах.

– Обґрунтовано інноваційні технічні рішення по модернізації діючих схем підвішування великотоннажних вантажів, запропонована високоадаптивна ПТС для перерозподілу динамічних навантажень на монорейковий постав. Доведено, що дію динамічних навантажень можливо зменшити шляхом розподілення маси великотоннажного вантажу між декількома ланками монорейкового поставу.

– розроблені вихідні вимоги для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів підвісними монорейковими дорогами. Що включають в себе одночасне кріплення монорейкової траси до верхняків аркового кріплення та анкерів другого рівня з використанням високоадаптивної ПТС для перерозподілу динамічних навантажень на несучих елементи складної взаємодіючої транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» в реальних умовах шахтного середовища.

**Наукове значення роботи** полягає в обґрунтуванні першопричин, що обумовлюють розвиток типових і нетипових пошкоджень елементів динамічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» при транспортуванні великотоннажних та негабаритних вантажів в підземних виробках складної конфігурації. На базі проведених теоретичних досліджень і моделювання умов взаємодії елементів динамічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» обґрунтовано параметри кріплення і навантаження монорейкового поставу ПДМ для безпечного транспортування великотоннажних вантажів та своєчасної підготовки виїмкових стовпів до очисного виймання в специфічних умовах експлуатації дизельних ПДМ.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в розробці:

1. Вихідних вимог для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів дизельними підвісними монорейковими дорогами до підготовчих вибоїв та монтажних камер в умовах шахт Західного Донбасу.

2. Методики моделювання параметрів взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «Підвісна монорейкова дорога – Кріплення виробки – Гірський масив» в специфічних умовах шахт ЗД.

У дисертаційній роботі автором виконано комплекс теоретичних та експериментальних досліджень, результати яких прийнято за основу при науковому обґрунтуванні нових технічних рішень для обґрунтування принципів дії, параметрів і конструкції транспортно-технологічної системи, ефективної доставки великотоннажних та негабаритних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер із застосуванням підвісних монорейкових доріг нового покоління.

**Впровадження результатів роботи.** На базі отриманих наукових положень обґрунтовано нові технічні рішення та розроблено вихідні вимоги щодо застосування їх в якості невід'ємного функціонального елемента при підготовці нових виїмкових стовпів до очисного виймання та швидкісного проведення пластових підготовчих виробок.

На базі результатів дисертаційної роботи створено дві методики, що набули застосування в діяльності Інституту геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України та ПРАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», а також у навчальному процесі.

Виконані теоретичні й експериментальні дослідження було покладено в основу удосконалення існуючих методів розрахунку шахтних систем допоміжного транспорту з використанням підвісних монорейкових доріг з дизельним локомотивом.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до Загальнодержавної програми розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року, що затверджена Законом України № 3268-VI від 21.04.2011. Також дисертація пов'язана з координаційними планами Міністерства освіти і науки України за

фундаментальним напрямком «Гірничі науки» на 2000–2020 рр. та з планом господарсько-договірної науково-дослідної роботи на тему «Обґрунтування ресурсозберігаючої гідротехнології видобування багатих залізних руд в умовах шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка» (договір №072355-24, 01.03.2024–31.08.2024).

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети, науково практичної задачі роботи, обґрунтуванні наукових положень та наукової новизни за результатами досліджень, обґрунтуванні оптимальних параметрів роботи елементів складної транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ», розробці вихідних вимог для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів дизельними підвісними монорейковими дорогами до підготовчих вибоїв та монтажних камер в умовах шахт Західного Донбасу.

## РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1. Особливості підготовки виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав

Особливістю геологічних умов Західного Донбасу (ЗД) є наявність слабометаморфізованих порід, великі притоки води та інтенсивний розвиток випереджаючих порушень. У подібних умовах на незначних глибинах залягають тонкі пологі пласти вугілля ЗД [1].

Зазначені особливості зумовили порядок відпрацювання запасів, спосіб підготовки та систему розробки для цього регіону. Традиційно прийняті транспортно технологічні схеми (ТТС) суцільної конвеєризації вантажопотоку вугілля від очисних вибоїв до головного ствола шахти, а також комбінований транспорт для відкатки породи та рейковий для допоміжного вантажопотоку [2].

Незважаючи на складні гірничо-геологічні умови залягання вугільних пластів ЗД інтенсифікація очисних робіт є однією з основних задач вітчизняного виробництва. Використання високопродуктивних механізованих комплексів нового покоління орієнтовано на сучасні системи розробки пластів довгими стовпами по повстанню та падінню. Завдяки цьому забезпечуються високі темпи руху очисних вибоїв та збільшення навантаження на пласт. Однак складні умови підтримки та низькі темпи проведення збірних та бортових штреків, у сукупності з недосконалими вітчизняними схемами та засобами допоміжного транспорту у похилих виробках, ускладнюють ведення гірничих робіт для своєчасної підготовки очисних вибоїв.

Нестабільна діяльність засобів допоміжного транспорту у системі гірничого виробництва шахт ЗД обумовлена особливостями відпрацювання запасів біля меж шахтних полів та геологічних порушень, низькими темпами ведення підготовчих робіт, непрогнозованим станом збірних та бортових



хідників, а також інтенсивним здиманням порід підшоши в дільничних пластових виробках та значними водопритоками [3].

Означені проблеми традиційно вирішують технологічні підсистеми шахти, такі як: очисні і підготовчі роботи; підтримки та ремонту виробок, а також підземного транспорту вантажів.

Підсистема підземного транспорту вантажів являє собою складовий елемент технологічних процесів вищевказаних підсистем, а також з'єднувальним елементом всіх підсистем шахти. Слід зазначити, що найбільш «вузькою» ланкою в технологічній системі видобутку вугілля на даний період є традиційні схеми транспорту основного і допоміжного вантажопотоків [4].

На даний період часу розвідані запаси вугілля відпрацьовуються біля геологічних порушень та кордонів шахтних полів, тому в ланцюзі основного вантажопотоку значно збільшилася кількість конвеєрних установок, а традиційні засоби допоміжного транспорту експлуатуються за межами ефективного використання та практично вичерпали можливості своєї подальшої досконалості.

Останнє зумовлено ситуацією коли традиційні для регіону рейкові засоби допоміжного транспорту, не витримують значного підвищення навантажень на транспортні виробки. Повна відсутність високопродуктивного та надійного транспортного обладнання з високою адаптаційною спроможністю зумовила пошук інноваційних рішень у закордонних виробників [5].

До сучасних транспортних засобів з високою адаптаційною здатністю слід віднести дизельні підвісні монорейкові дороги (ПДМ) та самохідні доставні машини. Вони зарекомендували себе за кордоном як інноваційні високопродуктивні транспортні засоби з високими потенційними резервами.

Слід зазначити, що найбільш адаптованою до змін гірничотехнічних умов експлуатації в даний час виявилася підсистема очисні роботи, орієнтована на впровадження високопродуктивних комплексів нового покоління.

Однак при підготовці нових виїмкових стовпів, у процесі переходу тектонічних порушень, утворюються викривлені в плані і профілі дільничні підготовчі виробки. З вищезазначених причин проектні рішення включають по два-три стрічкові конвеєри у збірних дільничних транспортних виробках. Як наслідок, вони утворюють багатоланкову дільничну конвеєрну лінію, яка характеризується високою енергоємністю та низькою надійністю [6].

У підсистемі підготовчі роботи спостерігаються ситуації, де за останні роки значно знизилися темпи проведення підготовчих виробок. Шахтними спостереженнями встановлено, що підготовчі вибої, оснащені енергоємними прохідницькими комбайнами, значний час простоюють через відсутність взаємної ув'язки параметрів транспортно-технологічних схем з гірничо-геологічними умовами родовища та технічними умовами експлуатації гірничотранспортних машин і прохідницького обладнання [7].

Обумовлено це тим, що для доставки матеріалів та обладнання, а також для вивезення гірничої маси від прохідницьких вибоїв та при ремонті гірничих виробок у типових проектних рішеннях, як правило, передбачаються колісно-рейкові види транспорту – локомотивна або однокінцева канатна відкатка.

Рекомендовані нормативними документами [8 - 10] технологічні схеми та засоби допоміжного транспорту не адаптовані до умов експлуатації у виробках зі знакозмінним профілем шляху характерними для шахт ЗД. Крім того традиційні види допоміжного транспорту практично зняті з виробництва і за відсутності альтернативної заміни проблема своєчасного забезпечення очисних і підготовчих вибоїв допоміжними матеріалами та обладнанням стає архіважливою.

Необхідність коригування проектних рішень системи шахтного транспорту стала особливо відчутною при експлуатації високонавантажених лав [11].

Слід зазначити, що для стабільної роботи шахт ЗД, проблеми, пов'язані з доопрацюванням запасів вугілля, вирішуються шляхом продовження їх життєвого

циклу за рахунок об'єднання шахт у шахтоуправління для спільного відпрацювання запасів.

Детальний аналіз умов відпрацювання вугільних пластів в межах діючих шахтних полів показав, що погоризонтний спосіб підготовки запасів на шахтах регіону та його параметри не в повному обсязі відповідають фактичним гірничо-геологічним умовам розробки. При цьому в загальній системі розвитку гірничих робіт, менш адаптованими до подібних умов виявилися ТТС при проведенні дільничних пластових підготовчих виробок [12].

Неодноразові спроби впровадження високоефективного прохідницького обладнання на базі комбайнів нового покоління типу КСП не забезпечили проектних показників проведення виробок через відсутність взаємозв'язків з діючими схемами транспорту, які вичерпали можливості свого вдосконалення при підготовці запасів. Зумовлено це також тим, що згідно з чинними нормативними документами, типові технологічні схеми комбайнового проведення підготовчих виробок являють собою схему розміщення обладнання та людей, яка визначає послідовність та тривалість виконання основних і допоміжних процесів та операцій відповідно до планограми робіт.

Таким чином, при обґрунтуванні темпів проведення виробок основні гірничопрхідницькі операції у привибійному просторі підготовчого вибою традиційно розглядаються окремо від транспортних процесів та операцій.

Згідно з рекомендаціями [13 - 17], основними технологічними завданнями шахтного транспорту при проведенні підготовчих виробок є забезпечення прийому гірничої маси від засобів навантаження та транспортування її по виробкам, своєчасне оснащення підготовчих вибоїв необхідними матеріалами та обладнанням. До транспортних операцій по забезпеченню підготовчих вибоїв також відносять навантаження, перевантаження та розвантаження вантажів, доставку людей від приствольного двору шахти до підготовчих вибоїв і перевезення робітників по шахті протягом зміни.

Процеси комбайнового проведення дільничних виробок пропонується розглядати у взаємодії з процесами транспортування вантажів у привибійній зоні та виробці, тобто як транспортно-технологічну систему.

Особливі умови ведення гірничих робіт на шахтах ЗД характеризуються активним здиманням порід підшви, слабкою стійкістю порід покрівлі і високими притоками води [18 - 20]. У зв'язку з цим діючі ТТС проведення пластових виробок включають не тільки розстановку машин і механізмів для забезпечення гірничопрорідницьких робіт у привибійній зоні, а й комплекс взаємопов'язаних у часі та просторі допоміжних процесів по відновленню кріплення підготовчих виробок та забезпеченню їх пропускної здатності (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Допоміжні роботи по забезпеченню пропускної здатності пластових підготовчих виробок

Основними транспортно-технологічними процесами комбайнового проведення виробок по пластах з активним здиманням порід підшви слід вважати: руйнування масиву гірських порід з одночасним навантаженням гірничої маси у транспортні засоби; обмін навантажених вагонів на порожні; транспортування гірничої маси в привибійній частині та виробці; зведення постійного кріплення; настилку рейкового шляху або нарощування привибійного конвеєра, а також

виконання комплексу робіт з оформлення виробок для забезпечення їх пропускної здатності [21].

Необхідно відзначити, що спосіб руйнування масиву та технологія зведення постійного кріплення можуть коригуватися в процесі проведення виробки залежно від гірничо-геологічних умов. Схеми ж привибійного транспорту визначаються на весь термін проведення виробки і мало піддаються коригуванню.

За результатами аналізу особливостей функціонування ТТС при експлуатації високонавантажених лав встановлено, що причинами низьких темпів підготовчих робіт із застосуванням рейкових видів транспорту є:

- недостатньо чітка організація вантажно-транспортних робіт у привибійному просторі підготовчих виробок;
- не своєчасне забезпечення вибоїв порожніми вагонетками для навантаження гірничої маси; простої прохідницького обладнання, пов'язані з тривалістю маневрових робіт з обміну навантажених складів на порожні;
- зрив графіка доставки кріпильних матеріалів;
- непродуктивні пробіги порожніх вагонеток до забою та завантажених у зворотному напрямку;
- неритмічна настилка рейкової колії та ін.

Таким чином, транспортно-технологічні процеси комбайнового проведення дільничних пластових виробок необхідно розглядати як багатопараметричний об'єкт, що змінюється у просторі і часі та вимагає постійної адаптації гірничо-прохідницького і транспортного обладнання до складних гірничо-геологічних умов.

## **1.2. Аналіз тенденцій розвитку транспортно-технологічних схем комбайнового проведення підготовчих виробок в умовах шахт Західного Донбасу**

Впровадження на шахтах ЗД високопродуктивних механізованих комплексів нового покоління забезпечило високі техніко-економічні показники систем розробки пластів довгими стовпами за повстанням та падінням з збільшенням навантажень на пласт. Однак низькі темпи проведення збірних та бортових хідників, а також складні умови їх підтримки в процесі експлуатації суттєво ускладнюють своєчасну підготовку нових виїмкових стовпів до відпрацювання.

У роботах [22, 23] відзначається, що в умовах інтенсифікації гірничих робіт в технологічній системі видобутку вугілля найбільш «вузькою ланкою» є традиційні схеми допоміжного транспорту. Зумовлено це тим, що відповідно до чинних норм проектування [24] засоби дільничного та магістрального транспорту мають бути максимально уніфіковані. На шахтах регіону для доставки допоміжних матеріалів та обладнання по магістральним виробкам традиційно використовують рейкові види транспорту. Тому для вивозу гірничої маси та доставки вантажів по дільничним пластовим виробкам, залежно від їх розташування, переважно проектується транспортно-технологічні схеми з використанням шахтних локомотивів, надгрунтових канатних доріг або кінцевої канатної відкатки.

Шахтними спостереженнями встановлено, що в специфічних умовах проведення дільничних виробок, підготовчі вибої, оснащені енергоємними прохідницькими комбайнами вітчизняного та зарубіжного виробництва, значний час простоюють через низьку адаптаційну здатність рейкових видів транспорту до реальних умов шахтного середовища, що постійно змінюються у просторі та часі. Результати спостережень втрат продуктивної роботи підготовчих вибоїв представлені на рис.1.2.



Рисунок 1.2 – Показники втрат продуктивної роботи підготовчих вибоїв

Результати оцінки наведених даних дозволили встановити потенційні резерви зниження втрат проведення виробок та високої питомої ваги простоїв підготовчих вибоїв. Доведено, що найбільші втрати темпів проведення підготовчих виробок пов'язані з недосконалістю діючих технологічних схем транспорту, очікуванням порожніх вагонів та ліквідацією аварій на ділянках маневрових робіт при обміні навантажених составів на порожні. Останнє зумовлено тим, що багаточисельні трудомісткі та небезпечні операції з обміну навантажених составів на порожні при типових схемах переважно виконуються вручну без засобів автоматизації виробничих процесів.

При інтенсивній розробці вугільних пластів діючі технологічні схеми та засоби допоміжного рейкового транспорту, рекомендовані нормативними документами [24, 25], виявились мало адаптованими до експлуатації в пластових похилих виробках з породами підшви, схильними до здимання.

Згідно з рекомендаціями [26, 27], основними завданнями допоміжного транспорту при проведенні пластових дільничних виробок є забезпечення прийому гірничої маси від технологічних засобів, транспортування її по виробці та своєчасне постачання підготовчих вибоїв необхідними матеріалами та обладнанням. У зв'язку з цим, процеси комбайнового проведення дільничних виробок пропонується розглядати у взаємодії з процесами транспортування, як ТТС.

Обумовлено це особливостями транспортних та технологічних процесів у дільничних підготовчих виробках шахт ЗД, які характеризуються специфікою ведення гірничих робіт в умовах активного здимання ґрунтів, слабкої стійкості порід покрівлі та високої обводненості вугільних пластів [22]. У зв'язку з цим діючі транспортно-технологічні схеми проведення пластових виробок включають комплекс трудомістких операцій з відновлення проєктного перерізу виробки, періодичного підривання здіблених порід підосви та баластування розмитих порід ґрунту для вирівнювання знакозмінного профілю рейкового шляху. З урахуванням вищевикладеного при формуванні технологічних схем комбайнового проведення підготовчих виробок до основних показників ефективного використання транспортного обладнання слід віднести його адаптаційні здібності в специфічних умовах гірничого виробництва.

Аналіз сучасного досвіду швидкісного проведення підготовчих виробок показав, що в зарубіжній практиці гірничопрохідницьких робіт [28] найбільш поширеними вважаються технологічні схеми з використанням ПДМ та самохідних вантажно-доставних машин (ВДМ) нового покоління.

Відсутність подібних технічних рішень у вітчизняній практиці комбайнового проведення пластових підготовчих виробок обумовили необхідність виконання спеціальних досліджень щодо вибору та обґрунтування принципів дії, параметрів і конструкції нетрадиційних для шахт України транспортних засобів нового покоління.

Аналіз світового досвіду вдосконалення техніки та технології комбайнового проведення підготовчих виробок з використанням гірничотransпортного обладнання нового покоління свідчить про наявність в галузі двох технологічних напрямків, що суперечать один одному [26]:

– перший базується на інтенсифікації прохідницьких робіт з застосуванням транспортно-технологічних схем на базі використання гірничого обладнання підвищеної енергозброєності;



– другий передбачає підвищення темпів проведення виробок і зниження витрат на їх спорудження шляхом ширшого застосування легких, швидкокомонтованих конструкцій анкерного кріплення.

Експериментально доведено, що підвищення потужності робочого органу комбайну веде до збільшення його маси та габаритів (для забезпечення стійкості) і в комплексі з пересувними перевантажувачами призводить до збільшення перерізу гірничих виробок. В той же час збільшення перерізу гірничої виробки провокує підвищення гірського тиску на її контурі, що знижує ефективність застосування традиційних схем анкерного кріплення і потребує додаткових заходів на забезпечення експлуатаційних показників транспортних засобів.

За даними дослідження [29] максимальні темпи комбайнового проведення підготовчих виробок на шахтах України не перевищують 200 м/міс, що не відповідає сучасним вимогам щодо ефективного відпрацювання вугільних пластів очисними комплексами нового покоління, середньодобове навантаження яких досягає 2500-3000 т/добу. Тому своєчасне відтворення фронту очисних робіт в умовах сьогодення є найвужчою ланкою галузі.

За вказаних причин на багатьох шахтах галузі виникають ситуації, коли через недостатні темпи проведення підготовчих виробок затримується своєчасне введення в роботу нових очисних вибоїв та зменшуються планові навантаження на очисні вибої. Означені негативні наслідки призводять до економічних збитків, які суттєво впливають на собівартість добувного вугілля.

У зв'язку з зазначеними фактами актуальним завданням є виявлення потенційних резервів ТТС щодо підвищення темпів проведення підготовчих виробок в умовах інтенсивного здимання порід підосви та значних притоків води. Основна ідея полягає у використанні високих адаптаційних здібностей та експлуатаційних показників ПДМ з дизельним приводом в підземних виробках складної конфігурації.

Структурно-логічною схемою досліджень раціональних параметрів технологічних схем швидкісного проведення пластових дільничних виробок передбачено виконати пошук потенційних резервів для продуктивного використання засобів допоміжного транспорту нового покоління і встановити область ефективного їх застосування в специфічних умовах шахт ЗД.

Аналіз технологічних схем швидкісного проведення дільничних підготовчих виробок показав, що для ефективної роботи прохідницьких вибоїв, оснащених енергоємними комбайнами нового покоління, вибір потенційних резервів для обґрунтування раціональної схеми транспорту є складним комбінаторним завданням. Обумовлена це тим, що при поширених в регіоні схемах рейкового транспорту для швидкісного проведення пластових виробок необхідно чітко дотримуватись умов технологічності ТТС, тобто:

$$T_{н.с} + \sum T_m + T_{пр.с} \leq T_{кр} \quad (1.1)$$

де  $T_{н.с}$  - час руху навантаженого складу від вибою до сполучення виробок;

$\sum T_m$  - сумарний час маневрів щодо обміну навантаженого складу на порожній;

$T_{пр.с}$  - час руху порожнього складу до навантажувального пункту підготовчого вибою;  $T_{кр}$  - час кріплення вибою.

За результатами експертної оцінки технологічних схем проведення пластових виробок, що традиційно застосовуються в регіоні, встановлено, що рівень технічної оснащеності їх засобами привибійного та дільничного транспорту значно нижчий, ніж гірничопрохідницьким обладнанням.

Сучасні комбайнові прохідницькі комплекси забезпечують одночасне руйнуванням вибою та навантаження відбитої гірничої маси в транспортні засоби, що дозволяє формувати циклічно-потоківу технологію проведення дільничних підготовчих виробок. Але в умовах постійної зміни шахтного середовища, довжини

виробок та інтенсивності вантажопотоків породи і допоміжних матеріалів пропускна і адаптаційна здатність ТТС повинна оперативно коригуватися.

Наведені на рис.1.2 показники втрат продуктивної роботи підготовчих вибоїв підтверджують, що найбільш вагомими причинами зниження експлуатаційних показників комбайнового проведення виробок з вини дільничного транспорту слід вважати втрати часу на очікування порожніх вагонів та недосконалість маневрових операцій щодо обміну навантаженого складу на порожній.

Шахтними дослідженнями встановлено, що при проведенні виїмкових виробок зі складною гіпсометрією пласта регулярно відбуваються відмови та пошкодження рейкових видів транспорту, а також технічні та організаційні вади, що викликають щозмінні втрати часу на виконання основних технологічних операцій та порушення графіку виконання гірничопрохідницьких робіт. За даними ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», на деяких шахтах регіону середній час очікування порожніх вагонів досягав 60 - 75 хвилин на одну раму кріплення, що призводило до збільшення середнього часу циклу робіт щодо встановлення однієї рами.

З урахуванням вищевикладеного обсяг середньозмінних втрат проведення виробок (метрів проведення на одну раму кріплення) для типових ТТС визначається з урахуванням фактичних обсягів проведення виїмкових виробок за один цикл та технологічного часу виконання одного циклу, тобто.

$$V_{\text{втр}} = T_{\text{втр}} \times \frac{V_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м/раму} \quad (1.2)$$

де  $T_{\text{втр}}$  - втрати часу під час виконання технологічних операцій, хв;  $V_{\text{ц}}$  - фактичний обсяг проведення виробки за один цикл, м/раму;  $T_{\text{ц}}$  - фактичний технологічний час виконання одного циклу, хв.

На практиці реальні показники втрат часу при виконанні транспортно-технологічних операцій визначаються шляхом хронометражних спостережень. Для

визначення потенційних резервів засобів допоміжного транспорту при комбайновому проведенні похилих пластових виробок виконано оцінку технічних можливостей діючих в регіоні ТТС та сучасних напрямів їх підвищення в зарубіжній практиці. Показники технологічності ( $L$  – довжина транспортування, м;  $R$  - мінімальний радіус повороту, м;  $\alpha$  - кут нахилу, град;  $V$  - швидкість руху, м/с) найбільш поширених в регіоні схем допоміжного транспорту з застосуванням традиційних колісно-рейкових та альтернативних видів транспорту в комплексі з комбайном КСП наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Переваги та недоліки діючих та рекомендованих ТТС комбайнового проведення пластових підготовчих виробок

ТТС транспортні засоби		Область застосування						
		L, м	R, м	$\alpha$ , град	V, м/с	Переваги	Недоліки	
Традиційні	1	АМ-8Д	$\geq 2000$	15	3	3,0	Можливість проведення виробок невеликого перерізу.	Неможливість роботи при кутах нахилу $i \geq 0,05\%$ .
	2	ДКНТ + ВГ 3,3	2000	12	10	2,0	При закінченні проходки дорога вирішує питання щодо механізованої доставки людей і транспортування матеріалів.	Мала вантажопідємність складу при великих кутах нахилу, залежність від профілю і стану рейкової колії.
	3	СП63 + 1ЛУ80 + ВГ 3,3	1500	10	10	0,5	Висока продуктивність та відсутність простоїв вантажної машини внаслідок заміни завантажених вагонеток порожніми.	Великі витрати електричної енергії та складність обслуговування.
Альтернативні	4	БП+ВДМ	$\geq 2000$	9	12	1,0	Відсутність необхідності настилання рейкової колії.	Додаткові роботи з підшовою, великий переріз виробки.
	5	СП63 + 1ЛУ80 + ПДМ	$\geq 2000$	6	30	2,0	Висока адаптаційна здатність. Не має обмежень щодо довжини транспортування.	Потребує додаткового кріплення покрівлі.

В процесі експертної оцінки наведених ТТС розглядалися сфери їх ефективного використання, умови щодо адаптації технологічного обладнання з альтернативними видами транспорту, а також враховувались такі показники як енергоозброєність, матеріаломісткість, складність обслуговування, можливість вести роздільне видалення вугілля і породи з привибійної зони та чисельність виробничого персоналу, необхідного для експлуатації обладнання та його

обслуговування. По результатам оцінки встановлено, що в умовах інтенсифікації гірничих робіт найбільш перспективними для специфічних умов ЗД слід вважати ТТС з використанням прохідницьких комбайнів нового покоління типу КСП в комплексі з ДКН, ПДМ.

По результатам виконаного аналізу можна зробити висновок, що в специфічних умовах шахт ЗД діючі гірничі підприємства традиційно орієнтуються на використання колісно-рейкових засобів допоміжного транспорту технічні характеристики яких та експлуатаційні показники враховані в системах технічного обслуговування та проектах магістрального транспорту.

За цих умов при формуванні наукових завдань щодо модернізації шахтних систем допоміжного транспорту необхідно орієнтуватись як на розробку інноваційних технічних рішень, так і на дослідження щодо удосконалення діючих засобів, відносно яких на підприємствах сформовані відповідні підрозділи та служби щодо їх експлуатації.

Рекомендована програма з обґрунтування параметрів транспортно-технологічних схем своєчасної підготовки виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав з використанням транспортних засобів нового покоління (дизельних ПДМ та самохідних ВДМ) потребує виконання спеціальних досліджень щодо визначення їх адаптаційних показників та пропускної здатності пластових підготовчих виробок в специфічних умовах шахт ЗД.

### **1.3. Оцінка наукових і проектних рішень з удосконалення технологічних схем допоміжного транспорту для своєчасної підготовки виїмкових стовпів**

Інтенсифікація очисних робіт та вдосконалення процесів гірничого виробництва у технологічних підсистемах діючих шахт вугільної галузі України та за кордоном пов'язані з впровадженням високопродуктивних комплексів шахтного

обладнання нового покоління [30]. Реконструкція діючих шахт з приростом їх потужності, підвищення навантаження комплексно-механізованих вибоїв та своєчасна підготовка запасів до очисного виймання це результати заходів інтенсифікації гірничого виробництва.

Аналіз існуючих методів та рекомендацій щодо встановлення раціональних транспортно-технологічних схем підготовки показав відсутність комплексного підходу та методичного забезпечення досліджуваної проблеми. Критичний аналіз діючих систем допоміжного транспорту, рекомендацій та нормативних документів щодо їх експлуатації показав, що розробкою методології проектування та оптимізацією параметрів ТТС при підготовці запасів вугільних та рудних родовищ традиційно займаються наукові колективи ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова, НТУ «ДП», «Дніпродіпрошахт» та ін.. В опублікованих роботах [31 - 35] та рекомендаціях прогресивних технологічних схем [9, 14] висвітлено роль транспорту при розтині та підготовці нових горизонтів діючих шахт, проте відсутні вагомі аргументи, що дають право розглядати процеси завантаження гірничої маси у засоби транспортування та власне її транспортування до місць перевантаження як єдиний транспортно-технологічний процес, пов'язаний у часі з процесами кріплення та підготовки вибою, що забезпечує своєчасне їх виконання у складних гірничо-геологічних умовах.

Слід зазначити, що окремі питання вдосконалення технології комбайнового проведення та підтримки гірничих виробок у складних гірничо-геологічних умовах відображені у роботах [36, 38, 40]. Значний внесок у розробку технологічних схем та типових паспортів раціонального розташування, кріплення, охорони та підтримки підготовчих виробок зробили дослідження [41 - 43].

У роботі [48] автори розглядають розподіл обсягів проведення розкривних, підготовчих, нарізних та інших виробок за факторами, що визначають використання засобів механізації та загальну трудомісткість робіт. Однак у

зв'язку з просуванням вибою структура обсягів гірничо-підготовчих робіт у часі і просторі безперервно змінюється.

Зазначені фундаментальні дослідження не розкривали взаємозв'язків між процесами проведення виробок, транспортування гірничої маси, доставки у вибої допоміжних матеріалів та обладнання.

У фундаментальних роботах [37, 39, 46] питання формування шахтних вантажопотоків та проектування систем допоміжного транспорту розглядалися в масштабі всієї шахти. Спеціальних досліджень взаємодії системи допоміжного транспорту із процесами комбайнового проведення виробок, тобто з позиції впливу транспортних процесів на структуру обсягів гірничо-підготовчих робіт у часі не виконувалося [52].

Відзначаючи велику наукову цінність виконаних попередниками досліджень, слід зазначити, що низка питань щодо обґрунтування раціональних параметрів комбайнового проведення дільничних виробок по пластах з активним здиманням порід ґрунту пов'язані з пропускнуою спроможністю транспортних виробок, що визначаються експлуатаційними параметрами транспортних засобів та їх адаптаційною здатністю.

З урахуванням вищевикладеного в основу цих досліджень вперше було покладено ідею синтезу закономірностей взаємодії технологічних та транспортних процесів для обґрунтування пропускнуої спроможності дільничних підготовчих виробок та розробки методичного забезпечення на вибір раціональних параметрів інноваційної технології швидкісної підготовки запасів вугілля з використанням ПДМ нового покоління.

Слід зазначити, що до подальших завдань оцінки основних показників роботи транспортно-технологічних схем підготовки запасів відносяться швидкість проведення виробок і продуктивність праці при застосуванні комплексів прохідницького та транспортного обладнання нового покоління. Однак, через відсутність нормативних документів і рекомендацій на розробку технологічних

схем ведення гірничопрохідницьких робіт з використанням комплексів прохідницького та транспортного обладнання нового покоління, необхідно сформулювати вихідні вимоги та методичні вказівки на проектування процесів підготовки запасів вугілля. Ці завдання можуть бути вирішені лише шляхом урахування комплексного впливу гірничо-геологічних, технологічних, технічних та організаційних факторів на основні показники проведення гірничих виробок [20].

#### **1.4. Формування напрямів модернізації діючих транспортно-технологічних схем підготовки запасів до очисного виїмання та завдань дослідження**

Для інтенсифікації процесів очисної виїмки та концентрації виробництва на шахтах ЗД необхідна випереджальна підготовка фронту очисних робіт при швидкісному відпрацюванні запасів лавами. В даний час швидкість руху очисних вибоїв, обладнаних високоефективними виїмковими комплексами не перевищує 200 м/міс. Підвищення ефективності використання механізованих очисних комплексів нового покоління потребує впровадження ТТС з використанням інноваційних рішень.

Відповідно до рекомендацій [47] основною умовою своєчасної підготовки нової виїмкової ділянки є випередження на 25% обсягів прохідницьких робіт. Однак, такі вимоги прийнятні для комбайнового способу проведення виробок по пластах зі сприятливими гірничо-геологічними умовами та відповідного рівня механізації підготовчих та очисних робіт.

Слід зазначити, що всі типові схеми комбайнового проведення виробок включають такі транспортно-технологічні процеси в привибійній зоні як руйнування вибою та навантаження гірської маси в транспортні засоби, кріплення виробки, транспортування гірської маси. Залежно від компоновки прохідницького



та транспортного устаткування транспортно-технологічні схеми можуть містити декілька технологічних операцій.

Найбільш перспективною слід вважати технологічну схему транспортування гірничої маси конвеєрами [48]. При такому компонованні перевантажувач комбайна змонтований зі стояком конвеєра, поєднує два основних процеси в єдину транспортно-технологічну систему, з однією технологічною операцією. Така схема високоадаптивна, однак область ефективного застосування поширюється лише на польові підготовчі виробки а також на валову виїмку вугілля та породи. Більше того, при низьких темпах проведення виробок, з незначними за величиною вантажопотоками та частими періодичними зупинками комбайна подібна схема стає малоефективною [49].

На трудомісткість транспортно-технологічних процесів і темпи їх проведення впливають способи транспортування вугілля та породи до магістральних гірничих виробок, засоби доставки, вивантаження та складування матеріалів.

При проведенні дільничних пластових виробок доцільно здійснювати роздільну виїмку вугілля та породи [29]. У зв'язку з цим породу необхідно транспортувати до ствола шахти окремим транспортним ланцюгом. Через складність розподілу вантажопотоків для вивезення вугілля та породи застосовують рейкові види транспорту з відкаткою вантажів у вагонетках. Так циклічно-потоква технологічна схема гірничопрхідницьких робіт перетворюється на циклічну, що призводить до зниження темпів проведення виробок.

Необхідність координації обумовлена тим, що циклічно-потоква технологія комбайнового проведення виробок передбачає порядок виконання робіт з підготовки вибою тільки після зупинки комбайна, тобто у період транспортування гірничої маси до місць її вивантаження чи обміну складу навантажених вагонеток на порожні. Організація вантажно-транспортних процесів та операцій у привибійному просторі визначається прийнятим способом проведення виробки та

видом підземного транспортного обладнання, яке використовуватиметься в процесі його експлуатації.

Вихідними даними для обґрунтування параметрів інноваційних транспортно-технологічних схем швидкісного проведення дільничних пластових виробок є: виробнича потужність шахти та її категорія щодо газу та пилу; режим роботи підземного транспорту; плани гірничих робіт; початкова та максимальна довжина траси; число та максимальна продуктивність вантажних пунктів, відстані до них від приствольного двору на момент здачі горизонту відкочування в експлуатацію та при максимальному видаленні гірничих робіт; обсяги породи, допоміжних матеріалів та людей, що підлягають перевезенню за зміну; мінімально допустимий переріз виробок відкочування; план, профіль та колія рейкових колій; стан рейок; схема організації роботи транспорту.

Для встановлення галузі ефективного застосування технологічних схем проведення виробок з використанням транспортного обладнання нового покоління необхідно уточнити вихідні дані: про призначення транспортних виробок; перелік виробок, сформованих до однотипних груп за умовами відкочування; обґрунтований перелік обладнання електровозної відкатки; дані маркшейдерської зйомки профілю шляху; вимоги до колії та засобів безпеки; вимоги до організації руху електровозних складів та маневрів на кінцевих станціях; технологічна схема електровозного відкочування; обладнання електровозного транспорту; вимоги безпеки [21].

На підставі вищевикладеного до першочергових завдань комплексної програми та методики дослідження належать:

- встановлення взаємозв'язку показників основних транспортно-технологічних процесів при комбайновому проведенні виробок;
- вплив коефіцієнта оборотності вагонеток у транспортних виробках зі знаковмінімним профілем шляху на темпи їх проведення;

- дослідження організаційно-технологічних параметрів та розробка моделі раціональної підготовки запасів;
- моделювання навантажень у ланках монорейкового поставу дизельних ПДМ нового технічного рівня;
- порівняльна оцінка фактичних енерговитрат при доставці вантажів у підготовчі забої альтернативними видами транспорту;
- обґрунтування раціональних параметрів акумулювання вантажопотоків гірничої маси для забезпечення мінімальних простоїв підготовчих вибоїв з вини транспорту.

Враховуючи різноманіття факторів, відповідно до розробленої програми та методики досліджень, комплексне завдання обґрунтування транспортно-технологічної системи швидкісної підготовки запасів вирішується у два етапи.

На першому етапі, з урахуванням гірничо-геологічних умов та гірничо-технічних особливостей підготовки, досліджуються характер формування вантажопотоків із підготовчого вибою, структура обсягів гірничо-підготовчих робіт у часі, параметри взаємодії вантажно-транспортних процесів та операцій з процесами прохідницького циклу та обґрунтовується модель функціонування енергозберігаючої транспортно-технологічної схеми комбайнового проведення дільничних виробок в умовах активного пучення порід ґрунту [43]

На другому етапі, виходячи з прийнятої схеми розташування гірничих виробок і запланованих темпів проведення дільничних підготовчих виробок, визначаються експлуатаційні параметри транспортних засобів нового покоління, при яких максимально реалізуються технічні можливості гірничо-прохідницького обладнання і забезпечується своєчасна підготовка запасів вугілля в умовах інтенсифікації [46].

Для досягнення поставленої мети, була розроблена структурно-логічна схема (рис. 1.3) комплексних досліджень параметрів інноваційної транспортно-технологічної системи швидкісного проведення дільничних підготовчих виробок,

що синтезує технічні ресурси гірничопрохідницького та транспортного обладнання нового покоління, закономірності його взаємодії та схеми адаптації до складним умовам підготовки запасів вугілля із застосуванням передових форм організації робіт.

Згідно структурно–логічної схеми визначені основні задачі дисертаційного дослідження:

1. Визначити потенційні резерви підвищення експлуатаційних показників альтернативних ТТС при проведенні пластових підготовчих виробок в умовах шахт ЗД.

2. Дослідити умови взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «Підвісна монорейкова дорога – Кріплення виробки – Гірський масив» для встановлення альтернативного виду транспортування великотоннажних вантажів.

3. Обґрунтувати інноваційні технічні рішення на розробку енергозберігаючої транспортно-технологічної системи доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер.

4. Провести чисельне моделювання за допомогою методу скінченних елементів зміни напружено-деформованого стану несучих елементах ТТС «ПДМ – КВ – ГМ» залежно від маси вантажу, що транспортується в підземних гірничих виробках складної конфігурації.

5. Розробити вихідні вимоги на проєктування ТТС доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер з використанням ПДМ нового покоління за величиною прогину монорейки та межі міцності на розтягання анкерів другого рівня.

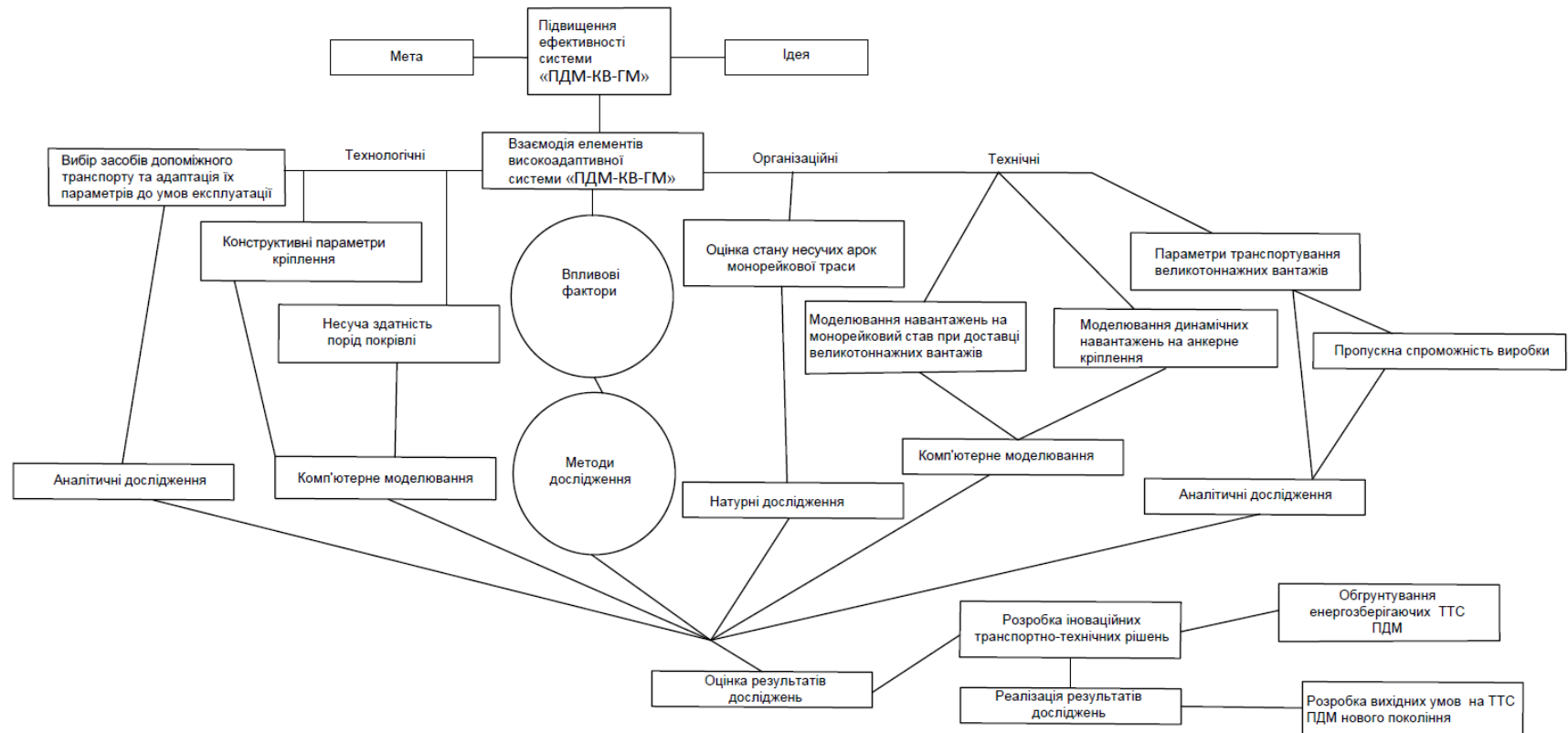


Рисунок 1.3 – Структурно-логічна схема досліджень параметрів взаємодії елементів системи «ПДМ – кріплення виробки – гірський масив»

## Висновки по розділу 1

1. Досліджено сучасний стан та особливості підготовки нових виїмкових стовпів при експлуатації високонавантажених лав в складних гірничо-геологічних умовах залягання тонких вугільних пластів шахт Західного Донбасу.

2. Проведено оцінку технічних можливостей діючих в регіоні транспортно-технологічних схем комбайнового проведення похилих пластових виробок та сучасних напрямів їх підвищення в зарубіжній практиці, що дозволило визначити потенційні резерви альтернативних засобів допоміжного транспорту при підготовці нових виїмкових стовпів до очисного виймання.

3. Виконана оцінка наукових і проектних рішень з удосконалення технологічних схем допоміжного транспорту для своєчасної підготовки виїмкових стовпів та обрані напрями подальших досліджень щодо підвищення їх продуктивності в умовах активного здимання порід підшоши та інтенсивних притоках води

4. Сформовані напрями модернізації діючих транспортно-технологічних схем підготовки запасів до очисного виймання та завдання дослідження.

## Перелік використаних джерел за розділом 1

1. Інформація ТОВ «ДТЕК». (2009) *Аналіз втрат часу під час проведення очисних робіт та проведення гірничих виробок на шахтах ВАТ «Павлоградвугілля» за 2009 рік*. С.11.

2. Анциферов, О.В., Надутий, В.П. (2003). *Експлуатація і обслуговування гірничих машин*. Національний гірничий університет: Дніпропетровськ. С.103.

3. Денищенко, О.В. (2007). Підвищення ефективності шахтного допоміжного транспорту. *Науковий вісник НГУ*, 10, 21-26.

4. Świder J., Szewerda K., Herbuś K., Jura J. (2021). Testing the Impact of Braking Algorithm Parameters on Acceleration and Braking Distance for a Suspended

Monorail with Regard to Acceptable Travel Speed in Hard Coal Mines. *Energies*, 14(21), 7257, 1-20, <https://doi.org/10.3390/en14217275>

5. Буц, Ю.В., Герасимова, І.Ю. (2007). Вплив гірничо-геологічних умов вуглевидобутку на продуктивність праці. *Науковий вісник НГУ*, 8, 92-94.

6. Денищенко, О.В. (2011). *Шахтні канатні дороги*. Монографія. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. С.172.

7. Донецький науково-дослідний вугільний інститут. (2007). *Нормативи навантаження на очисні вибої та швидкості проведення підготовчих виробок на шахтах*. Донецьк. С.39.

8. Бондаренко, В.І., Ковалевська, І.А., Сіманович, Г.А., Черватюк, В.Г. (2012). *Геомеханіка навантаження кріплення очисних та підготовчих виробок у шаруватому масиві слабких порід*. Дніпропетровськ: ЛізуновПрес. С.233.

9. СОУ 10.1.00185790.011:2007. (2007). Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони. *Стандарт Мінвуглепрому України*. Київ.

10. Кияшка, Ю.І., Кириченко, А.В. (2009). Мінімізація виробничих витрат за кріплення гірничих виробок у важких умовах експлуатації. *Геотехнічна механіка*: 83, 105 - 113.

11. Посунько, Л.М. (2010). Резерви підвищення темпів комбайнового проведення дільничних підготовчих виробок в умовах шахт Західного Донбасу. *Науковий вісник НГУ*, 5, 37 - 40.

12. Denishenko, A.V., Posunko, L.N., Martynenko, A.A. (2005). Usloviya provedeniya vyrobotok na shahtah Zapadnogo Donbassa. *Naukovij visnik NGU*, 1, 20 – 23.

13. Єгоров, С.І., Халімендік, Ю.М., Курченко, Є.П.. (2002). Узагальнення досвіду кріплення та охорони підготовчих виробок. *Вугілля України*: 5, 19 - 21.

14. Чорних, В.Г., Хазановіч, Г.Ш., Воронова, Е.Ю. (2012). *Тенденції розвитку конструкцій та експлуатації сучасного гірничопрохідницького обладнання*. Гірська техніка, 2(10), 8-11.
15. Belencov, V.N., Dzherik, K.G., Kucheba, P.K. (2000). *O vybore optimalnogo varianta razvitiya gornoprohodcheskih robot po podgotovke osvoeniya gorizonta*. Ugol Ukrainy, 8, 23-28.
16. Біліченко, М.Я. (2005). *Транспорт на гірничих підприємствах*. НГУ: Дніпропетровськ. С.636.
17. Spiryagin M, Wolfs P, Szanto F, et al. (2015). Simplified and advanced modelling of traction control systems of heavy-haul locomotives. *Veh Syst Dyn*, 53(5), 672–691. <https://doi.org/10.1080/00423114.2015.1008016>
18. Коваль, О.І. (2008). *Обґрунтування параметрів охоронних конструкцій виїмкових штреків для їх повторного використання*. Автореф. дисерт. канд. техн. наук. Дніпропетровськ, НГУ. С.19.
19. Поротніков, В.В. (2006). *Обґрунтування параметрів зміцнення трубчастими анкерами слабких приконтурних порід підземних виробок*. Автореф. дисерт. канд. техн. наук. Дніпропетровськ, НГУ. С.17.
20. Расцветаев, В.А., Посунько, Л.М., Дятленко, М.Г., Ширін, А.Л. (2010). *Комплексна оцінка транспортно-технологічних схем комбайнового проведення підготовчих виробок за умов шахт Західного Донбасу. Проблеми гірничої справи та екології гірничого виробництва. V міжнар. наук.-практ. конф. Антрацит, Україна, С.41 – 48.*
21. Drozd, K.; Nieoczum, A. (2020). *Dynamic Load of Suspension Chains Generated during the Movement of the Self-Powered Diesel Transportation System on a Suspended Monorail Track in the Mining Excavation*; Monograph; Lublin University of Technology: Lublin, Poland; ISBN 978-83-7947-426-4



22. Посунько, Л.М., Расцветаев, В.О., & Ширін, А.Л. (2017). *Удосконалення транспортно-технологічних схем проведення дільничних виробок при розширенні меж вугільних шахт*: Монографія. С.137.

23. Jiang, Y.; Zhong, W.; Wu, P.; Zeng, J.; Zhang, Y.; Wang, S. (2019). Prediction of wheel wear of different types of articulated monorail based on co-simulation of MATLAB and UM software. *Adv. Mech. Eng.*, 11, 1–13. <https://doi.org/10.1177/1687814019856841>

24. СОУ 10.1.00185790.007. (2006). *Транспорт шахтний локомотивний. Перевезення людей і вантажів в виробках з ухилом від 0,005 до 0,05 %*. Загальні технічні вимоги. Київ: Мінвуглепром України. С.47.

25. *Єдині норми виробітку (часу) на гірничопідготовчі роботи для вугільних шахт*. (2004). Київ. С.302.

26. Spiryagin M, Wu Q, Sun YQ, et al. (2017) Locomotive studies utilizing multibody and train dynamics. *Proceedings of the 2017 Joint Rail Conference*; Apr 4–7; Philadelphia (PA), USA. <https://doi.org/10.1115/JRC2017-2221>

27. Ширін, Л. Н., Коровяка, Є. А., Посунько, Л. М., Расцветаев, В. О., & Шаріна, В. С. (2018). Поширення області ефективного застосування підвісних монорейкових доріг в умовах відпрацювання похилих вугільних пластів. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*: 55, 255–266. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu\\_2018\\_55\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2018_55_27)

28. Herasymenko, A.O., Rastsvietaiev, V.O., & Shyrin, A.L. (2023). Selection of the means of auxiliary transportation facilities and adaptation of their parameters to specific operation conditions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, 40–46. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/040>

29. Lynas, D.; Burgess-Limerick, R. (2020) Whole-body vibration associated with underground coal mining equipment in Australia. *Appl. Ergon.*, 89, 103162. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103162>

30. Васильєв, В.Є. (2006). *Обґрунтування граничних параметрів концентрації гірничих робіт при підробці зближених вугільних пластів Західного Донбасу*. Автореф. дисертації канд. техн. наук. Дніпропетровськ, НГУ. С.19.
31. СОУ-П 10.1.00185790.014:2009. (2009). *Технологічні схеми відпрацювання газonosних пластів з великими навантаженнями на очисні вибої*. Київ: Основа.
32. Гребенкін, С.С., Янко, С.В., Ширін, Л.М. (2001). *Проектування систем вугільних шахт, що розробляють круті та крутонахильні пласти*. ВАТ «УкрНТЕК» :Донецьк. С.340.
33. Wu Q, Spiriyagin M, Cole C, et al. (2018). Introducing wheel-rail adhesion control into longitudinal train dynamics. *Int J Heavy Veh Syst.* Available from: <http://www.inderscience.com/info/ingeneral/forthcoming.php?jcode=ijhvs>
34. СОУ 10.1.00185790.002:2005. (2005). *Правила технічної експлуатації вугільних шахт*. Київ: Основа.
35. Уніфіковані типові перетини гірничих виробок. (1971). *Будівельник*: Київ. С.415.
36. INE SI (RFCS) – Increase Efficiency and Safety Improvement in Underground Mining Transportation Routes. Contract No. 754169. Realization period: 2017 – 2020
37. Бузило, В.І., Акімов, О.А., Дяченко, А.П., Павличенко, А.В., Сулаєв, В.І., Яворський, В.М., Сердюк, В.П., Кошка, О.Г., Яворський, А.В., Яворська, О.О. (2014). *Технології підвищення екологічної безпеки при відпрацюванні тонких і надтонких вугільних пластів у складних гірничо-геологічних умовах*. Монографія. Літограф: Дніпропетровськ. С.228.
38. НПАОП 10.0-1.01-05 (2005). *Правила безпеки у вугільних шахтах*. Київ: Основа. С.400.
39. Бузило, В.І., Наливайко, Я.М., Акімов, О.А., Дяченко, А.П., Павличенко, А.В., Сердюк, В.П., Кошка, О.Г., Яворський, А.В., Яворська, О.О.

(2014). *Екологозберігаючі технології розробки вугільних родовищ Західного Донбасу та Львівсько-Волинського басейну*. Монографія. Літограф: Дніпропетровськ. С.244.

40. Shashenko, A.N., Tulub, S.B., Sdvizhkova, E.A. (2002). Nekotorye zadachi statisticheskoy geometricheskoy mekhaniki. *NGA Ukrainy*. Pulsary: Kiev. S.302.

41. Yavorskiy, V.M. (2000). *Obosnovanie parametrov tehnologii otrabotki ugolnykh celikov kamerami v usloviyakh shaht Zapadnogo Donbassa*. Avtoref. dissert. kand. tehn. nauk. Dnepropetrovsk, NGAU. S.19.

42. Терещук, Р.М., Наумович, О.В. (2015). *Забезпечення стійкості підготовчих виробок глибоких вугільних шахт*. Монографія. НГУ: Дніпропетровськ. С.134.

43. Шашенко, О.М., Солодянкін, А.В., Смірнов, А.В. (2015). *Здимання порід ґрунту у виробках вугільних шахт*. Монографія. Дніпропетровськ: ЛізуновПрес. С.256.

44. Коптовець, О.М., Коровяка, Є.А., Яворська, В.В., Ширін, Л.Н., Барташевський, С.Є. (2023). *Проектування транспортних систем і комплексів гірничих підприємств*. Дніпро: Журфонд. С.296.

45. Харін, С.А. (2009). Порівняльна оцінка впливу різних факторів на швидкість проходження горизонтальних виробок. *Науковий вісник НГУ*, 4, 3-5.

46. Wu, G.; Chen, W.; Jia, S.; Tan, X.; Zheng, P.; Tian, H.; Rong, C. (2020). Deformation characteristics of a roadway in steeply inclined formations and its improved support. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci*, 130, 104324. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2020.104324>

47. Pro vnesennia zmin i dopovnen do Rozdiluv "Vuhilna promyslovist" Vypusk 5 "Hirnychodobuvna promyslovist" Dovidnyka kvalifikatsiinykh kharakterystyk profesii pratsivnykiv. (2013). *Nakaz N 710 vid 02.10.2013r*. Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy: Kyiv. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0710732-13#Text>

48. Tatarinova, V. & Kalivoda, Jan & Neduzha, Larysa. (2018). RESEARCH OF LOCOMOTIVE MECHANICS BEHAVIOR. Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 77, 104-114. <https://doi.org/10.15802/stp2018/148026>

49. Чорних, В.Г., Хазановіч, Г.Ш., Воронова, Е.Ю. (2012). Тенденції розвитку конструкцій та експлуатації сучасного гірничопрохідницького обладнання. *Гірська техніка*: 2(10), 8-11.

## **РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛІ СВОЄЧАСНОЇ ПІДГОТОВКИ ЗАПАСІВ ДО ОЧИСНОГО ВИЙМАННЯ**

### **2.1. Оцінка показників ефективного використання засобів допоміжного транспорту для швидкісного проведення підготовчих виробок**

У комплексі виробничих процесів підготовки фронту очисних робіт по пластах з великими притоками води та активним здиманням порід підшоши у підготовчих виробках одним з основних елементів є транспорт привибійний та дільничний. Від безперервної їх роботи багато в чому залежить своєчасна підготовка виїмкових стовпів і вартість технологічних операцій з проведення гірничих виробок [1].

Технологія гірничо-підготовчих робіт визначає характерні зони дії прохідницького та транспортного обладнання. Тому при проведенні гірничих виробок схеми транспорту прийнято розділяти на привибійний транспорт (призначений для переміщення гірської маси в зоні прохідницького вибою) та транспорт по виробці. Кожен тип обладнання виконує свої функції та може бути представлений декількома видами транспортних засобів [2 - 4].

При проектуванні транспортно-технологічних схем підготовки запасів необхідно досягати умов повного використання видів та типів транспортних засобів як при проведенні виробки та при її експлуатації. Під час проведення виробок змішаним вибоєм, коли подача гірничої маси в потік вугілля з очисних вибоїв не допускається, традиційно застосовують локомотивний транспорт або кінцеву відкатку [5, 6].

На зарубіжних гірничих підприємствах при проведенні підготовчих виробок з знакозмінним профілем шляху в якості засобів допоміжного транспорту широко застосовують самохідні доставні машини та підвісні монорейкові установки типу ПДМ [7]. На шахтах ЗД при проведенні дільничних

підготовчих виробок в умовах активного здимання порід підшви для транспортування породи, допоміжних матеріалів і людей традиційно застосовують колісно-рейкові види допоміжного транспорту - локомотиви типу АМ-8Д, надгрунтові канатні дороги (ДКН) та кінцеву канатну відкатку лебідками ЛБ -25 (рис. 2. 1).

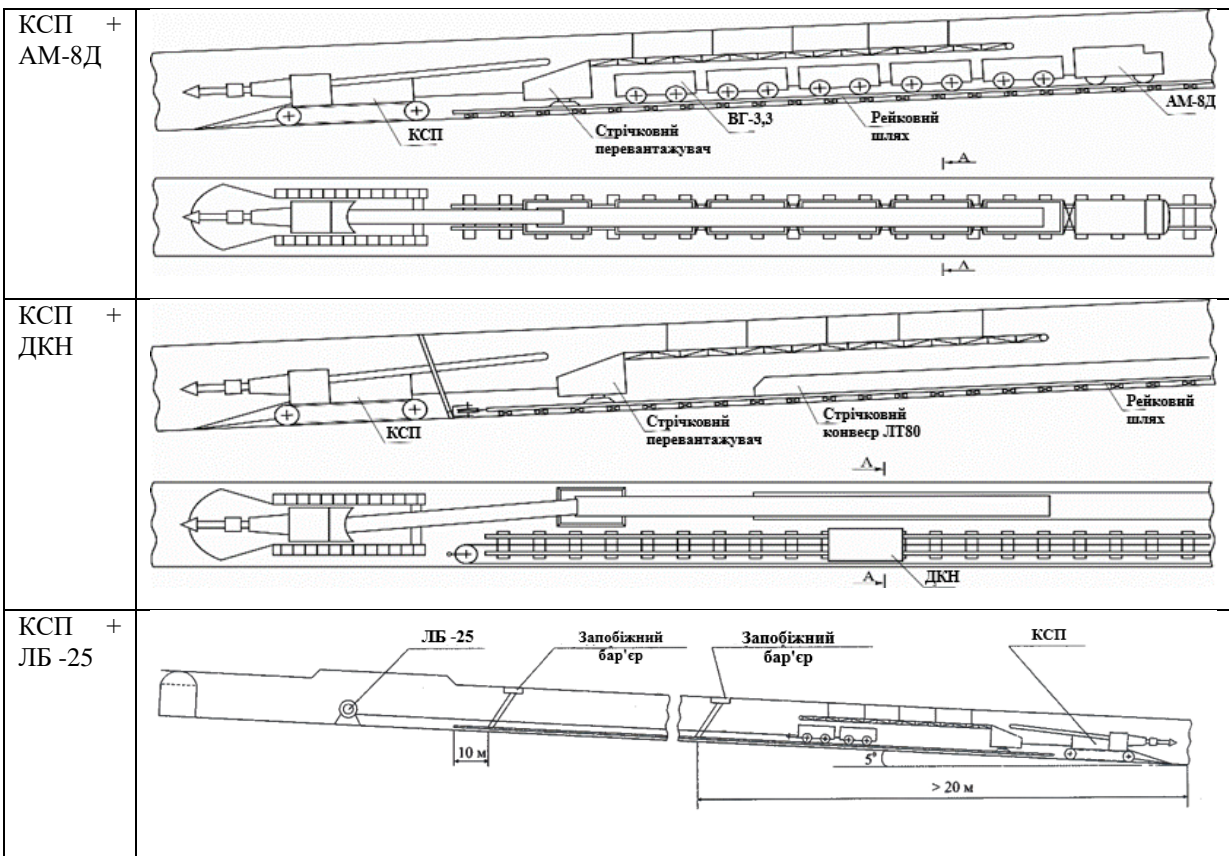


Рисунок 2.1 – Технологічні схеми комбайнового проведення виробок з колісно-рейковими видами транспорту

Аналіз досвіду комбайнового проведення пластових підготовчих виробок на шахтах ЗД дозволив виділити характерні особливості транспортно-технологічних схем, які характеризуються як типові для аналогічних умов експлуатації.

По результатам оцінки показників ефективного використання гірничотранспортного обладнання установлено, що в умовах завищених ухилів

рейкових колій та низької забезпеченості парку шахтних вагонеток виникають прості підготовчих вибоїв через несвоєчасне постачання вантажів та низький коефіцієнт оборотності вагонеток [8]. Останнє особливо впливає на продуктивність технологічних схем комбайнового проведення підготовчих виробок з використанням рейкових видів транспорту.

При комбайновому проведенні підготовчих виробок у діючих методиках визначення експлуатаційних показників комплексу прохідницького обладнання враховують тривалість роботи комбайна по виїмці  $1 \text{ м}^3$  гірничої маси (хв/ $\text{м}^3$ ) і загальну тривалість усіх не суміщених у часі операцій гірничопрохідницького циклу, що приходяться на  $1 \text{ м}^3$  виробки, пройденої вчорні. Враховуючи що процеси завантаження гірничої маси у транспортні засоби суміщені з процесом виймання її комбайном потенційні резерви щодо підвищення експлуатаційних показників транспортно-технологічних схем необхідно визначати при виконанні несуміщених процесів і операцій.

На рис.2.2 наведено структуру витрат часу на основні транспортно-технологічні операції прохідницького циклу, що традиційно виконуються на шахтах регіону.

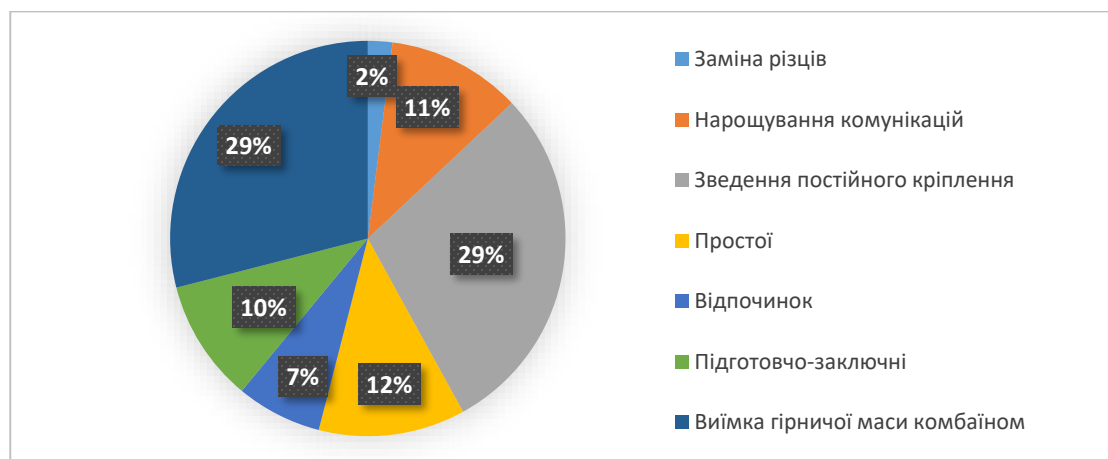


Рисунок 2.2 – Тривалість операцій прохідницького циклу

Тривалість всіх не суміщених у часі операцій гірничопрохідницького циклу ( $t_{\text{заг}}$ ), що припадає на  $1 \text{ м}^3$  виробки, що проводиться у вчорні, виражається залежністю:

$$t_{\text{заг}} = t_{\text{ПЗ}} + t_{\text{ОСН}} + t_{\text{ДОП}} + t_{\text{КР}} + t_{\text{ТР}} + t_{\text{КОМ}} + t_{\text{ПР}} + t_{\text{ВІД}}, \text{ хв/м}^3, \quad (2.1)$$

де  $t_{\text{ПЗ}}$  - тривалість підготовчо-заключних операцій;  $t_{\text{ОСН}}$  - тривалість виїмки гірничої маси;  $t_{\text{ДОП}}$  - тривалість допоміжних операцій;  $t_{\text{КР}}$  - час на зведення постійного кріплення;  $t_{\text{ТР}}$  - тривалість транспортно-маневрових операцій;  $t_{\text{КОМ}}$  - тривалість операцій із нарощування комунікацій;  $t_{\text{ПР}}$  - тривалість простоїв;  $t_{\text{ВІД}}$  - час на відпочинок ланки.

За результатами хронометражних спостережень встановлено, що загальна тривалість прохідницького циклу, що припадає на  $1 \text{ м}^3$  виробки в проходці становить 9,8 хв, а тривалість основної операції з виїмки гірничої маси 2,8 хв. При цьому коефіцієнт використання прохідницького комбайна в середньому становить 0,285, а експлуатаційна продуктивність  $Q_{\text{ек}} = 0,143 \text{ м}^3/\text{хв}$  або  $8,6 \text{ м}^3/\text{год}$ . Таким чином, продуктивність транспортно-технологічної схеми, що обслуговує прохідницький вибій повинна бути більшою або рівною величині експлуатаційної продуктивності комбайна, що використовується, тобто  $Q_{\text{пр}} \geq 8,6 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Для обґрунтованої розробки транспортно-технологічних схем та графіків організації робіт у підготовчому вибої необхідно мати дані про тривалість основних та допоміжних операцій. Нижче наведено усереднені результати хронометражних спостережень, проведених у підготовчих вибоях шахт ЗД.

Тривалість навантаження партії вагонеток (рис. 2.2) залежить від типу застосовуваного комбайна, міцності та ступеня розмокання порід, площі поперечного перерізу виробітки, кваліфікації персоналу.

При підготовці виїмкових стовпів в умовах шахт ЗД на темпи проведення протяжних пластових виробок суттєво впливають прийняті на шахтах схеми



обміну завантажених складів вагонеток на порожні, тривалість маневрів, а також обладнання та кваліфікація персоналу.

Тривалість кріплення вибою залежить від перерізу виробки, своєчасної доставки кріпильних матеріалів, стійкості бічних порід, застосовуваних засобів механізації процесу кріплення і кваліфікації персоналу.

Наприклад, у традиційних схемах ведення гірничо-підготовчих робіт залежність темпів проведення пластових виробок від своєчасного забезпечення вибоїв допоміжними матеріалами обумовлена типовими проєктними рішеннями, що базуються на застосуванні рейкових видів транспорту – локомотивної чи однокінцевої канатної відкатки. Традиційні для регіону рейкові види допоміжного транспорту не адаптовані до умов експлуатації у виробках із знакозмінним профілем колії, характерним для шахт ЗД.

Для визначення потенційних резервів комбайнового проведення протяжних дільничних виробок зі складною гіпсометрією пластів у технологічний час прохідницького циклу крім основних операцій з руйнування вибою та встановленням кріплення уведено терміни щодо виконання допоміжних транспортних операцій, що не поєднані з руйнуванням масиву та кріпленням, тобто характерних для блоку сполучення дільничних та магістральних виробок де виконуються трудомісткі операції щодо зміни напрямку вантажопотоку та обміну завантажених вагонів на порожні.

Шахтними дослідженнями встановлено, що за інтенсивної підготовки нових виїмкових стовпів підготовчі забої, оснащені енергоємними прохідницькими комбайнами, значний час простоюють через низьку оборотність вагонеток. Зумовлено це відсутністю високоадаптивних транспортних засобів, технологічних схем із їх застосуванням та організації робіт. Типові операції з обміну навантажених складів на порожні при застосуванні ДКН та локомотивів АМ-8Д в тупикових заїздах наведені на рис.2.3.

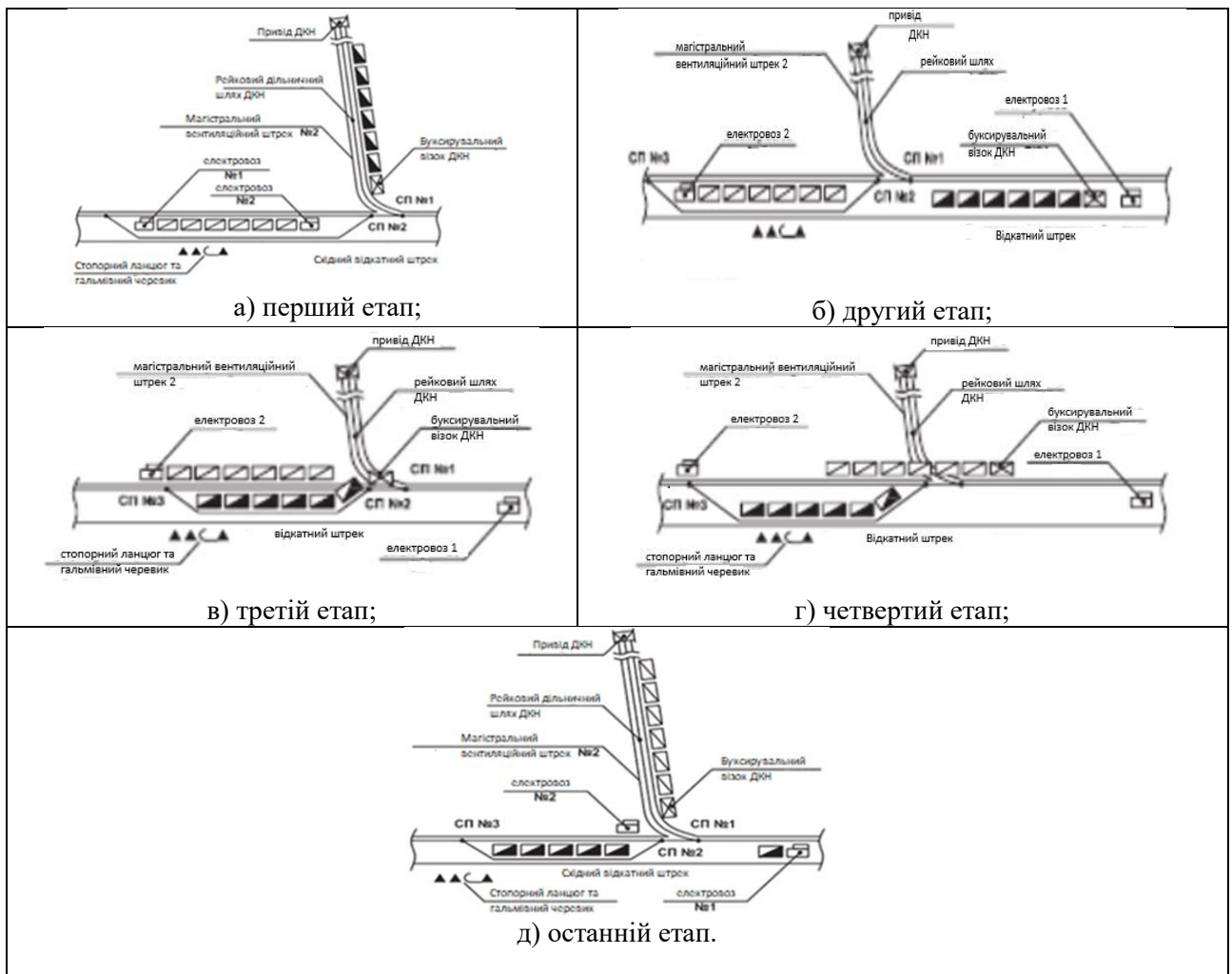


Рисунок 2.3 – Схема обміну навантажених складів на порожні під час проведення пластових підготовчих виробок

Типові схеми транспортування породи надгрунтовою канатною дорогою по проведених виїмкових виробках і обміну навантажених потягів на порожні із застосуванням електровозів включають наступні етапи:

- перший етап – рух електровоза №1 на довжину  $l$  по відкотному штреку (ВШ);
- другий етап – руху буксирного візка (БВ) з навантаженими вагонетками із заїзду на магістральний вентиляційний штрек (МВШ) по ВШ.
- третій етап – переведення стрілки СП1 з ВШ на роз'їздах; заштовхування завантаженого потягу на акумулюючий роз'їзд.

г) четвертий етап – встановлення гальмового башмака (ГБ) під завантажений потяг; перестановки БВ із завантаженого потягу на порожній; відчеплення електровоза 2 від порожнього потягу; заїзд електровоза 2 на роз'їзд з вантажним потягом; причеплення електровоза 2 до вантажного потягу і відчеплення завантаженої вагонетки; виїзд електровоза 2 з роз'їзду на ВШ з навантаженим вагоном; проштовхування порожнього потягу електровоза 2 із завантаженою вагонеткою на праве крило ВШ до електровозу 1; зворотного руху електровозу 2 на вихідну позицію.

д) останній етап – заїзд БВ з порожнім потягом з ВШ на магістральний МВШ; стрілове переведення СП2 з ВШ на роз'їзд; заїзд електровозу 2 до навантаженого потяга і зняття башмаків ГБ; виїзд електровозу 2 з вантажним потягом на ВШ; рух електровозу 1 з вантажним вагоном В1 з правого крила ВШ до завантаженого потягу з електровозу 2; зчеплення вагона з потягом.

На практиці для виконання таких операцій в гирлі виробки спеціально облаштують заїзди (горизонтальні, похилі, тупикові) або замкнуті розминовки [9]. Більш того, для обслуговування операцій з обміну вагонів у тупикових заїздах, як правило, використовують два електровози, а зі складу прохідницької ланки додатково виділяють одного-двох гірників, що суттєво знижує темпи проведення виробок. На рис. 2.4. наведена гістограма розподілу часу маневрів.

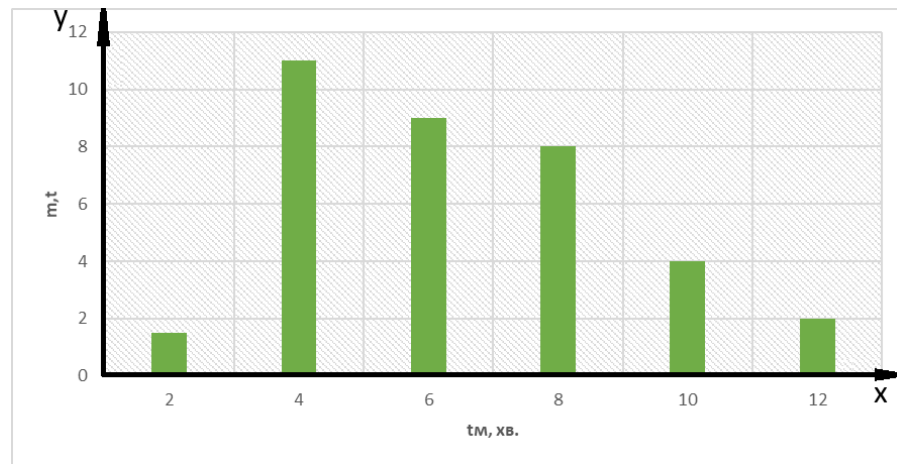


Рисунок. 2.4 – Гістограма розподілу: часу маневрів

На гістограмі по осі абсцис відкладені відрізки, відповідні інтервалам варіювання показників технологічності маневрових операцій, а по осі ординат – частота відповідного інтервалу.

За результатами оцінки традиційних схем обміну завантажених складів на порожні встановлено, що при традиційно застосовуваних схемах комбайнового проведення хідників за схемою знизу вгору та відкочуванням вантажів рейковими видами транспорту проектами передбачається завантаження складів з 4...6 вагонеток та одночасне переміщення їх по виробці. Однак на практиці через активне здимання ґрунтів і знакозмінний профіль колії фактично транспортують по виробці 1...2 вагонетки. У типових проектних рішеннях для виконання операцій з обміну завантажених вагонеток на порожні в гирлі виробки передбачають облаштування тупикових заїздів, до обслуговування яких додатково залучаються кваліфіковані гірники прохідницької ланки, знижуючи при цьому продуктивність робіт з кріплення та оформлення виробки.

Слід зазначити, що характерні для більшості шахт регіону технології управління маневровими операціями та процесами переміщення вантажів канатними дорогами в обводнених та криволінійних виробках з інтенсивним

здиманням порід ґрунту належать до категорії найбільш трудомістких та небезпечних [10].

Розглядаючи технологію комбайнового проведення виробок як сукупну систему, що об'єднує три основних процеси (руйнування масиву, транспортування гірничої маси та кріплення) доцільно стверджувати, що за час виконання процесу «Кріплення» підсистема «Транспорт» зобов'язана видалити продукти руйнування за межі привибійного простору виробки та, до моменту закінчення операцій із забезпечення стійкості оголених поверхонь привибійного простору, має бути готовою до виконання операцій наступного циклу, тобто до руйнування масиву.

Для зниження терміну обороту вагонів у НГУ було розроблено технологію транспортування гірничої маси з підготовчих вибоїв із застосуванням ДКН, вагонеток з донним розвантаженням та породного бункера, призначеного для подальшої передачі породи на стрічковий конвеєр магістральної виробки [8].

За даними ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» сучасна організація праці при проведенні підготовчих виробок дозволяє встановлювати рамно-аркове кріплення за 25 – 30 хвилин. Саме за цей час під стрічковим перевантажувачем прохідницького комбайна повинна обмінюватися партія завантажених вагонеток на порожню, тобто загальний час проведення транспортних операцій по вивезенню гірничої маси з підготовчої виробки і подачі до комбайну складу порожніх вагонеток не повинен перевершувати час кріплення виробки.

$$T_{\text{тр}} = \frac{2l}{v_{\text{тк}}} + t_{\text{рс}} + t_{\text{зд}} \leq T_{\text{кр}} \quad (2.2)$$

де  $T_{\text{тр}}$  – загальний час проведення транспортних операцій при виконанні прохідницького циклу, хв.;  $l$  – довжина транспортування гірничої маси від комбайна до бункера, м;  $v_{\text{тк}}$  – швидкість руху тягового канату (за технічною характеристикою канатних доріг – 2,0 м/с);  $t_{\text{рс}}$  – тривалість розвантаження партії вагонеток рухомого складу (згідно з хронометражними спостереженнями –

близько 300 с.);  $t_{зд.}$  - час на закриття днищ вагонеток (за тими же спостереженнями – 200 с.);  $T_{кр}$  – час кріплення підготовчої виробки, хв.

Застосування вагонеток з донним розвантаженням і породного бункера з скребковим конвеєром суттєво скорочує час на здійснення цього процесу але не вирішує проблему роздільної виїмки і транспортування вугілля і породи при проведенні пластових дільничних виробок.

Відповідно до прийнятих у регіоні перспективних схем відпрацювання запасів вугілля на підготовку нового виїмкового стовпа необхідно проводити підготовчі виробки протяжністю 2000...2400м і більше. Практика показала, що значне зростання навантажень на вибої, обладнані високопродуктивними очисними комплексами, потребує і відповідної координації технологічних схем та темпів проведення похилих підготовчих виробок (вентиляційних та збірних хідників).

Основною умовою своєчасної підготовки нової виїмкової ділянки (стовпа) є виконання необхідних обсягів прохідницьких робіт за той період часу, протягом якого відпрацьовується діюча виїмкова ділянка з урахуванням резерву часу (до 25...40%) на перевиконання плану видобутку вугілля, монтажні та пусканалагоджувальні роботи.

У роботах [11 - 13] зазначається, що одним з основних виробничо-технічних факторів, що впливають на вибір технологічної схеми та організації прохідницьких робіт, є термін проведення виробки, що забезпечує своєчасне та якісне відтворення очисного фронту:

$$t_{пр} = t_{від} - \sum t_{рез} = \frac{Llh\rho}{NQ} - \sum t_{рез}, \text{ міс} \quad (2.3)$$

де  $t_{пр}$  – тривалість проведення виробок під час підготовки виїмкового стовпа до відпрацювання, міс;  $t_{від}$  – тривалість відпрацювання виїмкового стовпа, міс;  $\sum t_{рез}$  – сумарний резерв часу, що враховує можливе перевиконання плану видобутку

вугілля, необхідність виконання додаткового обсягу прохідницьких робіт, робіт з відведення води, монтажу обладнання та ін.;  $\sum t_{рез} = (0,25 \dots 0,4)t_{вид}$ , міс;  $L$  – середня довжина стовпа виїмки, м;  $l$  – середня довжина очисного вибою, м;  $h$  – середня потужність вугільного пласта, м;  $p$  – середня щільність вугілля, т/м<sup>3</sup>;  $N$  – кількість робочих днів на місяць;  $Q$  – середньодобове навантаження на очисний вибій, т.

За результатами детального вивчення фактичного стану транспортно-технологічних процесів комбайнового проведення виробок встановлено, що на продуктивність підготовчих вибоїв суттєво впливають втрати часу під час виконання основних процесів комбайнового проведення виробок, а також простої прохідницького обладнання та привибійних транспортних комплексів. Структура середньозмінних показників втрат та кількість випадків зупинки підготовчих вибоїв наведено на рис.1.2.

Середньозмінні темпи комбайнового проведення в підготовчих вибоях шахт ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» склали 1,6 п.м, втрати часу 130,4 хв/зм, а середні втрати проведення одного прохідницького вибою 0,53 м/зм.

Необхідно відзначити, що транспортування допоміжних матеріалів, людей та обладнання належать до одного з основних виробничих процесів при підготовці виїмкових стовпів та монтажі очисного обладнання.

На шахтах ЗД під час проведення пластових виробок із ДКН застосовують два варіанти розташування транспортного обладнання.

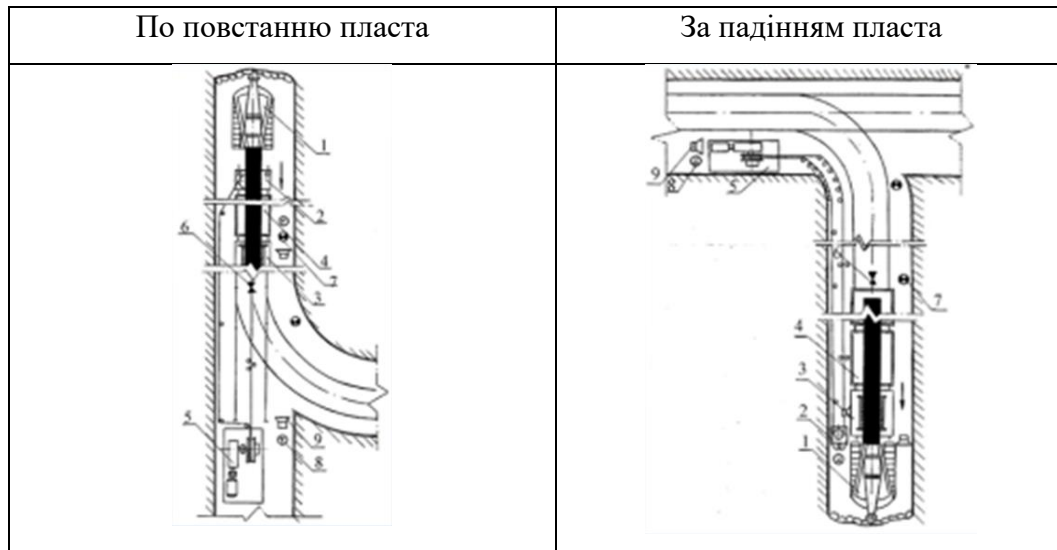
При проходженні виробок за падінням пласта лебідка розташовується в гирлі виробки, порожні вагонетки транспортуються вниз, а навантажені - вгору.

При проведенні виробок по повстанню пласта, лебідка знаходиться поряд з комбайном і пересувається за ним (рис. 2.5).

До основних недоліків рейкових видів транспорту при проведенні пластових підготовчих виробок слід віднести:

- малу продуктивність у виробках з активним здиманням порід підшоши;

- обмеження гальмівних можливостей в обводнених підземних виробках;
- низький рівень безпеки при проведенні похилих виробок.



1 – прохідницький комбайн; 2 - кінцевий блок; 3 - буксирований візок; 4 – вагонетка; 5 - привід; 6 - телефон; 7 – бар'єр; 8 - світлове табло; 9 – звуковий сигнал

Рисунок 2.5 – Склад транспортно-технологічного комплексу на базі ДКН

Для визначення потенційних резервів та експлуатаційних показників технологічних схем комбайнового проведення виробок функціональні зони гірничотранспортного обладнання були поділені на характерні блоки, такі як: навантаження породи у транспортні засоби; транспортування гірничої маси по виробці; зони обміну завантажених складів на порожні та блок розвитку транспортних мереж.

При формуванні ТТС для швидкісного проведення підготовчих виробок з використанням транспортного обладнання нового покоління ставилась умова максимального об'єднання розгалужених у часі і просторі традиційних транспортних операцій в єдиний технологічний процес. Тому для визначення показників ефективності транспортно-технологічних операцій при зміні напрямку вантажопотоку з дільничних виробок на магістральні було сформовано блок їх сполучення в якому витрати часу на виконання багаточисельних та трудомістких



маневрових операцій з обміну завантажених складів на порожні розглядалось поелементно. Необхідність виконання таких ротацій обумовлена результатами експертної оцінки експлуатаційних показників та технічного стану діючих в регіоні ТТС з використанням колісно-рейкових видів допоміжного транспорту [14].

Таблиця 2.1 – Алгоритм оцінки експлуатаційних параметрів елементів ТТС при комбайновому проведенні підготовчих виробок з використанням ДКН

Аналітична характеристика об'єкту	Критерії оцінки параметрів системи
<p><b>Блок навантаження породи у вагони</b> Об'єм гірничої маси <math>Q_{пз}</math> з одного циклу проходки <math>Q_{пз} = S \times l_{ц} \times \gamma_{ц} \times k_{р,м^3}</math> Середнє значення вантажопотоку <math>u_1 = \frac{S \times L_n \times \gamma_{ц}}{60 \times t_p}, m/хв</math></p>	<p><math>S</math> - перетин виробки в проходці, м<sup>2</sup>; <math>\gamma_{ц}</math> - щільність вугілля та породи в масиві, т/м<sup>3</sup>; <math>l_{ц}</math> - рух забою за цикл, м; <math>k_{р}</math> - коефіцієнт руйнування породи; <math>L_{п}</math> - середньозмінний темп проходки, м;</p>
<p><b>Блок транспорту по виробці</b> Допустима кількість вагонів по міцності зчеплення, од <math display="block">z = \frac{P_{цц}}{(m_0 + m) \times g \times (\omega \times \cos \alpha + \sin \alpha)}</math>Запас міцності тягового каната <math display="block">S = Q(\sin \alpha + 0,02 \cos \alpha) + 0,3q_2 L_k \cos \beta + 0,1Q_m + 0,2L_k</math>Сила тяги холостої гілки, Н <math display="block">F_{1-2} = g \times p_k(\omega_k \times \cos \alpha - \sin \alpha) \times l</math>Сила тяги вантажної гілки, н <math display="block">F_{3-4} = g \times (Z \times (m_0 + m) + m_{бв}) \times (\omega \times \cos \alpha + \sin \alpha) + g \times p_k(\omega_k \times \cos \alpha + \sin \alpha) \times l</math></p>	<p><math>P_{цц}</math> – допустиме навантаження на зчипку, кН; <math>m_0</math> і <math>m</math> – маса тари та вантажу вагонетки, кг; <math>\omega</math> – коефіцієнт опору руху вагонетки (<math>\omega = 0,015</math>); <math>\alpha</math> – кут нахилу виробки, град; <math>g</math> – прискорення вільного падіння <math>g = 9,81</math> м/с<sup>2</sup>; <math>P_k</math> – погонна маса тягового каната, (<math>P_k = 1,85</math> кг/м); <math>\omega_k</math> – коефіцієнт опору руху вагонетки (<math>\omega = 0,2</math>); <math>l</math> - максимальна довжина дороги, м; <math>Z</math> – кількість завантажених вагонеток; <math>m_{бв}</math> – маса буксированої вагонетки, кг; <math>Q</math> – максимальна вага складу, Н; <math>\beta</math> – середньозважений кут нахилу знакозмінної виробки (для виробок з одностороннім ухилом <math>\beta = \alpha</math>), град.; 0,02 - коефіцієнт опору руху складу; 0,3 - коефіцієнт опору переміщенню каната; 0,1 і 0,2 - коефіцієнти, що враховують опір обертанню блоків та роликів на трасі;</p>
<p><b>Блок сполучення дільничних та магістральних виробок для зміни напрямку вантажопотоку</b> Загальний час виконання маневрів, <math>t_3 = t_1 + t_2 \dots + t_n</math>, Тягове зусилля приводного блоку, Н <math display="block">F_{н-с} = F_{1-2} + F_{3-4}</math>Потужність приводу, кВт <math display="block">N = \frac{F_{н-с} \times V_n}{1000 \times \eta}</math>Продуктивність за зміну, <math display="block">Q_p = \frac{3,6 \times m \times Z}{T}</math></p>	<p><math>t_3</math> - час руху електровоза на маневрових роботах; <math>t_1</math> і <math>t_2</math> - час руху із завантаженими вагонетками та час переведення стрілочних переказів на розминовку; <math>t_n</math> - час заїзду з порожняковим складом; <math>P</math> – тип рейок, шпал; <math>S_k</math> – ширина колії; <math>i</math> – ухил шляху; <math>\Delta h</math> – перевищення однієї рейки над іншою; <math>\Delta S_k</math> – розширення (звуження) колії; <math>k</math> – кількість шляхів на ділянці; <math>L_{п}</math> – довжина прямолінійної ділянки, км; <math>L_p</math> - відстань між розминовками, км; <math>R_b</math> - радіуси закруглення, м.</p>

Базовими елементами аналізованих функціональних блоків є рухомий склад, рейковий шлях та його компоненти, що забезпечують обмін завантажених складів вагонів на порожні.

По результатам оцінки показників ефективного використання колісно-

рейкових засобів допоміжного транспорту для швидкісного проведення підготовчих виробок в табл. 2.1 наведені техніко-економічні показники роботи елементів діючих в регіоні ТТС, аналітичні залежності та критерії їх оцінки.

Слід відзначити, що при застосуванні рейкових видів транспорту в нетипових умовах експлуатації, традиційно застосовувані методики не враховують негативний вплив випадкових факторів на продуктивність транспортних заходів. Тому діапазон ефективної дії ТТС у межах функціонального блоку сполучення дільничних та магістральних виробок для зміни напрямку вантажопотоку рекомендовано визначати експериментально або шляхом комп'ютерного моделювання з урахуванням технічних характеристик траси та експлуатаційних параметрів транспортного обладнання, що використовується.

Для інтенсифікації транспортно-технологічних процесів комбайнового проведення пластових підготовчих виробок структурно-логічною схемою досліджень передбачено виконати експертну оцінку альтернативних видів допоміжного транспорту, які широко використовуються в зарубіжній практиці розробки вугільних і рудних родовищ.

Для підвищення пропускної здатності діючих ТТС на зарубіжних підприємствах галузі використовують сучасне самохідно-доставне обладнання з дизельним приводом. Перевагою цього обладнання є багатофункціональність, висока мобільність і наявність бортової системи контролю, яка фіксує зміни технічного стану механізмів і терміново сповіщає про це оператора.

В гірничодобувній галузі України самохідні доставні машини широко використовують на уранових родовищах. Дослідженнями НТУ «ДП» [15, 16] встановлено, що не зважаючи на високі техніко-економічні характеристики машин зарубіжного виробництва, у підприємств-споживачів імпортного самохідного обладнання постійно виникають проблеми з підтримкою їх технічного стану та необхідністю заміни дефіцитних вузлів і агрегатів, що

виходять з ладу в процесі експлуатації. Обумовлено це тим, що вагомий відсоток, придбаного імпортного гірничотранспортного обладнання, певний період часу експлуатувалось за кордоном в інших гірничо-геологічних умовах, з відповідною до тих умов комплектацію і має невизначений ресурс.

Головними причинами неможливості експлуатувати зарубіжні високопродуктивні ВДМ на повну потужність, на думку представників виробництва, є існуючі в галузі методи технічного обслуговування гірничошахтного устаткування, а також відсутність спеціалізованих дільниць, оснащених сучасними комплектами обладнання для виконання діагностики, тому гірничотранспортне обладнання експлуатується до відказу, а його ремонт переважно проводиться самотужки на місцях [17, 18]. У той же час, ряд дослідників посилається на недосконалість діючих методик визначення експлуатаційної продуктивності пневмоколісних ВДМ [19, 20].

Порівняльна оцінка експлуатаційних параметрів зарубіжних ВДМ, які застосовуються в умовах вітчизняних підприємств галузі, з показниками роботи аналогічних зразків за кордоном дозволила констатувати, що застосування гірничотранспортного обладнання нового покоління без врахування особливостей розробки рудних покладів і відповідного науково-методичного супроводу не дозволяє досягти планованих показників і реалізувати його паспортну продуктивність.

За відсутності галузевих рекомендацій зарубіжні зразки ВДМ нового покоління в більшості випадків впроваджуються у діючі технологічні схеми транспорту з характеристиками підземних виробок, які не відповідають експлуатаційним показникам самохідного обладнання високого технічного рівня. Як наслідок новітні зразки ВДМ експлуатуються на підприємствах галузі в нетипових умовах експлуатації без методично обґрунтованого урахування реальних умов експлуатації і впливу обмежуючих чинників.

З огляду на той факт, що чинні галузеві методики визначення експлуатаційних параметрів СО не враховують комплексний вплив зазначених чинників, рекомендовано продуктивну роботу ВДМ нового покоління в специфічних умовах експлуатації розглядати як взаємодіючу динамічну систему «Вантажно-доставна машина - Гірнична виробка» («ВДМ – ГВ»).

Експериментально доведено, що забезпечити ефективну роботу малодослідженої динамічної системи «ВДМ – ГВ» можливо шляхом створення штатних умов взаємодії елементів системи, підвищення адаптаційної здатності самохідного устаткування і впровадження оперативних методів діагностування та контролю їх стану.

В умовах інтенсифікації гірничих робіт на техніко-економічні показники експлуатації самохідного обладнання значний вплив має пропускна спроможність транспортних виробок, яка характеризується величиною вантажопотоку, що проходить по виробці в одиницю часу. Тому при визначенні пропускної спроможності транспортних виробок, оснащених самохідним обладнанням, необхідно враховувати такі параметри як: переріз гірничих виробок (ширина проїжджої частини, висота гірничих виробок); стан дорожнього покриття та адаптація транспортних машин на криволінійних ділянках виробок.

Шахтними дослідженнями доведено, що однією зі значущих характеристик пропускної спроможності підземних транспортних виробок є ширина проїжджої їх частини і стан дорожнього полотна, які суттєво впливають на технічний рівень ВДМ, швидкість їх руху та час виконання рейсу [21].

Досвід використання самохідних машин на вугільних шахтах України і методики визначення їх експлуатаційних параметрів відсутні. В той же час на рудних родовищах з видобутку урану широко використовуються самохідні ВДМ відомих зарубіжних фірм [17]. На діючих рудниках галузі при проведенні підготовчих виробок в якості основних показників ефективності ВДМ розглядаються їх продуктивність, максимальна швидкість та тривалість одного

рейсу транспортної машини (хв).

Згідно галузевих рекомендацій [22] продуктивність самохідних машин:

$$Q_{\text{св}} = 60 \times V_{\text{куз}} \times K_3 \times \gamma \times K_{\text{в}} \div t_{\text{р}} \times K_{\text{н}} \quad (2.4)$$

де  $V_{\text{куз}}$  - ємність кузова транспортного засобу;  $K_{\text{н}}$  - коефіцієнт нерівномірності вантажопотоку (за відсутності акумулюючої ємності,  $k_{\text{н}} = 1.5$ , а при її наявності -  $k_{\text{н}} = 1.25$ ; при транспортуванні гірничої маси з прохідницького вибою  $k_{\text{н}} = 2$ );  $k_{\text{в}} = 0.9$  - коефіцієнт використання машини;  $k_3$  - коефіцієнт заповнення кузова вагона ( $k_3 = 0,95$ ).

Важливими показниками ефективної роботи самохідних машин вважаються: час руху машини від вибою до пункту розвантаження і назад, тривалість операцій по розвантаженню кузова, маневрів у вибої та біля місць розвантаження, а також очікування машини на розминовках.

Тривалість (хв) одного рейсу транспортної машини:

$$t_{\text{р}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{дв}} + t_{\text{роз}} + t_{\text{м.з.}} + t_{\text{м.р.}} + t_{\text{розм}} \quad (2.5)$$

де  $t_{\text{зав}}$ ,  $t_{\text{дв}}$ ,  $t_{\text{роз}}$  - час відповідно завантаження вантажонесучої ємності, руху машини від вибою до пункту розвантаження і назад, розвантаження, хв;

$t_{\text{м.р.}}$ ,  $t_{\text{м.з.}}$  - тривалість (хв) маневрів у вибої та біля місць розвантаження,

$t_{\text{м.р.}}$ ,  $t_{\text{м.з.}} = 0.5$  хв;  $t_{\text{розм}}$  - тривалість (хв) очікування машини на розминовках.

При роботі машини в комплексі з бункером - перевантажувачем:

$$t_{\text{б}} = V_{\text{б}} \div V_{\text{р}} \times V_{\text{куз}} \quad (2.6)$$

де  $V_{\text{б}}$  - ємність бункера - перевантажувача;  $V_{\text{р}}$  - швидкість розвантаження бункера - перевантажувача;  $V_{\text{куз}}$  - ємність кузова.

Тривалість (хв) руху машини у вантажному та порожняковому напрямках:

$$t_{\text{р}} = 60L \div k_{\text{с.х}} (V_{\text{в}}^{-1} \times V_{\text{пор}}^{-1}) \quad (2.7)$$

Швидкість (км/год) руху у вантажному  $V_{\text{в}}$  і порожняковому  $V_{\text{пор}}$  напрямках визначається або прийняттям значень згідно з практичними даними, або за тяговими характеристиками двигунів машин. Коефіцієнт, що враховує

середньоходову швидкість руху, приймається залежно від довжини транспортування: при  $L < 0.3$  км  $k_{c,x} = 0.6$ ; при  $L > 0.3$  км  $k_{c,x} = 0.75$ .

У відповідності з міжнародними стандартами та вимогами щодо технічного обслуговування високотехнологічного самохідного гірничого обладнання та зниження термінів і витрат на ліквідацію відказів створено програму підвищення ефективності роботи, моніторингу і діагностування технічного стану дизельних ВДМ та розробки інноваційних технічних рішень щодо підвищення їх експлуатаційних показників в реальних умовах шахтного середовища.

Для визначення області раціонального застосування ТТС з використанням ВДМ в специфічних умовах підприємств вугільної галузі розроблено програму комплексних досліджень показників їх ефективності за рахунок реалізації адаптивних функцій в підземних протяжних виробках з знакозмінним профілем шляху.

## **2.2. Особливості визначення адаптаційних показників самохідних машин при проведенні та експлуатації підготовчих виробок**

Обґрунтування доцільності використання самохідних машин в якості допоміжного транспорту при підготовці виїмкових стовпів до очисного виймання базується на визначенні їх адаптаційних показників в реальних умовах шахтного середовища.

В типових умовах гірничого виробництва експлуатаційна продуктивність ВДМ представляє собою досягнутий об'єм навантаження гірничої маси і доставки її до місця розвантаження в одиницю часу з урахуванням технологічних і організаційних переривів, які враховуються коефіцієнтом використання машини у часі. В діючих методиках [20, 23] експлуатаційна змінна продуктивність визначається загально відомим виразом:

$$P_e = 60 \times V_{KH} \times k_3 \times T_{3M} \times \frac{k_H}{T_{Ц}} \quad (2.8)$$

де  $V_{KH}$  - номінальна ємність ковша;  $k_3$  - коефіцієнт заповнення ковша;  $T_{3M}$  -

тривалість зміни;  $k_n$  - коефіцієнт використання ВДМ у часі;  $T_{ц}$  - тривалість робочого циклу машини.

Для встановлення тривалості робочого циклу машин традиційно використовуються середні показники тривалості часу завантаження і розвантаження ковша, робочого та холостого ходу машини та маневрових її операцій. Процеси взаємодії елементів системи «ВДМ-ГВ» в реальних умовах шахтного середовища до тепер залишаються малодослідженими.

Специфічні умови проведення пластових підготовчих виробок на шахтах ЗД характеризуються інтенсивним здиманням порід підшоши. Як наслідок профіль поверхні підшоши підготовчих виробок має знаковмінний характер. На рис.2.7 наведена характерна ділянка профілю та перерізів виїмкового хідника шахти «Павлоградська».

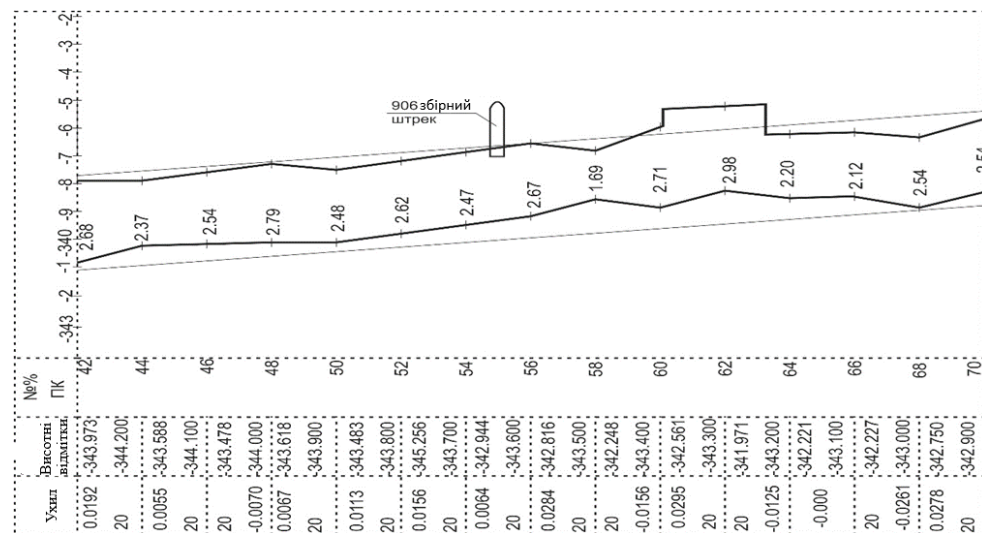


Рисунок 2.6 – Характерна ділянка профілю та перерізів виїмкового хідника шахти «Павлоградська»

На практиці означені показники отримуються по результатам хронометражних досліджень часу на виконання конкретної технологічної операції без урахування особливостей зміни у просторі і часі гірничотехнічних умов експлуатації транспортного обладнання.

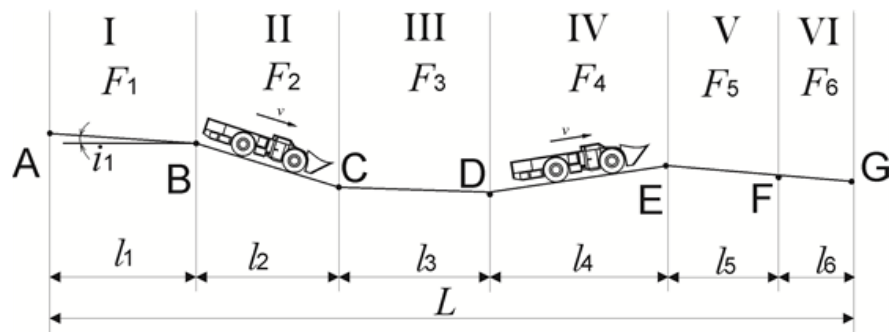
У зв'язку з цим транспортно-технологічні процеси доставки гірничої маси

від підготовчого вибою рекомендовано розглядати як події, які формуються в результаті взаємодії прохідницького комбайна та ВДМ з шахтним середовищем за умов негативного впливу обмежуючих факторів.

При експлуатації ВДМ в підземних виробках з породами підосви схильними до здимання найважливішими їх параметрами слід вважати величину підйому шляху, що долається, і значення швидкості руху машини на цьому підйомі. Сучасні ВДМ можуть долати підйоми до  $15^\circ$ , причому швидкість їх руху на підйомі значно знижується. Тому, при визначенні продуктивності ВДМ необхідно визначати їх експлуатаційні параметри для найбільш важких ділянок траси, тобто для ділянок зі складним профілем та значними підйомами.

Згідно з методикою моделювання процесу транспортування гірничої маси в гірничих виробках зі знакозмінним профілем шляху для найбільш важкої ділянки траси встановлювався гальмівний шлях ВДМ і для конкретного типу дорожнього покриття, перевірялась відсутність буксування коліс за умови  $F_{\max} > W_{\max}$ . Тобто коли тягове зусилля на окружності коліс ( $F_k$ ) більше суми сил опору ( $W$ ).

Розрахункова схема умов взаємодії ВДМ з дорожнім покриттям гірничої виробки зі знакозмінним профілем шляху наведена на рис. 2.7.



$L$  – довжина траси;  $A-B, B-C, \dots F-G$  – ділянки траси відповідного профіля;  $l_1, l_1 \dots l_6$  – довжина характерних ділянок;  $i_1$  – ухил траси на ділянці  $A-B$ ;  $F_1, F_2 \dots F_n$  – сила тяги машини на відповідних ділянках траси

Рисунок 2.7 – Розрахункова схема встановлення експлуатаційних параметрів ВДМ в підземних виробках із знакозмінним профілем траси



На рис. 2.7 символами  $A, B, C, \dots, G$  означені потенційно небезпечні ділянки траси, на яких відбуваються різної тяжкості недосконалості, зниження експлуатаційних показників ВДМ, а також ушкодження їх вузлів і елементів. Відповідно до приведеної схеми для характерних видів робіт і ділянок траси ( $A - B, C - D, \dots, F - G$ ) з відповідними показниками довжини і типами дорожнього покриття визначалися швидкість і величини опору руху, сили тяги і гальмівний шлях ВДМ та обмежуючі їх чинники.

Подана на рис. 2.7 транспортна схема відображає один з реальних маршрутів руху завантажених і порожніх ВДМ від прохідницького вибою точка  $A$  до заїзду в пункт обміну завантажених ВДМ на порожні по криволінійній ділянці  $AB, BC \dots FG$ .

Процедура розрахунку коефіцієнта оборотності  $K$  ВДМ реального маршруту руху вантажопотоків і позначення, що характеризують розрахункову схему, тобто. конкретні ділянки проходження вантажів, наведені у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Характеристика маршруту руху вантажів

Характерні ділянки траси	Показники маршруту			
	Довжина ділянки, м	Ухил шляху,	Середня швидкість, м/хв	Час руху состава, хв
$AB$	$l_1$	$i_1$	$v_1, v_1^{\prime}$	$t_1$
$BC$	$l_2$	$i_2$	$v_2, v_2^{\prime}$	$t_2$
$CD$	$l_3$	$i_3$	$v_3, v_3^{\prime}$	$t_3$
$DE$	$l_4$	$i_4$	$v_4, v_4^{\prime}$	$t_4$
$EF$	$l_5$	$i_5$	$v_5, v_5^{\prime}$	$t_5$
$FG$	$l_6$	$i_6$	$v_6, v_6^{\prime}$	$t_6$

Наведені у табл. 2.2 позначення характеризують:

$l_1 - l_6$  – довжину досліджуваних ділянок на ділянках траси  $A - G$ ;

$v_1 - v_6$  – середні швидкості руху завантаженого ВДМ на досліджуваних ділянках  $AB - FG$ ;

$v_1^{\prime} - v_6^{\prime}$  – середні швидкості руху порожнього ВДМ на досліджуваних ділянках  $AB - FG$ ;

$i_1 - i_6$  – ухили шляху на досліджуваних ділянках  $AB - FG$ ;

$l_1 - l_6$  – довжини досліджуваних ділянок  $AB - FG$ ; на маршруті  $A - G$ ;

$t_1 - t_6$  – час руху ВДМ на досліджуваних ділянках  $AB - FG$ .

З урахуванням нерівномірності завантаження складів та перерв у роботі транспортних установок з організаційних причин повний час оборотності ВДМ зводиться до встановлення параметрів відкочування вантажів у шахті з урахуванням фізико-механічних властивостей гірничої маси, що перевозиться, параметрів траси та машини, організації робіт та перерв, пов'язаних з обслуговування машин [24].

На підставі вищевикладеного та рекомендацій [25] знаходиться середній час  $t$ , що витрачається тільки на рух ВДМ за маршрутом  $A - G$  і назад:

$$t_{де} = l_5 \left( \frac{1}{v_5} + \frac{1}{v'_5} \right) + l_4 \left( \frac{1}{v_4} + \frac{1}{v'_4} \right) + l_3 \left( \frac{1}{v_3} + \frac{1}{v'_3} \right) + l_2 \left( \frac{1}{v_2} + \frac{1}{v'_2} \right) + l_1 \left( \frac{1}{v_1} + \frac{1}{v'_1} \right) \quad (2.9)$$

Відповідно до розрахункової схеми основним параметром ВДМ в реальних умовах експлуатації є сила тяги  $F$  машини на прямолінійних і викривлених в профілі і плані ділянках траси та гальмівний шлях при русі під ухил.

Для приведених на схемі ділянок (I – VI) траси показники  $F_1, F_2 \dots F_n$  визначалися відповідно до виразу

$$F_n = f(P, \alpha_n, \beta_n, l_n, w_n, v_n) \quad (2.10)$$

де  $P$  - зчіпна вага ВДМ, Н;  $\alpha_n$  - кут зміни профілю траси на цій ділянці, град;  $\beta_n$  - кут повороту траси на цій ділянці, град;  $l_n$  – відповідно довжина цієї ділянки;  $w_n$  - коефіцієнт опору руху;  $v_n$  - швидкість руху складу, м/с.

Згідно з методикою досліджень експлуатаційні показники швидкості й часу руху навантаженої ВДМ визначаються послідовно стосовно кожної ділянки траси від вибою ( $A - B$ ) до пункту розвантаження вагона ( $F - G$ ) та порожньої машини у зворотному напрямку. З урахуванням ваги завантаженої ВДМ, питомого ходового опору руху коліс з полотном дороги і реальних характеристик

транспортних виробок на цих ділянках визначали також силу тяги  $F_k$  на ободі пневмоколіс.

У процесі моделювання умов взаємодії елементів ВДМ з шахтовим середовищем реальний профіль траси транспортної виробки  $A, B, C...G$  розглядався як сукупність нерівностей – послідовно розташованих виступів і западин довільної форми. За основні параметри профілю траси було взято довжину нерівностей –  $S$ , висоту виступів –  $H_b$ , глибину западин –  $H_r$ ;  $A$  – відхилення між лівою 1 і правою 2 коліями (рис. 2.8).

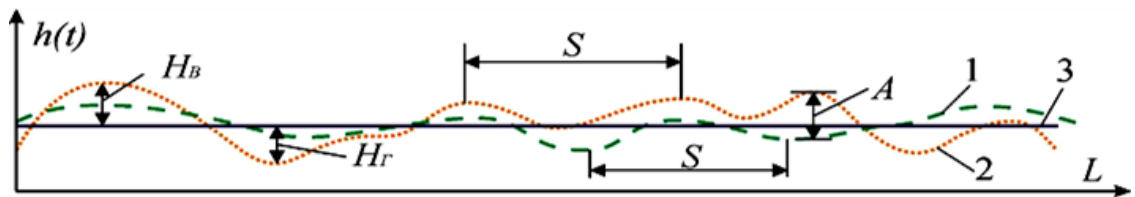


Рисунок 2.8 – Параметри нерівностей поверхні підшви гірничих виробок

Експериментально встановлено, що під час взаємодії ВДМ з нерівностями шахтової дороги в конструкції машини виникають коливальні процеси, зокрема вертикальні, горизонтальні й поперечні переміщення, а також деформації і прискорення [26].

Слід відзначити, що величини вертикальних і горизонтальних відхилень ВДМ залежать не тільки від стану траси але й від швидкості руху машини. Швидкість руху ВДМ по підземних виробках у свою чергу обмежується зазорами між кузовом машини і стінками виробки, тобто залежить від ширини виробки, а також визначається умовами гальмування і можливістю занесення машини при проходженні криволінійних ділянок траси.

Експлуатація ВДМ нового покоління на високих швидкостях у виробках без спеціального дорожнього покриття вимагає забезпечення великих зазорів між габаритами машини і стінками виробок. Обумовлено це тим, що при високих

швидкостях значні горизонтальні відхилення ВДМ провокують ушкодження кузовних частин, відновлення яких пов'язане з додатковими втратами часу продуктивної роботи машини.

В зарубіжній практиці розробки родовищ корисних копалин одним із способів збільшення пропускної спроможності самохідних машин є поліпшення стану шахтних доріг шляхом покриття підшви гірничих виробок щебнем різної фракції по всій ширині виробки з подальшим зміцненням поверхні в'язкою сумішшю з бітуму, вапна, цементу і води [26].

Недоліком даної технології є великі питомі витрати на вирівнювання підшви транспортної виробки і складність зведення окремих шарів щебню різної фракції, причому будівництво дорожнього покриття не забезпечує термінів введення транспортних виробок в експлуатацію.

Більш того, при використанні самохідних машин на вугільних шахтах ЗД на їх продуктивність будуть впливати специфічні умови експлуатації, а саме активне здимання порід підшви, малі перерізи підготовчих виробок і інтенсивні притоки води.

Означені умови ускладнюють роботу самохідних транспортних засобів, тому далі рекомендовано розглянути інноваційні технічні рішення по удосконаленню діючих ТТС з використанням колісно-рейкових видів допоміжного транспорту або дизельних ПДМ.

### **2.3. Удосконалення експлуатаційних показників колісно-рейкових видів транспорту для поширення їх функцій в умовах шахт Західного Донбасу**

В умовах сьогодення на діючих шахтах ЗД традиційно використовуються колісно-рейкові види допоміжного транспорту такі як: локомотивна відкатка і надгрунтові канатні дороги.

Згідно з [27] в специфічних умовах експлуатації колісно-рейкових видів допоміжного транспорту необхідно дотримуватись виконання наступних вимог:

1. При перевезенні людей і вантажів у виробках з ухилом рейкової колії від 0,005 ‰ до 0,05 ‰ передбачати електровози, обладнані колодковими гальмами, динамічним гальмуванням і додатковими засобами гальмування (системою електромагнітних, магнітних рейкових гальм та інших).

2. Дизельні локомотиви мають бути обладнані колодковими гальмами, а також повинні забезпечувати гальмування двигуном.

3. Локомотиви, обладнані тільки колодковим гальмом, допускається застосовувати при ухилах рейкової колії не більше 0,02 ‰.

4. При експлуатації локомотивів, що не відповідають переліченим вище вимогам, вводиться обмеження швидкості у виробках:

- з ухилом колії від 0,021 ‰ до 0,03 ‰ – до 2,5 м/с;
- з ухилом колії від 0,031 ‰ до 0,04 ‰ – до 2 м/с і скорочення вагової норми потягу до 80% від розрахункової;
- з ухилом колії від 0,041 ‰ до 0,05 ‰ – до 1 м/с і скорочення вагової норми потягу до 60% від розрахункової.

5. Тягове зусилля на окружності коліс ( $F_k$ ) більше суми сил опору ( $W$ ), тобто  $F_{\max} > W_{\max}$ .

Таким чином, при використанні шахтних локомотивів і ДКН в обводнених виробках з інтенсивним здиманням порід підшоши важливими показниками експлуатаційної їх надійності є: коефіцієнт зчеплення коліс з рейкою, сила тяги, швидкість руху та гальмівний шлях.

Незважаючи на створення сучасних зразків локомотивів, сфера їх застосування обмежується ухилом рейкових шляхів (до 0,005 ‰ для серійних електровозів, а для машин з підсиленою гальмовою системою до 0,05 ‰) через обмеження сили тяги за умов зчеплення ведучих коліс з колією. Діючі на шахтах регіону локомотиви реалізують свою силу тяги і гальмівну силу за рахунок зчеплення колеса з рейкою. Підвищення тягово-гальмівних характеристик

шахтних локомотивів традиційно виконується шляхом збільшення зчіпної ваги та сукупної потужності тягових двигунів.

Дослідженнями [28, 29] встановлено, що для поширення сфери ефективного їх використання необхідно не тільки удосконалювати базові елементи локомотива, але й реконструювати систему колісно-рейкового транспорту на ділянках із завищеними ухилами рейкових шляхів. Досягається це шляхом застосування опорно-направляючого механізму високого технічного рівня та модернізації гальмівних систем шахтних локомотивів, що дозволяє транспортувати великотоннажні вантажі при виконанні монтажних-демонтажних робіт (МДР).

В зарубіжній практиці поширення сфери ефективного використання шахтних локомотивів у виробках з знакозмінним профілем рейкового шляху досягається застосуванням в системі приводу зубчасто-рейкових передач, у яких ведуче зубчасте колесо, закріплене на вихідному валу привідного редуктора, взаємодіє із зубчастою рейкою, розташованою по осі симетрії рейкового шляху [28, 29]. До інноваційних технічних рішень слід віднести надбання відомих машинобудівних фірм «Becker» (Німеччина) та «Ferrit» (Чехія) в галузі розробки надгрунтових рейкових доріг із зубчастими локомотивами, що дозволяють транспортувати вантажі масою до 60 т, розвиваючи швидкість до 2 м/с, у виробках з ухилом шляху до 30° (рис.2.9).

Наведений на рис. 2.9 надгрунтовий зубчастий локомотив є тяговим засобом, призначеним для транспортування составів по рейковій зубчастій дорозі з кутом нахилу до 30°. Рейкова передача - один з видів механічних передач, що перетворює обертальний рух на лінійний.



Рисунок 2.9 – Шахтний надґрунтовий зубчастий локомотив фірми «Ferrit»

Таблиця 2.3 – Характеристика зубчатого локомотива DLZ110F.NZD

Характеристика	Значення
Потужність	81 кВт
Тягове зусилля	120 – 140 кН
Кут нахилу	30°
Швидкість	1 – 5 м/с
Кількість кабін	2
Загальна маса	9000 кг

До складу надґрунтового зубчастого локомотиву входять:

- двохрейкова колія, в середині якої для передачі тягового зусилля від приводу локомотива додатково розміщується зубчаста рейка;
- привідна частина з зубчастим колесом, закріпленим на приводному валу колісної пари локомотива, яке обкатується по рейці і служить для переміщення транспортного засобу по колійному полотну;
- гідравлічна система гальмування;
- апаратура управління.

Моторну частину утворює дизельний чотиритактний чотирициліндровий двигун, пристосований для застосування в шахтних умовах захистом

всмоктувального та вихлопного тракту пристроєм, що перешкоджає ініціювання вибуху метану та його перенесення в незахищену атмосферу.

При проходженні ділянок колії з нормальним профілем зубчастий локомотив реалізує свою силу тяги і гальмівну силу за рахунок зчеплення колес з рейковою колією. Перед входом на ділянку з підвищеним профілем колії, локомотив зупиняється, опускає зубчасте колесо і вводить його в зачеплення з зубчастою рейкою. На ділянці із завищеним профілем шляху тягове та гальмівне зусилля забезпечується двигуном та гальмівним пристроєм підключеними до зубчастого колеса.

Не зважаючи на відсутність об'єктивних даних про їх надійність, трудомісткість обслуговування та вартість експлуатації транспортно-технологічні схеми з використанням надгрунтових рейкових доріг із зубчастими локомотивами рекомендовано розглядати як альтернативний самостійний вид транспорту при доставці секцій механізованих кріплень, великотоннажних вузлів комбайнів, лавних конвеєрів під час виконання монтажних та демонтажних робіт у лавах.

Надгрунтова рейкова дорога із зубчастим локомотивом може також застосовуватися як продовження магістрального або дільничного транспорту, що виконується за допомогою ДКН або ПДМ.

Слід відзначити, що в умовах шахт ЗД при відпрацюванні розвіданих запасів вугілля лавами по падінню (повстанню) пласта невпинно зростає частка гірничих виробок із завищеним (більше 0,05 %) профілем шляху. У зв'язку з цим поширення сфери ефективного використання рейкових видів транспорту можливе шляхом підсилення гальмівної системи шахтного локомотиву.

Програмою досліджень передбачено, що потенційні резерви колісно-рейкових видів транспорту являються базою для удосконалення існуючих гальмівних систем, що дозволить поширити область їх використання при проведенні похилих підготовчих виробок (вентиляційних та транспортних



хідників) в реальних умовах шахтного середовища, тобто в типових, нетипових та екстремальних умовах експлуатації.

Згідно з методикою комплексних досліджень нетипових умов експлуатації колісно-рейкових видів транспорту, до яких відносяться шахтні локомотиви та надгрунтові канатні дороги, було розроблено математичну модель коливальних гальмівного механізму [30].

Гальмівні системи шахтних локомотивів і ДКН з напруженим замкнутим кінематичним контуром розглядаються як адаптивний механізм змінної структури для умов взаємодії колодки і колеса при їх переміщенні по рейковому шляху.

В якості динамічної моделі колодочно-колісного гальма шахтного локомотиву розглядається коливальна система з двома ступенями свободи (рис.2.10), яка складається з колодки масою  $m$ , що ковзає по колесу радіусом  $R$ , що обертається з постійною кутовою швидкістю  $\omega$ , і упругодемпфуючого елемента Фойхта, жорсткість та коефіцієнт в'язкості якого позначимо  $c$  і  $b$  відповідно.

Кривизною поверхонь колодки та колеса нехтуватимемо. До колодки гальмівного механізму шахтного локомотиву прикладено зовнішнє постійне зусилля  $Q$ , що притискає її до колеса.

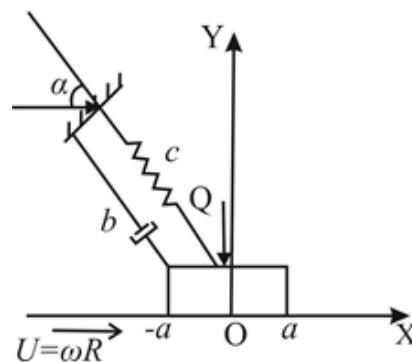


Рисунок 2.10 – Розрахункова схема динамічної моделі гальмівного механізму

Кривизною поверхонь колодки та колеса нехтуватимемо. До колодки гальмівного механізму шахтного локомотиву прикладено зовнішнє постійне зусилля  $Q$ , що притискає її до колеса. Номінальна площинка контакту колодки та

колеса має форму прямокутника зі сторонами  $2a$  та  $e$ . Область фактичної контактної взаємодії дискретна і складається із сукупності п'ятен контакту. Причиною виникнення дискретності контакту є шорсткість поверхонь, що контактують.

Представлений на рис.2.10 упругодемпфуючий елемент моделює конструктивний зв'язок гальмівного механізму, що діє у напрямку під кутом  $\alpha \leq 90^\circ$  до площини тертя. Зазначимо, що саме наявність у моделі такого зв'язку призводить до координатного взаємозв'язку нормальних і тангенціальних коливань колодки. Положення колодки визначається її координатами  $\{x(t), y(t)\}$ .

Для визначення періоду коливань аналізованої динамічної системи на основі аналізу періодичності часового ряду переміщень  $\{x^n\}$  і  $\{y^n\}$  колодки використовуються апарат автокореляційних функцій.

Методикою досліджень передбачено, що значення дискретного сигналу (тимчасовий ряд)  $\{x^n\}$ ,  $n = \overline{1, N + M}$  відомі. Тоді дискретна автокореляційна функція сигналу  $\{x^n\}$  обчислюється за формулою:

$$\psi_m = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^n x_n \times x_{n+m}, \quad m = \overline{0, M} \quad (2.11)$$

де  $\psi_m$ ,  $m = \overline{0, M}$ , - дискретна автокореляційна функція;  $N$ ,  $M$  - цілі позитивні числа.

Одним із найпоширеніших способів дослідження періодичних рухів динамічних систем є спектральний аналіз. З механічної точки зору, розкладання досліджуваного руху на ряд Фур'є відповідає його уявленню у вигляді сукупності простих гармонійних рухів.

Враховуючи властивості спектра дискретного періодичного часового ряду, у роботі використано наступну методику спектрального аналізу коливань гальмівного механізму.

1. Обчислюється крок інтегрування за часом:

$$h = \frac{T_1}{N} \quad (2.12)$$

де  $N$  - кількість кроків за часом за період вільних коливань колодки  $T_1$ .

У обчислювальних експериментах належало  $N=200$ .

2. Обчислюється тимчасовий ряд переміщень  $\{X^n\}$  мас аналізованої динамічної системи на тимчасовому відрізку  $[0, T_0]$ , де  $T_0 = MT_1$ . У обчислювальних експериментах належало  $M=50$ .

3. Використовуючи кінцевий відрізок часових рядів  $\{x^n\}$  і  $\{y^n\}$ ,  $n = \overline{(M-K)N, MN}$ , будуються автокореляційні функції переміщень колодки на відрізку  $[(M-K/2)N, MN]$ . У обчислювальних експериментах належало  $K=32$ .

4. Використовуючи наближені умови періодичності автокореляційних функцій, визначається період коливань  $T$  аналізованої динамічної системи.

Якщо на розглянутому кінцевому відрізку  $[(M-K/2)N, MN]$  умови періодичності не виконуються, необхідно збільшити параметр  $M$ , що визначає довжину відрізка  $[0, T_0]$ , на якому обчислюються тимчасові ряди переміщень  $\{x^n\}$  і  $\{y^n\}$  колодки, або збільшити параметр  $K$ , що визначає максимально допустимий період коливань.

5. Використовуючи кінцевий відрізок часових рядів  $\{x^n\}$  і  $\{y^n\}$ ,  $n = \overline{(M-K)N, MN}$ , обчислюється за формулами спектр переміщень колодки. Якщо спектр має обмежену смугу частот, то виконується умова:

$$l < \frac{kN}{2} - s \quad (2.13)$$

де  $s > 0$  - параметр, що визначає ширину спектра.

Якщо виконується умова (2.13), то дискретне перетворення Фур'є дозволяє відновлювати вихідні безперервні функції переміщень колодки. Інакше

необхідно збільшити частоту дискретизації, тобто. зменшити величину кроку інтегрування за часом  $h$  і повернутися до п.2 методики.

Розроблена методика спектрального аналізу коливань гальмівного механізму ґрунтується на припущенні, що його рухи є періодичними. Якщо в аналізованій динамічній системі виникає детермінований хаос, то автокореляційна функція тимчасового ряду переміщень  $\{X^n\}$  повинна мати кінцевий носій, тобто обертатися в нуль поза кінцевим інтервалом часу.

Для аналізу процесу встановлення коливань гальмівного механізму використовуються фазові діаграми у змінних «переміщення-швидкість». При дослідженні залежностей амплітуд переміщень, швидкостей і прискорень аналізованої динамічної системи зміни її параметрів використовувався метод продовження за параметром при покроковій зміні параметрів системи [31]. Як початкове наближення рішення вибирається рішення, отримане на попередньому кроці.

При розрахунках параметри системи змінювалися з постійним кроком від початкового до кінцевого значень, заданих у вихідних даних, а потім у зворотному напрямку – від кінцевого значення до початкового. Такий підхід дозволяє отримати, зокрема, повні амплітудно-частотні залежності динамічної системи з урахуванням наявності нестійких гілок.

Розроблені математична модель коливань гальмівного механізму та обчислювальний алгоритм для її чисельного дослідження реалізовані у вигляді комп'ютерної програми для персональних ЕОМ алгоритмічною мовою FORTRAN. Для компіляції програми можуть бути використані практично всі доступні комерційні компілятори, включаючи Compaq Visual Fortran 6.6 та Intel Visual Fortran 10, а також некомерційні компілятори, які розповсюджуються за ліцензією GNU. Як операційна система можуть використовуватися всі версії ОС WINDOWS, а також некомерційні версії ОС Linux. Зазначимо, що для створення коду програми, що виконується, не потрібно використання бібліотек процедур і

функцій сторонніх розробників. Запуск програми виконання може здійснюватися як з оболонки середовища розробки, так і у пакетному режимі.

На першому етапі обчислювального експерименту проводиться чисельне рішення динамічної задачі з тертям, що розглядається, за допомогою обчислювального алгоритму. В результаті обчислюються тимчасові ряди переміщень колодки  $\{x^n\}$ ,  $\{y^n\}$ .

На другому етапі обчислювального експерименту проводиться дослідження одержаних часових рядів з використанням:

- автокореляційних функцій для визначення періоду коливань;
- спектрального аналізу переміщень, швидкостей та прискорень;
- фазових діаграм у змінних «переміщення-швидкість»;
- залежностей амплітуд переміщень, швидкостей і прискорень від зміни параметрів динамічної системи, що розглядається, одержуваних методом продовження за параметром.

Отримані результати показують, що для розширення функцій надґрунтових колісно-рейкових видів транспорту під час інтенсифікації підготовчих робіт необхідно удосконалити колодочно-колісне гальмо шахтного локомотиву, так як традиційні транспортні засоби не адаптовані до умов швидкісної підготовки нових виїмкових стовпів в специфічних умовах Західного Донбасу. При використанні шахтних локомотивів і ДКН в обводнених виробках з інтенсивним здиманням порід підшоши важливими показниками експлуатаційної їх надійності є: коефіцієнт зчеплення коліс з рейкою, сила тяги, швидкість руху та гальмівний шлях.

#### **2.4 Аргументація засобів допоміжного транспорту та адаптація їх до умов експлуатації**

Широке впровадження на шахтах ЗД механізованих очисних комплексів нового покоління обумовило необхідність інтенсифікації темпів підготовки

запасів вугілля до очисної виїмки. Проте, за умов пониження глибини виконання гірничих робіт, збільшується гірничий тиск, температура і газоносність вугільних пластів і порід, що негативно впливає на темпи підготовки нових виїмкових стовпів до очисного виймання запасів вугілля. Практикою підтверджено, що при проведенні і експлуатації пластових підготовчих виробок з породами, схильними до здимання, виникає необхідність проведення кількох планових ремонтів дільничних транспортних виробок для забезпечення їх проектних перерізів і пропускної здатності. У зв'язку з цим при проектуванні технологічних схем підготовки запасів до очисного виймання пред'являються особливі вимоги до вибору засобів допоміжного транспорту і обґрунтуванню їх експлуатаційних параметрів для ефективного функціонування на різних етапах життєвого циклу.

Згідно з діючими нормами проектування вугільних шахт темпи проведення підготовчих виробок для своєчасної підготовки нових виїмкових стовпів повинні перевищувати на 25% швидкість руху виїмкових вибоїв [32]. При інтенсивній розробці вугільних пластів сучасні технологічні схеми і графіки організації МДР передбачають демонтаж енергоємного очисного обладнання з відпрацьованої лави і доставку його до монтажної камери нового виїмкового стовпа без розбирання (або з частковим розбиранням) секцій механізованого кріплення на основні конструктивні елементи. За таких вимог діючі схеми і методики вибору засобів допоміжного транспорту та розрахунку їх експлуатаційних параметрів потребують кардинальних змін і адаптації до специфічних умов шахтного середовища, що постійно змінюються у просторі і часі.

Дослідженням експлуатаційних параметрів транспортно-технологічних схем і процесів своєчасної підготовки запасів вугілля до очисної виїмки присвячені роботи декількох поколінь науковців [33, 34]. У наведених роботах теоретично та експериментально доведено, що в специфічних умовах шахт ЗД при інтенсифікації гірничопідготовчих робіт доцільно застосовувати у прямолінійних дільничних виробках надґрунтові канатні дороги, а у

криволінійних дільничних виробках з важким профілем колії – дизельні ПДМ нового покоління [9, 35].

У багатьох роботах вітчизняних та зарубіжних авторів питання своєчасної підготовки запасів вугілля до очисного виймання переважно розглядаються з позицій підвищення стійкості покрівлі в монтажних і демонтажних камерах або облаштування камер спеціальним обладнанням для безпечного виконання МДР [36, 37]. У наведених роботах розглядаються сучасні технології кріплення демонтажних камер із застосуванням двохрівневого анкерного кріплення та полімерного сітчастого перекриття високої міцності. У той же час левову долю у підготовці запасів вугілля до очисного виймання займають транспортно-технологічні процеси і операції, експлуатаційні параметри яких досі залишаються недостатньо досліджені.

За вказаних причин на вітчизняних підприємствах вугільної галузі повільно впроваджуються у виробництво зарубіжний досвід і технологічні схеми підготовки запасів до очисного виймання та технологій кріплення підготовчих виробок для використання дизельних підвісних монорейкових доріг.

Актуальність виконання останнього обумовлена тим, що у ранніх роботах [38] розглядалися лише механічні характеристики канатних і монорейкових доріг та не виконувалася комплексна оцінка їх параметрів з позиції взаємодії елементів ПДМ із масивом гірських порід у процесі переміщення рухомого складу. У роботі [35] вперше масив гірських порід, кріплення гірничих виробок та елементи ПДМ було рекомендовано розглядати як взаємодіючу систему «ПДМ – кріплення виробки – гірський масив» («ПДМ-КВ-ГМ»).

Однак в реальних умовах шахтного середовища виконати комплексні дослідження експлуатаційних показників означеної транспортно-технологічної системи виявилось досить складним завданням. Тому, представлена система була умовно поділена на три взаємодіючі підсистеми (табл.2.4): «рухомий склад -

монорейковий постав» («РС-МС»); «монорейковий постав – кріплення виробки» («МС-КВ»); «кріплення виробки – гірський масив» («КВ-ГМ»).

Таблиця 2.4 – Показники досліджень елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ»

Підсистеми	Об'єкт дослідження	Параметри
«Рухомий склад - Монорейковий постав» («РС-МС»)	Поведінка стикових з'єднань та центрів монорейкових ланцюгів при русі рухомого складу	Розподіл навантажень у монорейковому поставу
		Швидкість рухомого складу
		Параметри профілю траси монорейки
«Монорейковий постав – Кріплення виробки» («МС-КВ»)	Положення монорейкової траси у профілі та в плані підготовчої виробки	Схеми кріплення монорейкового поставу
		Статичні навантаження
		Динамічні навантаження від рухомого складу
«Кріплення виробки – Гірський масив» («КВ-ГМ»)	Фактичні навантаження, що діють на кріплення при проведенні та експлуатації дільничних виробок	Поведінка масиву гірських порід та кріплення у виробках з ПДМ
		Податливість акового кріплення в замкових з'єднаннях
		Величини деформацій елементів кріплення у виробках з ПДМ

Результати комплексних досліджень умов взаємодії елементів цієї системи дозволили зробити висновок, що при проходженні вантажними «візками» стикових з'єднань монорейкового поставу «несучі арки» є концентраторами напруги, що виникають у конструкції під дією сил гірського тиску. Більш того, динамічні навантаження, що багаторазово передаються «несучим аркам» кріплення в момент проходження рухомим складом стикових з'єднань профілю монорейкового поставу, провокують не тільки розшарування порід покрівлі, але і приводять їх в рух, викривляючи при цьому профіль монорейки і змінюючи параметри проектного перерізу транспортних виробок (рис. 2.11).





Рисунок 2.11 – Наслідки негативної дії динамічних навантажень рухомого складу ПДМ на аркове кріплення і покрівлю виробки

Теоретичні та експериментальні дослідження [39] динамічних процесів, що виникають під час руху рухомого складу на підвісному монорейковому шляху, дозволили запропонувати шляхи зниження їх навантаження за допомогою унікальних конструктивних рішень. Але в процесі цих досліджень не було враховано навантаження на кріплення дільничних виробок при транспортуванні надважких вантажів (пакети рейок, вузли очисного комбайну, секції механізованого кріплення) у специфічних умовах шахтного середовища.

Оцінюючи результати попередніх досліджень можна зробити висновок, що подальші пошуки інноваційних технічних рішень в галузі підготовки нових виїмкових стовпів в умовах інтенсифікації гірничих робіт мають бути спрямовані на визначення експлуатаційних параметрів ПДМ в процесі транспортування надважких вантажів по підземним гірничим виробкам складної конфігурації.

Удосконалення методики вибору технологічних схем допоміжного транспорту для своєчасної підготовки виїмкових стовпів до очисного виймання базується на реалізації концепції транспортної логістики шляхом оптимізації:

- експлуатаційних параметрів підготовчих виробок для різних етапів їх життєвого циклу;

- способу і засобу транспортування вантажів на етапах проведення підготовчих виробок і виконання МДР;
- експлуатаційних параметрів транспортних засобів в специфічних умовах гірничого виробництва;
- умов взаємодії елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ» при виконанні процесів гірничого виробництва.

Необхідність виконання останнього завдання обумовлена тим, що для специфічних умов шахт ЗД розроблена і впроваджено технологію рамно-анкерного кріплення підготовчих виробок.

За основу технології своєчасного забезпечення процесів підготовки фронту очисних робіт (доставка людей, допоміжних матеріалів та гірничого обладнання до підготовчих вибіїв і монтажних камер) було прийнято головний принцип транспортної логістики «точно в строк» з дотриманням вимог безпеки.

Згідно з наведеним алгоритмом дослідження з вдосконалення методики вибору технологічних схем допоміжного транспорту для своєчасної підготовки виїмкових стовпів до очисного виймання рекомендовано виконувати поетапно.

На практиці конструктивні і експлуатаційні параметри гірничих підготовчих виробок для різних етапів їх життєвого циклу вибираються згідно з діючими нормативними документами з урахуванням параметрів транспортних засобів і максимальних габаритів очисного обладнання, що буде транспортуватися по виробці до монтажної камери. Для аргументації засобів допоміжного транспорту, адаптованих до специфічних умов експлуатації, рекомендовано метод експертної оцінки.

Слід відзначити, що сучасні технології виконання МДР передбачають доставку до монтажних камер негабаритних вантажів (рейки, труби) та секцій механізованого кріплення у складеному вигляді. У зв'язку з цим при доставці нестандартних вантажів до монтажних камер процедура формування системи допоміжного транспорту повинна враховувати не лише особливості і

характеристики транспортних засобів, але й специфіку підготовки нових виїмкових стовпів у складних (екстремальних) гірничо-геологічних умовах.

Для своєчасної підготовки нових виїмкових стовпів удосконалена методика передбачає здійснювати системний вибір засобів транспортування великотоннажних вантажів шляхом експертної оцінки їх критеріїв та експлуатаційних властивостей, а параметри транспортних засобів визначати з урахуванням їх адаптаційних здібностей в реальних умовах шахтного середовища. Передбачено також, що подібний підхід дозволить провести аналіз і синтез різних за природою та структурою експлуатаційних властивостей транспортних машин, тобто виявити та оцінити ступінь впливу різних факторів на ефективність функціонування ТТС.

При виборі способу транспортування гірничого обладнання і виду транспорту до основних критеріїв віднесені:

- мінімальні витрати на транспортування;
- черговість і порядок надходження елементів МК до монтажних камер;
- заданий час доставки вантажу;
- максимальна надійність та безпека;
- здібність доставки негабаритних вантажів у підземних виробках;
- потужність та доступність виду транспорту.

Рекомендований метод експертних оцінок і його базові варіанти традиційно застосовують для прогнозування розвитку технічних систем. За допомогою їх оцінюють фактори, що впливають на прийняття рішень, а також кількісні та якісні показники [40]. Відповідно до структури діяльності шахтних транспортно-технологічних систем проведення підготовчих виробок та виконання МДР найбільш доступним варіантом методу експертних оцінок прийнято метод рангової кореляції. Обраний метод базується на професійних висновках групи кваліфікованих фахівців галузі з багаторічним досвідом експлуатації засобів допоміжного транспорту в специфічних умовах шахт ЗД.

Для визначення найбільш раціонального способу доставки допоміжних матеріалів і обладнання в криволінійних пластових виробках зі знакозмінним профілем шляху кожному експерту  $j$  ( $j = 1, \dots, m$ ) пред'являлась група факторів  $i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) та надавалось право оцінити їх значення і частку, шляхом присвоєння певного рангу. Фактору, що найбільше впливає на вирішення поставленого завдання, надавався найвищий ранг (перший), іншим – другий, третій і т.д., відповідно їх значенням.

В умовах інтенсифікації гірничих робіт при формуванні нових виїмкових стовпів найбільш трудомістким процесом вважається демонтаж секцій механізованого кріплення з відпрацьованої лави і транспортування їх по мережі підземних виробок до монтажної камери нової лави без розбору на складові елементи. У зв'язку з цим було сформовано групу характерних чинників, які безпосередньо впливають на експлуатаційні показники транспортних засобів і їх адаптаційну спроможність. Для незалежної експертної оцінки способу доставки великотоннажних вантажів в підземних виробках складної конфігурації кожному з показників присвоєно відповідний символ.

Наведені в табл. 2.5 параметри оцінки визначають:  $i_1$  - експлуатаційну продуктивність транспортного засобу;  $i_2$  - надійність та безпека;  $i_3$  - можливість одночасного перевезення різнотипних вантажів;  $i_4$  - можливість дистанційного керування процесом транспортування;  $i_5$  - здібність доставки негабаритних вантажів у підземних виробках;  $i_6$  - можливість доставки великотоннажних вантажів;  $i_7$  - можливість застосування у виробках криволінійних у профілі та плані;  $i_8$  - тягове зусилля;  $i_9$  - дотримання заданого часу доставки вантажу;

$i_{10}$  - тривалість вантажно-розвантажувальних робіт;  $i_{11}$  - залежність експлуатаційних параметрів від стійкості порід ґрунту;  $i_{12}$  - залежність експлуатаційних параметрів від стійкості порід покрівлі;  $i_{13}$  - можливість використання як єдиного транспортного засобу;  $i_{14}$  - ступінь збереження доставки вантажів;  $i_{15}$  – змінну продуктивність транспортного засобу.

Таблиця 2.5 – Результати експертної оцінки варіантів доставки великотоннажних вантажів

Параметри оцінки	Варіанти доставки великотоннажних вантажів				
	Електровоз акумулятор- ний	Дорога канатна надгрунтова	Вантажно- доставна машина	Дизельний локомотив із зубчастим зачепленням	Дизельна підвісна монорейкова дорога
	Ранг, привласнений фактору експертом				
i1	1	1	3	3	2
i2	1	3	4	1	2
i3	2	3	1	3	2
i4	2	1	2	1	1
i5	3	3	1	2	2
i6	3	1	3	2	2
i7	3	3	2	1	2
i8	2	1	2	1	1
i9	3	4	3	1	2
i10	3	3	2	2	2
i11	3	2	1	3	1
i12	1	3	2	2	3
i13	2	3	1	4	2
i14	3	3	2	1	1
$\sum_i r_{ij}^* = h_i$	36	35	31	29	27

Підсумок обробки таблиці матриці - підрахунок сум рангів по стовпчикам. Найвпливовішим фактором чи достовірним варіантом буде той, у якого сума рангів найменша. Згідно з рекомендаціями [40] для більш точної кількісної оцінки результатів експертного опитування визначають коефіцієнти узгодженості думок експертів та конкордації.

Коефіцієнт середньої узгодженості  $r$  розраховується за виразом:

$$r = 1 - \left[ \frac{2m(2n+1)12 \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m r_{ij})^2}{(m-1)9n-10m(m-1)n(n^2-1)} \right] \quad (2.14)$$

де  $m$  – кількість експертів, які прийняли участь в анкетуванні;  $n$  – кількість об'єктів, які оцінюються;

Коефіцієнт конкордації  $W$ , який враховує розкид результатів опитування від середнього рівня, розраховується за формулою:

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n a_i^2}{m^2(n^3-n)} \quad (2.15)$$

Водночас

$$a_i = \sum_{j=1}^m \frac{r_{ij}-m(n-1)}{2} \quad (2.16)$$

Обидва коефіцієнти пов'язані між собою співвідношеннями:

$$W = \frac{|r|(m-1)+1}{m}, r = \frac{mW-1}{m-1} \quad (2.17)$$

Значення  $W = 0$  відповідає випадку, коли думки експертів розходяться, при  $W = 1$  думки абсолютно узгоджені.

На практиці узгодженість думок групи незалежних експертів оцінюється рівнем їх значущості, тобто коефіцієнтом конкордації, який визначається згідно з розподілом Пірсона ( $\chi^2$ ).

У загальному випадку:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n a_i^2}{\frac{1}{12mn(n+1)} \frac{1}{(n-1)\sum_j(t_j^2-t_j)}} \quad (2.18)$$

де  $t_j$  - число однакових рангів в рядку  $j$  таблиці-матриці;  $(n-1)$  - число ступенів свободи.

Відповідно до описаної методики, результати експертної оцінки способів доставки великотоннажних вантажів з відпрацьованої лави до монтажної камери нового виїмкового стовпа зведено в таблицю 2.5.

При встановленні коефіцієнта конкордації необхідно і достатньо, щоб розраховане значення

$$\chi^2 - (n-1)mW \quad (2.19)$$

було більше табличного, яке визначається числом ступенів свободи  $n = 1$  та рівнем довірчої ймовірності, що приймається  $0,9...0,95$ .

Дослідженнями [41] доведено, що високопродуктивна робота системи внутрішньошахтного транспорту буде забезпечена при обґрунтованому виборі

транспортного обладнання для конкретних гірничо-геологічних умов та розширенні його функцій залежно від виробничих ситуацій.

Аргументований вибір того чи іншого виду транспорту для специфічних умов шахт ЗД визначається технічними, технологічними та економічними умовами [43]. Слід зазначити, що за кордоном інтенсивно ведуться роботи з впровадження багатофункціонального самохідного вантажно-транспортного обладнання для обслуговування очисних і підготовчих вибоїв та доставки допоміжних матеріалів і обладнання при виконанні МДР в процесі підготовки нових виїмкових стовпів.

Але специфічні умови шахт ЗД, де пластові підготовчі виробки проводяться по породах схильним до здимання, не завжди дозволяють ефективно використовувати альтернативні надґрунтові види транспорту. Наприклад, для забезпечення продуктивної роботи колісних ВДМ як мінімум потрібні стійкий природний ґрунт, або проведення комплексу допоміжних заходів щодо підготовки проїжджої частини транспортної виробки [43].

Наведені результати досліджень особливостей експлуатації рейкових видів транспорту при проведенні пластових похилих виробок з породами підосви схильними до здимання обумовили необхідність розробки для умов шахт ЗД технологічних схем з альтернативними видами транспорту. В зарубіжній практиці для інтенсифікації процесів проведення підготовчих виробок широко використовуються підвісні монорейкові дороги фірми Ferrit [35] з дизельним локомотивом. Доцільність їх впровадження обумовлена тим, що використання колісно-рейкових видів транспорту в умовах інтенсифікації гірничих робіт можливе далеко не на всіх шахтах регіону та її ділянках. Область ефективного використання колісних ВДМ - високі та широкі виробки, міцні породи підосви та незначна (до 600 м) протяжність гірничих виробок.

За результатами експертної оцінки експлуатаційних показників рекомендованих транспортних засобів (таблиця 2.5) для прискореної підготовки

виїмкових стовпів в умовах шахт ЗД, перевагу віддано технологічним схемам доставки великотоннажних вантажів з використанням дизельних підвісних монорейкових доріг. До вагомих показників було віднесено високу адаптаційну здатність дизельних ПДМ нового покоління (рис.2.12), показники якої підтверджуються характеристиками дизель-локомотивів відомих зарубіжних фірм: Ferrit (Чехія), Becker та Scharf (Німеччина).



Рисунок 2.12 – Стендові дослідження адаптаційної здатності ПДМ

При інтенсифікації гірничопрохідницьких робіт в умовах шахт ЗД використання ПДМ з дизельним локомотивом особливо актуальне для доставки великотоннажних вантажів в протяжних підготовчих виробках з великою кількістю поворотів та «вузьких» місць, тобто - в підземних виробках складної конфігурації.

Слід відзначити, що подібне інноваційне технічне рішення вперше в регіоні впроваджено в ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». В специфічних умовах шахти «Степова» для оперативної доставки допоміжних матеріалів, обладнання і людей до гірничопідготовчих і очисних вибоїв використовується підвісна монорейкова дорога з дизельним локомотивом Ferrit DLZ110F (Чехія).



Порівняльні характеристики дизель-локомотивів зарубіжних фірм наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Порівняльні характеристики дизель-локомотивів

Технічні показники	KPCS-148, (Becker) Німеччина	DZL 210F- 5, (Ferrit) Чехія	DZ2000 3+3, (Scharf) Німеччина
Потужність двигуна, макс., <i>кВт</i>	148	142	130
Макс. кут нахилу підвісного шляху, <i>град</i>	30	30	30
Тягове зусилля, <i>кН</i>	80/120	165	120
Максимальна швидкість, <i>м/сек</i>	2,5	2,8	2,6
Витрата палива, <i>г/кВт/ч</i>	229	224	220
Рівень шуму, <i>дВа</i>	80,0	80,0	80,0
Місткість паливного бака, <i>л</i>	150	150	140
Місткість водяного бака охолодження вихлопних газів, <i>л</i>	0-суха замкнута система	0-суха замкнута система	200
Габарити (довжина, ширина, <i>мм</i> )	800/16500	800/16500	800/20960
Повна вага, включаючи паливо, олію, воду, <i>кг</i>	7700	6500	10500
Діаметр приводного ролика, <i>мм</i>	340 чи 395	355 (400)	450

До показників ефективності дизельних ПДМ відносяться їх висока продуктивність та адаптаційна здатність в криволінійних виробках з знакозмінним профілем шляху.

Технічна продуктивність ПДМ з дизельним локомотивом, м<sup>3</sup>/хв:

$$P_T = \frac{60 \times V_{KH} \times K_3}{T_{Ц}} \quad (2.20)$$

де  $V_{KH}$  - номінальна місткість підвісної вагонетки;  $K_3$  – коефіцієнт заповнення підвісної вагонетки;  $T_{Ц}$  - тривалість робочого циклу машин

Експлуатаційна змінна продуктивність ПДМ, м<sup>3</sup>/хв:

$$P_e = \frac{60 \times V_{KH} \times K_3 \times t_{ЗМ} \times K_H}{T_{Ц}} \quad (2.21)$$

де  $K_H$  - коефіцієнт використання ПДМ за часом протягом зміни;  $t_{ЗМ}$  - тривалість зміни.

При використанні дизельних ПДМ важливо враховувати витрати палива  $Q_{\text{дт}}$  та мастил  $Q_{\text{м}}$ .

Проведений аналіз доводить, що поширення області ефективного застосування ПДМ, в якості єдиного транспортного засобу потребує виконання спеціальних досліджень показників впливу транспортного комплексу на гірський масив та кріплення гірничих виробок під час транспортування великотоннажних вантажів, обґрунтування швидкісних режимів роботи та визначення динамічних навантажень на аркове кріплення пластових виробок при транспортуванні негабаритних одиниць техніки.

## **2.5. Обґрунтування напрямів зниження динамічних навантажень на кріплення підготовчих виробок при транспортуванні великотоннажних вантажів**

Висока адаптаційна здатність дизельного локомотива підтверджує висновки експертів, але за відсутності науково-технічного обґрунтування експлуатаційних параметрів потребує виконання спеціальних досліджень щодо удосконалення отриманих показників ТТС в особливих умовах шахт ЗД. Обумовлено це тим, що низька несуча здатність порід навколо дільничних виробок та інтенсивні притоки води накладають значні обмеження на умови транспортування і виключають можливість безпечної доставки обладнання масою понад 8т при виконанні МДР [43].

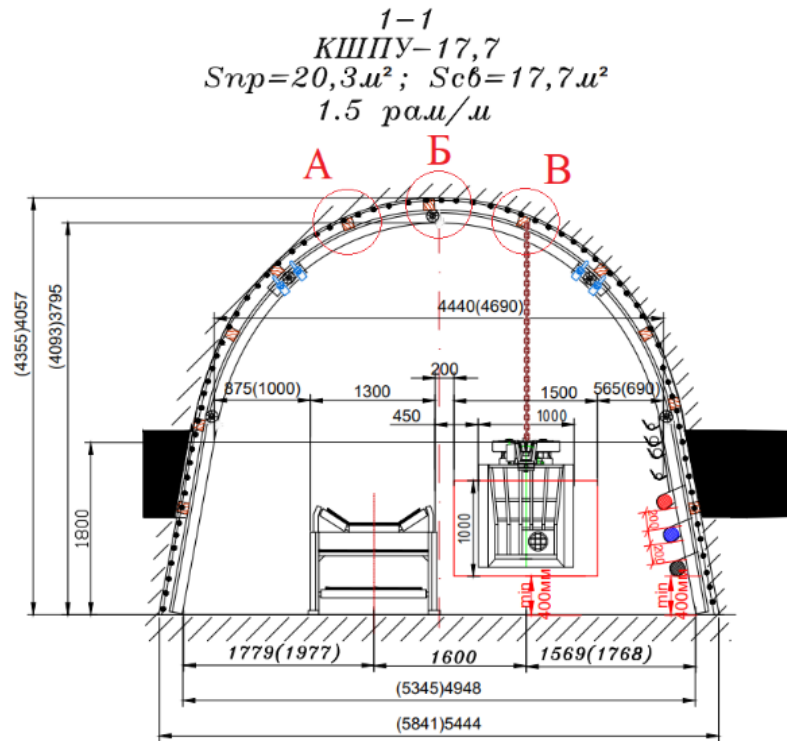
Наведені негативні чинники понижують ефективність роботи транспортних засобів та збільшують терміни підготовки нових виїмкових стовпів, що несе значні збитки від несвоєчасного введення в експлуатацію високопродуктивного видобувного гірничого обладнання. Тому, для своєчасного забезпечення фронту очисних робіт необхідно корегувати темпи проведення пластових підготовчих виробок відносно швидкості посування діючих очисних

вибоїв та враховувати адаптаційну спроможність транспортного обладнання до реальних умов шахтного середовища.

Відповідно [44] технологічні схеми і параметри проведення пластових дільничних виробок, необхідні для своєчасного відновлення фронту очисних робіт, визначаються для конкретного способу підготовки виїмкового стовпа і системи розробки вугільних пластів з урахуванням технічних і експлуатаційних параметрів транспортних засобів та умов для їх продуктивної роботи. В той же час конструктивні і силові параметри, рекомендованих транспортних засобів, повинні бути адаптованими до різноманітних умов експлуатації підготовчих виробок, тобто відповідати вимогам на всіх етапах їх життєвого циклу (при проведенні виробок, виконанні МДР та при очисних роботах).

Досвід експлуатації ПДМ в умовах шахт «Покровська» та ім. «Стаханова» підтверджує [35], що на різних етапах підготовки нового виїмкового стовпа необхідно адаптувати експлуатаційні показники ПДМ до реальних умов шахтного середовища і параметрів підготовчих виробок, які змінюються у просторі і часі.

В традиційних схемах підготовки пластових дільничних виробок монорейковий шлях ПДМ кріпиться до верхняків аркового кріплення типу АКП. В умовах шахт ЗД пластові виробки кріпляться арковим кріпленням типу КШПУ. Варіанти (А, Б, В) можливого кріплення монорейкового постапу ПДМ до рами аркового кріплення КШПУ (рис.2.13), визначаються компоновкою транспортних засобів, що обслуговують виробку, а також їх типом і параметрами.



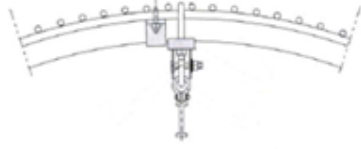

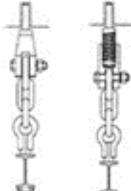
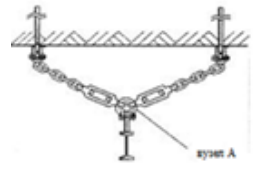
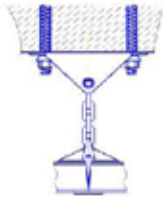
А, Б, В – варіанти можливого кріплення поставу ПДМ.

Рисунок 2.13 – Схеми можливого кріплення поставу ПДМ в пластових дільничних виробках

Дослідженнями [35, 44] встановлено, що для підвищення стійкості підготовчих виробок, оснащених ПДМ, необхідно став монорейкової дороги кріпити до покрівлі додатковими ланцюгами з використанням анкерів. Можливі варіанти кріплення ПДМ до покрівлі підготовчих виробок наведено у таблиці 2.7.

Згідно з структурно-логічною схемою досліджень при обґрунтуванні експлуатаційних параметрів ПДМ для умов шахт ЗД, гірський масив, рамно-анкерне кріплення підготовчих виробок, став монорейкової дороги і анкери для його кріплення слід розглядати як взаємодіючу транспортно-технологічну систему «ПДМ–КВ–ГМ».

Таблиця 2.7 – Варіанти кріплення підвісної монорейкової дороги до покрівлі підготовчих виробок

№	Тип кріплення	Переваги	Недоліки
А)	 жорстке з'єднання з рамно-арковим кріпленням	простота конструкції, малий об'єм матеріалів велика швидкість установки	підвищене навантаження на кріплення
Б)	 жорстке кріплення на одному анкері	малі затрати часу на встановлення, зменшення навантаження на основну покрівлю	низькі показники дозволеного навантаження на 1 секцію
В)	 кріплення ланцюгом до замкового анкера	висока рухливість шляху та менша залежність профілю траси від стану виробки	високі показники по коливанню підвісного складу
Г)	 ланцюгами на двох анкерах	підвищений опір динамічним навантаженням, малі показники коливання рухомого складу	затрати матеріалів та часу на підвішування монорейкового постапу
Д)	 жорстке кріплення на двох анкерах з ланцюгом	високі показники навантаження на секцію	динамічні навантаження на покрівлю при проходженні стикових з'єднань

Попередніми дослідженнями встановлено, що покрівля пластових підготовчих виробок, при експлуатації ПДМ зазнає додаткові динамічні навантаження, які необхідно враховувати при визначенні параметрів рамно-анкерного кріплення. Досягається це шляхом врахування додаткових навантажень на несучі анкери - анкери другого рівня за допомогою яких

монорейковий став ПДМ кріпиться до покрівлі підготовчої виробки. Анкери другого рівня встановлюють між рядами анкерів першого рівня. Кількість анкерів другого рівня в ряді приймається в залежності від ширини  $B$  гірничої виробки. При  $B \leq 5,5$  м – не менше 2 анкерів другого рівня.

Додаткові навантаження на несучі анкери виникають при проходженні ПДМ стикових з'єднань монорейкового ставу, тобто за рахунок збільшення розрахункового питомого навантаження  $P_a$  на величину привантаження  $\Delta P_a$ , яке визначається виразом:

$$\Delta P_a = \frac{P_{\Pi}^{max} k_d}{B C_{\Pi}} \quad (2.22)$$

де  $P_{\Pi}^{max}$  -максимальне статичне навантаження на одну підвіску, кН;  $C_{\Pi}$  -відстань між підвісками ПМД, м;  $k_d$  - коефіцієнт, що враховує вплив на покрівлю динамічних навантажень, що виникають під час перевезення вантажів.

Згідно з рекомендаціями [45 , 46] коефіцієнт динамічного навантаження на анкерне кріплення  $k_d \geq 2$ .

Вибір типу анкерного кріплення, відповідного умовам експлуатації, і необхідні його параметри визначаються з урахуванням розрахункового сумарного навантаження  $P_a + \Delta P_a$ . Тобто, розрахунок параметрів несучих анкерів, які служать для кріплення підвісної монорейкової дороги, проводиться з урахуванням максимальної ваги вантажу, що перевозиться, величини допустимого навантаження на одну підвіску монорейкового шляху і необхідного коефіцієнта запасу, який визначаються виробником ПДМ і враховує можливі динамічні навантаження на ходові візки і підвіски.

Згідно з наведеними рекомендаціями максимальне статичне навантаження на одну підвіску визначається виразом:

$$P_{\Pi}^{max} = \frac{(Q_B^{max} + Q_T)k_T}{q} \quad (2.23)$$

де  $Q_B^{max}$  - максимально-допустима вага вантажу, що припадає на відрізок дороги  $C_{\Pi}$ , кН;  $C_{\Pi}$  – відстань між підвісками, м;  $Q_T$  – сумарна вага навісного обладнання на ділянці дороги, кН;  $k_T$  – коефіцієнт розподілення навантаження від великотоннажного вантажу і обладнання на ходові візки;  $q$  – кількість ходових візків.

Відстань між підвісками  $C_{\Pi}$  - відстань між підвісками ПДМ, тобто ділянка монорейкової дороги, в межах якої відбувається її найбільше навантаження. Визначається кількістю вантажних візків  $q$ , що припадає на неї і розраховується виходячи з технічних характеристик ПДМ, допустимої ваги вантажу, що перевозиться та вантажопідйомності вантажного візка.

Величина коефіцієнта  $k_T$  залежить від кількості ходових візків, що потрапляють на дві суміжні рейки щодо точки підвісу та визначається за виразом:

$$k_T = 1 \text{ при } \frac{L_K}{C_{\Pi}} \geq 1 \quad k_T = 2 - \frac{L_K}{C_{\Pi}} \text{ при } \frac{L_K}{C_{\Pi}} < 1 \quad (2.24)$$

де  $L_K$  – мінімальна відстань між ходовими візками, м;  $C_{\Pi}$  - відстань між підвісками ПДМ, м.

На практиці [43] для доставки нестандартних вантажів ходові візки ПДМ об'єднують між собою в вантажні платформи без урахування максимально допустимих динамічних навантажень, що припадають при транспортуванні на монорейковий став і його підвіски.

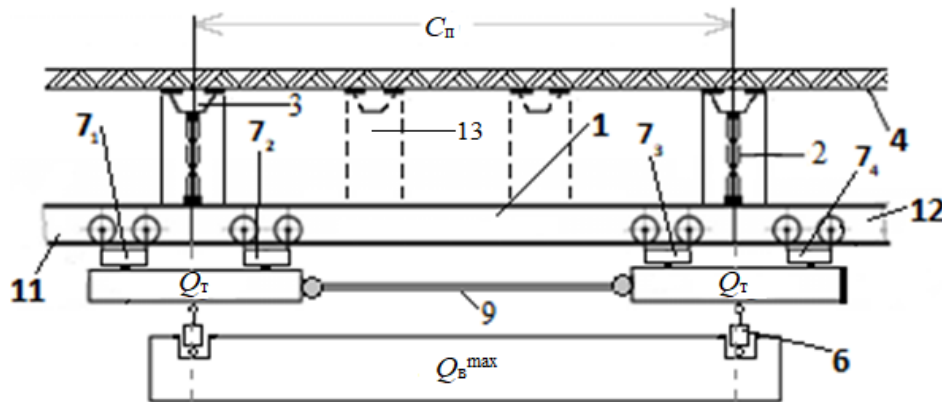
Під підвіскою розуміється конструкція, що складається з розтяжок-підвісів, тобто системи з'єднаних між собою стрижнів, ланцюгів, хомутів, болтів на одну точку кріплення монорейки. Таким чином, одна підвіска може складатися як із однієї, так і з кількох розтяжок (табл. 2.7). Якщо останні сходяться в одній точці кріплення монорейки, то несуча здатність усієї підвіски може не дорівнювати сумі несучих здібностей її окремих розтяжок-підвісів [47].

Подібний підхід не забезпечує перевезення великотоннажних вантажів з сумарною вагою  $Q_B > 8\text{т}$  (пакет рейок, секція механізованого кріплення та ін.) та безпечні умови експлуатації ПДМ.

Результати моделювання умов взаємодії елементів підсистеми «РС-МС» показали, що для транспортування великотоннажних вантажів ходові візки необхідно об'єднувати в вантажні платформи (рис. 2.14), а відстань між їх центрами  $C_{\Pi}$  вибирати такою, щоб виконувалася умова:

$$P_{\Pi}^{\max} k_3 \leq N_{\Pi} \quad (2.25)$$

де  $k_3$  - коефіцієнт запасу,  $N_{\Pi}$  - несуча здатність підвісок.



1 - центральна балка ланцюга монорейки; 2 - підвіси; 3 – несучі арки кріплення; 4 - гірнична виробка;  $Q_B^{\max}$  - великотоннажний вантаж; 6 - гідродомкрати; 7 - ходові візки;  $Q_T$  - спільні вантажні платформи; 9 – з'єднувальна штанга;  $C_{\Pi}$  - відстань між центрами спільних вантажних платформ; 11 та 12 – суміжні ланцюги монорейки; 13 – проміжні арки кріплення.

Рисунок 2.14 – Підійомно-транспортна система монорейкової дороги для транспортування великотоннажних вантажів

Під величиною  $N_{\Pi}$  слід розуміти мінімальне навантаження, при якому відбувається руйнування хоча б одного елемента підвіски, що призводить до виходу з ладу. Коефіцієнт запасу  $k_3$ , що враховує динамічні навантаження системи, визначається виробником ПДМ та приймається рівним не менше трьох.

Якщо наведена нерівність (2.25) не виконується, необхідно зменшити вагу вантажу  $Q_B^{\max}$  або збільшити несучу здатність підвісок  $N_{\Pi}$ . Досягається це шляхом



об'єднання ходових візків в вантажні платформи, які в сукупності формують підйомно-транспортну систему (ПТС). При цьому сумарна вага вантажу та навісного обладнання  $Q_{\text{в}}^{\text{max}} + Q_{\text{т}}$ , що припадає на вантажні візки, не повинна перевищувати несучу здатність підвісок  $N_{\text{п}}$ . Наведена на рис. 2.14 ПТС монорейкової дороги зображає розподіл навантаження від великотоннажного вантажу на вантажні платформи і підвіси монорейкового поставу, що розташовані один від другого на відстані  $C_{\text{п}}$ .

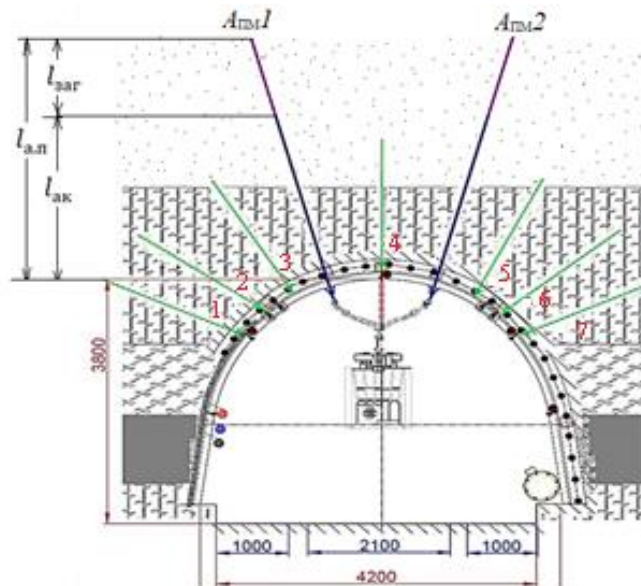
Таким чином для транспортування великотоннажних вантажів в криволінійних підземних виробках означена проблема вирішується шляхом формування високоадаптивної ПТС. Конструктивні особливості рекомендованої ПТС дозволяють зменшити максимальне навантаження на монорейку за рахунок перерозподілу загальної ваги на дві спільні вантажні платформи, кожна з яких об'єднує по два ходових візки.

По результатам моделювання умов взаємодії елементів ПТС при транспортуванні великотоннажного вантажу по монорейковому поставу було встановлено, що вимоги [46] щодо максимально допустимого прогину монорейкового ланцюга  $f_{\partial} \leq L/200$  забезпечуються шляхом перерозподілу сумарного вантажу на вантажні платформи та корегування відстані між їх центрами.

При переміщенні по монорейковому поставу, сформованої таким чином високоадаптивної ПТС, відбувається перерозподіл та одночасне саморегулювання статичного навантаження з центральних частин ланцюгів монорейковому поставу 1 на суміжні ланцюги 11 та 12, що забезпечує необхідну несучу здатність монорейкового поставу, допустимий прогин його та експлуатаційну надійність. Як наслідок, зменшення навантаження на несучі арки кріплення 3 незалежно від ваги вантажу та забезпечення їх несучої здатності, та безпечних умов при транспортуванні великотоннажних вантажів в період МДР.

Визначена відстань між підвісками монорейкового поставу  $C_{\Pi}$  (рис. 2.14), визначає крок установки анкерів для його кріплення, що відповідає вимогам [46] і забезпечує несучу здатність ланок монорейкового поставу ПДМ при транспортуванні великотоннажних вантажів.

Для ефективного використання ПДМ в специфічних умовах шахт ЗД рекомендовано комбіновану схему рамно-анкерного кріплення покрівлі підготовчої виробки з використанням спеціальних анкерів для підвісок монорейкового поставу. Комбінована схема рамно-анкерного кріплення підготовчої виробки та розташування анкерів для кріплення підвісок монорейкового поставу ( $A_{\Pi M}$ ) наведена на рис. 2.15.



1-7 – анкери для кріплення покрівлі гірничої виробки;  $A_{\Pi M 1}$ ,  $A_{\Pi M 2}$  - анкери кріплення підвісок монорейкового поставу ПДМ.

Рисунок 2.15 – Схема розташування анкерів для кріплення монорейкового поставу ПДМ

Відповідно до рекомендацій [35] розглядається схема підвішування монорейкового поставу ПДМ до покрівлі підготовчих виробок ланцюгами на двох анкерах (табл. 2.7, г).

По результатам моделювання умов взаємодії елементів підсистеми «КВ-РС» встановлено, що необхідна несуча здатність анкерів підвісок  $N_{ап}$ , які

застосовуються для кріплення монорейкового постапу ПДМ до порід покрівлі підготовчої виробки, визначається їх конструктивними особливостями та параметрами, що забезпечують максимально допустимі динамічні навантаження при транспортуванні великотоннажних вантажів:

$$N_{\text{ап}} \geq \frac{N_{\text{п}}}{n_{\text{ап}}k_3} \quad (2.26)$$

де  $N_{\text{п}}$  - несуча здатність підвісок монорейкового постапу;  $n_{\text{ап}}$  - крок установки анкерів підвісок монорейкового постапу ( $A_{\text{ПМ}}$ );  $k_3$  - коефіцієнт запасу міцності анкерів підвісок.

За знайденою величиною  $N_{\text{ап}}$  вибирається відповідний їй діаметр анкерних стрижнів. Експериментально доведено, що довжина анкерів підвісок монорейкової дороги  $l_{\text{а.п}}$  (II рівня) має бути більше довжини анкерів  $l_{\text{ак}}$  (I рівня), встановлених для кріплення покрівлі гірничої виробки. Необхідна величина  $l_{\text{а.п}}$  розраховується за виразом:

$$l_{\text{а.п}} = l_{\text{ак}} + l_{\text{заг}} \quad (2.27)$$

де  $l_{\text{ак}}$  - розрахункова довжина анкерів першого рівня для кріплення порід покрівлі виробки;  $l_{\text{заг}}$  - величина заглиблення анкерів підвісок ПМД над анкерами першого рівня, яка приймається рівною не менше 0,5 м для II типу покрівлі за обрушуванням, і не менше 1,0 м для I, III і IV типу покрівлі за обрушуванням.

Ширину склепіння порід  $l_c$ , що утворюється над виробкою розраховується за формулою [49]:

$$l_c = 2a + \frac{2h}{\tan \frac{90+\Psi}{2}} \quad (2.28)$$

де  $2a$  - ширина виробки по підосві, м;  $\Psi$  - кут внутрішнього тертя гірських порід (приймається за даними геологічної розвідки);  $h$  - висота виробки, м.

$$l_{\text{а.п}} > l_c \quad (2.29)$$

Розрахувавши довжину анкерів  $l_{a.п}$  (II рівня) та ширину склепіння порід  $l_c$ , що утворюється над виробкою перевіряємо умову (2.29), якщо вона виконується приймаємо довжину анкерів другого рівня, якщо ні то збільшуємо  $l_{заг}$  у формулі (2.27).

З наведених у табл. 2.7 конструкцій кріплення підвісок монорейкового постапу доцільно використовувати рекомендовану для шахт ЗД технологію рамно-анкерного кріплення підготовчих виробок з використанням канатних анкерів підвищеної несучої здатності, розроблених Центром анкерного кріплення ІГТМ НАН України ім. Н.С. Полякова [48].

Застосування ПДМ з елементами високоадаптивної ПТС та рекомендовані технічні рішення щодо комбінованої схеми кріплення монорейкового постапу і транспортних виробок відповідають вимогам своєчасної підготовки нових виїмкових стовпів і розглядаються як перспективний напрям по удосконаленню діючих схем допоміжного транспорту для шахт регіону.

При інтенсивному відпрацюванні вугільних пластів лавами, що посуваються по повстанню (падінню), своєчасна підготовка нових виїмкових стовпів потребує підвищення темпів проведення протяжних дільничних виробок і розрізних печей та обладнання їх транспортними засобами, відповідними умовам експлуатації.

В специфічних умовах шахт ЗД протяжні підготовчі виробки зі складною гіпсометрією пласта піддаються інтенсивному впливу тектонічних порушень, прояви яких виражаються змінами параметрів пластових виробок і рейкових шляхів, що створює додаткові вимоги до їх експлуатації.

Дослідженнями експлуатаційних показників дільничних виробок, обладнаних надґрунтовими видами транспорту, встановлено, що на своєчасну підготовку нових виїмкових стовпів істотно впливає низька пропускна спроможність діючих транспортно-технологічних схем при виконанні МДР. В

зарубіжній практиці гірничого виробництва альтернативу надгрунтовим видам транспорту складають підвісні монорейкові дороги з дизельним локомотивом.

Для обґрунтування області ефективного використання інноваційних напрямів в специфічних умовах шахт регіону експлуатаційні показники транспортно-технологічної схеми з використанням підвісних монорейкових доріг вперше розглядались як складна взаємодіюча система «ПДМ-КВ-ГМ».

## **Висновки по розділу 2**

1. На підставі аналізу та синтезу переваг та недоліків діючих в галузі технологічних схем допоміжного транспорту виконана оцінка показників ефективного використання засобів допоміжного транспорту для швидкісного проведення підготовчих виробок в умовах шахт Західного Донбасу.

2. Для поширення функцій колісно-рейкових видів транспорту, що традиційно використовуються в регіоні та підвищення показників їх експлуатаційної надійності при проведенні обводнених протяжних підготовчих виробок з породами підшоши, здібними до здимання, визначені напрями удосконалення їх тягових характеристик шляхом введення зубчастої передачі та модернізації гальмівної системи.

3. Проведені комплексні дослідження експлуатаційних параметрів та адаптаційних показників високотехнологічного самохідного обладнання, що широко застосовується в зарубіжній практиці проведення та експлуатації підготовчих виробок. Встановлені адаптаційні показники вантажо-доставних машин нового покоління в реальних умовах шахтного середовища та область раціонального застосування технологічних схем допоміжного транспорту з використанням ВДМ в специфічних умовах підприємств вугільної галузі.

4. Проведено експертну оцінку традиційних та альтернативних видів транспорту, що дозволило аргументувати засоби допоміжного транспорту для

прискореної підготовки запасів в специфічних умовах шахт ЗД та визначити напрями підвищення їх адаптації до реальних умов експлуатації.

5. Обґрунтовано напрями зниження динамічних навантажень на кріплення підготовчих виробок при транспортуванні великотоннажних вантажів. Рекомендована технологія транспортування великотоннажних вантажів виключає додаткові допоміжні роботи на пунктах навантаження, перевантаження і розвантаження, що зменшує витрати часу на їх виконання і надає можливість безпечного транспортування секцій МК до монтажних камер без розбору їх на складові елементи.

### Перелік використаних джерел за розділом 2

1. Інформація ТОВ «ДТЕК». (2009) *Аналіз втрат часу під час проведення очисних робіт та проведення гірничих виробок на шахтах ВАТ «Павлоградвугілля» за 2009 рік*. С.11.

2. Yuan, R.; Fletcher, T.; Ahmedov, A.; Kalantzis, N.; Pezouvanis, A.; Dutta, N.; Watson, A.; Ebrahimi, K. (2020). Modelling and Co-simulation of hybrid vehicles: A thermal management perspective. *Appl. Therm. Eng.*, 180, 115883. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115883>

3. Булгаков, Ю.Ф. (2012). Охорона праці у вугільній промисловості. *РІАДонНТУ*: Донецьк.

4. Belencov, V.N., Dzherik, K.G., Kucheba, P.K (2000). О выборе оптимального варианта развития горнопроходческих работ по подготовке освоения горизонта. *Ugol Ukrainy*: 8, 23-28.

5. СОУ-П 10.1.00185790.014:2009. (2009). Технологічні схеми відпрацювання газоносних пластів з великими навантаженнями на очисні вибої. *Стандарт Мінвуглепрому України*. Київ.

6. Денищенко, О.В. (2007). Підвищення ефективності шахтного допоміжного транспорту. *Науковий вісник НГУ*, 10, 21-26.
7. Issever, H.; Aksoy, C.; Sabuncu, H.; Karan, A. (2003). Vibration and Its Effects on the Body. *Med. Princ. Pract.*, 12, 34–38. <https://doi.org/10.1159/000068155>
8. Денищенко, О.В., Посунько, Л.М., Ширін, А.Л., Кечін, М.О. (2016). Спосіб транспортування гірничої маси та допоміжних матеріалів під час проведення виробок. Патент №111802 на винахід (Україна/Дніпропетровськ. заяв. 27.04.2015; опубл. 10.06.; Бюл. №11). Державний ВНЗ «НГУ». №а201504053.
9. Pytlik, A. (2019) Tests of steel arch and rock bolt support resistance to static and dynamic loading induced by suspended monorail transportation. *Stud. Geotech. Mech*, 41, 81–92. <https://doi.org/10.2478/sgem-2019-0009>
10. НПАОП 10.0-1.01-10. (2010). *Правила безпеки у вугільних шахтах*. Затверджено наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 №62. Київ.
11. Spiryagin M, George A, Sun YQ, et al. (2013). Investigation on the locomotive multibody modelling issues and results assessment based on the locomotive model acceptance procedure. *J Rail Rapid Transit*, 227(5), 453–468. <https://doi.org/10.1177/0954409713494945>
12. Verstraete, M.L., Rocca, B.A., Mook, D.T. et al. (2019). A co-simulation methodology to simulate the nonlinear aeroelastic behavior of a folding-wing concept in different flight configurations. *Nonlinear Dyn* 98, 907–927. <https://doi.org/10.1007/s11071-019-05234-9>
13. Уніфіковані типові перетини гірничих виробок. (1971). *Будівельник*: Київ. С.415.
14. Коптовець О.М., Коровяка Є.А., Яворська В.В., Ширін Л.Н., Барташевський С .Є. (2023). Проектування транспортних систем і комплексів гірничих підприємств. Дніпро: Журфонд. С.296.

15. Ступнік, М.І., Калініченко, О.В., Калініченко, В.О. (2012). Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування самохідної техніки на шахтах Кривбасу. *Науковий вісник Національного гірничого університету*: 5, 39–42.
16. Malcev, D.V., Nomenko, O.E. (2013). *Tehnologiya podzemnoj rozrabotki uranovyh rud burovzryvnyum sposobom*. Monografiya. NGU: Dnepropetrovsk.
17. Malcher, M.A., Gyubner, G.E. (2008). Samohodnyj gruzovoj transport na pnevmohodu. *Gornoe oborudovanie i elektromehanika*: 8, 42–45.
18. Косенко, А. В. (2017). Удосконалення та обґрунтування проектних рішень у разі застосування самохідної навантажувально-доставочної техніки на технологічному процесі доставки рудної маси (на прикладі шахти 173 «Октябрська» ПАТ «Кривбасзалізрудком»). *Молодий вчений*: 2(42), 183–190.
19. Muchiri, P., Pintelon, L. (2008). Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. *International journal of production research Vol. 46*: (13), 3517–3535.
20. Ступнік, М.І., Калініченко, В.О., Тарасютін, В.М. (2016). Підвищення ефективності технологічного процесу випуску і доставки руди на базі використання самохідної навантажувально-доставочної техніки в складних геомеханічних умовах шахт Кривбасу. *Вісник Криворізького національного університету*: 41, 141–146.
21. Shyrin, L., & Iniutkin, I. (2018). Substantiating operational parameters of loadhaul-dumpers in the context of irregular-shaped underground mine workings. *In E3S Web of Conferences (60)*, 36. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000036>
22. Shirin, L., Inyutkin, I., Herasymenko, A. (2022). Problems and prospects of self-propelled delivery equipment use in terms of uranium deposit development. *Актуальні проблеми уранової промисловості: X Міжнар. наук.-практ. конференція*. Алмати, Республіка Казахстан. (1), 98 – 104.



23. Інюткін, І.В. (2020). Тенденції розвитку транспортно-технологічних процесів розробки уранових родовищ з застосуванням самохідного обладнання нового покоління. *Science and practice of today: матеріали ІХ міжнародної наук.-практ. конф.* Туреччина, Анкара, 641 – 644.
24. Расцветаев, В.А., Посунько, Л.М., Дятленко, М.Г., Ширін, А.Л. (2010). Комплексна оцінка транспортно-технологічних схем комбайнового проведення підготовчих виробок за умов шахт Західного Донбасу. *Проблеми гірничої справи та екології гірничого виробництва. V міжнар. наук.-практ. конф.* Антрацит, Україна, 41 – 48.
25. Бондаренко, В.І., Ілляшов, М.А., Руденко, Н.К., Саллі, С.В (2012). Організація та планування очисних та підготовчих робіт. НГУ: Дніпропетровськ. С.334.
26. Company “Dynapac”. (1995). Compaction and laying of road materials. Theory and practice. *Publishing House “Test-Print”*: Sweden. P.92.
27. СОУ 10.1.00185790.007. (2006). *Транспорт шахтний локомотивний. Перевезення людей і вантажів в виробках з ухилом від 0,005 до 0,05 %.* Загальні технічні вимоги. Київ: Мінвуглепром України.
28. Біліченко, М.Я., Денищенко, О.В. (2010). *Зниження енергоспоживання на шахтному транспорті.* Монографія. Національний гірничий університет: Дніпропетровськ. С.75. ISBN 978-966-350-246-5
29. Герасименко, А.О. (2020). Розширення сфери ефективного застосування шахтного локомотивного транспорту. *Наука III тисячоліття : пошуки, проблеми, перспективи розвитку. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції.* БДПУ: Бердянськ. (1), 173-174.
30. Коптовець О.М., Ширін Л.Н, Яворська В.В., Герасименко А.О. (2023). Ідентифікація та дослідження характеристик фрикційних коливань у гальмі. *Збірник наукових праць НГУ:* 73, 33 – 44.

31. Chichinadze, A.V. (2001). *Fundamentals of tribology (wear, friction, lubrication)*. M.: Mashinostroenie. P.240.
32. Pro vnesennia zmin i dopovnen do Rozdilu "Vuhilna promyslovist" Vypusk 5 "Hirnychodobuvna promyslovist" Dovidnyka kvalifikatsiinykh kharakterystyk profesii pratsivnykiv. (2013). *Nakaz N 710 vid 02.10.2013r.* Kyiv: Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0710732-13#Text>
33. Krukovskiy, O., Bulich, Y., & Zemlianaia, Y. (2019). Modification of the roof bolt support technology in the conditions of increasing coal mining intensity. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 109, p. 00042). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900042>
34. Hrechyshkyn, P. V., Pozolotyn, A. S., Balandyn, N. N., & Zaiatdynov, D. F. (2013). Zastosuvannia kanatnykh ankeriv dlia montazhu monoreikovykh pidvisnykh dorih. *Vuhillia Ukrainy*. (4), 25-26. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr\\_2013\\_4\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2013_4_7)
35. Dumitriu, M.; Gheți, M.A.; Cruceanu, I.C. (2020). Experimental Analysis of the Vertical Vibration of the Railway Bogie during Braking. *Procedia Manuf.*, 46, 49–54. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.03.009>
36. Shashenko, A. N., Solodyankin, A. V., & Martovickij, A. V. (2012). Upravlenie ustojchivostyu protyazhennykh vyrabotok glubokih shaht: *Monohrafiia*. Dnipropetrovsk: OOO «LizunovPress». S.382.
37. Peng, S. S., Du, F., Cheng, J., & Li, Y. (2019). Automation in US longwall coal mining: A state-of-the-art review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.005>
38. Rastsvietaiev, V. O. (2014). Dodatkovi navantazhennia vid pidvisnykh monoreikovykh dorih na arochne kriplennia vyrobok v umovakh shakht Zakhidnoho Donbasu. *Heotekhnichna mekhanika*, (117) 53-59. <http://geotm.dp.ua/attachments/article/2480/09.pdf>

39. Hutarevych, V. O. (2012). Matematychna model pidvisnogo shliakhu shakhtnoi monoreikovoi dorohy. *Naukovi pratsi DonNTU*. Donetskyi natsionalnyi tekhnichnyi universytet, 2(24), 61-69. [ISSN 2073-7920](https://doi.org/10.15687/2073-7920)
40. Hrabovetskyi, B. Ye. (2010). Metody ekspertnykh otsinok: teoriia, metodolohiia, napriamky vykorystannia: *Monohrafiia*. Vinnytsia: VNTU. S.171. <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/324>
41. Shyrin, L. N., Rastsvietaiev, V. O., Lebid, O. L. (2013). *Sposib rozrobky polohykh vuhilnykh plastiv*. Patent No 100607, Ukraina. <http://uapatents.com/7-100607-sposib-rozrobki-pologikh-vugilnikh-plastiv.html>
42. Spiryagin, M.; Persson, I.; Wu, Q.; Bosomworth, C.; Wolfs, P.; Cole, C. (2018). A co-simulation approach for heavy haul long distance locomotive-track simulation studies. *Veh. Syst. Dyn.*, 57, 1363–1380. <https://doi.org/10.1080/00423114.2018.1504088>
43. NPAOP. (2011). *Vymohy bezpeky do tekhnolohii vykonannia robit z montazhu ta demontazhu mekhanizovanykh kompleksiv dlia polohykh ta pokhylykh plastiv*. Luhansk: Vuhlemekhanizatsiia. [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=210138](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=210138)
44. Shyrin, L. N., Koroviaka, Ye. A., Posunko, L. M., Rastsvietaiev, V. O., & Sharina, V. C. (2018). Poshyrennia oblasti efektyvnoho zastosuvannia pidvisnykh monoreikovykh dorih v umovakh vidpratsiuvannia pokhylykh vuhilnykh plastiv. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, (55), 255-266. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu\\_2018\\_55\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2018_55_27)
45. SOU 10.1.05411357.012:2014. (2014) Instruksiiia z proektuvannia kombinovanoho ramno-ankernoho kriplennia hirnychykh vyrobok. *Standart Minenerhovuhillia Ukrainy*. Kyiv. <https://regulation.gov.ua/documents/id214495/tasks>
46. SOU 10.1.05411357.010:2014. (2014) Systema zabezpechennia nadiinoho ta bezpechnoho funktsionuvannia hirnychykh vyrobok iz ankernym kriplenniam. Zahalni tekhnichni vymohy. *Standart Minenerhovuhillia Ukrainy*. Kyiv.

[https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/sistema\\_zabezpechennya\\_nadiyn\\_ogo\\_ta\\_bezpechnogo\\_funkcionuvann.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/sistema_zabezpechennya_nadiyn_ogo_ta_bezpechnogo_funkcionuvann.pdf)

47. Herasymenko, A.O., Rastsvietaiev, V.O., Shyrin, A.L. (2023). Selection of the means of auxiliary transportation facilities and adaptation of their parameters to specific operation conditions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*: 2, 40–46. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/040>

48. Bulat, A. F., Popovych, I. M., Vivcharenko, O. V., & Krukovskyi, O. P. (2014). Tekhnolohiia ankernoho kriplennia hirnychkykh vyrobok na shakhtakh Ukrainy: stan i perspektyvy. *Vuhillia Ukrainy*, (2), 3-7. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr\\_2014\\_2\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2014_2_2)

49. Li, G.; Ma, F.; Guo, J.; Zhao, H. (2021). Case Study of Roadway Deformation Failure Mechanisms: Field Investigation and Numerical Simulation. *Energies*, 14, 1032. <https://doi.org/10.3390/en14041032>

50. Bondarenko, V. I., Kovalevska, I. A., Symonovych, H. A., & Chervatiuk, V. H. (2012) Heomekhanika navantazhennia kriplennia ochysnykh ta pidhotovchykh vyrobok u sharuvatomu masyvi slabkykh porid: *Monohrafiia*. Dnipropetrovsk: LizunovPres. S.232. [ISBN 978-966-2575-13-2](https://doi.org/10.3390/en14041032)

## **РОЗДІЛ 3 АДАПТАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ МОНОРЕЙКОВОГО ТРАНСПОРТУ ДО СПЕЦИФІЧНИХ УМОВ ПРОВЕДЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПЛАСТОВИХ ПІДГОТОВЧИХ ВИРОБОК**

### **3.1 Аналіз процесів гірничого виробництва і характеристик вантажопотоків, що визначають вибір засобів допоміжного транспорту**

Технологія проведення гірничих виробок базується на виконанні взаємопов'язаних у просторі і часі основних процесів гірничого виробництва: порушення масиву гірських порід, кріплення гірничих виробок і видалення гірничої маси за межі привибійного простору. Стабільне виконання основних процесів гірничого виробництва забезпечують підсистеми допоміжного транспорту, вентиляції, енергозабезпечення та ін.

В специфічних умовах шахт ЗД взаємовплив основних і допоміжних процесів гірничого виробництва особливо виявляється при інтенсивному відпрацюванні вугільних пластів.

На шахтах регіону при проведенні пластових підготовчих виробок з породами підосви, здібними до здимання, постійно виникають проблеми щодо забезпечення їх перерізу та стійкості, транспортування гірничої маси та своєчасної доставки допоміжних матеріалів, обладнання і людей до об'єктів виробництва.

Традиційні надгрунтові транспортні засоби за своїми конструктивними особливостями не забезпечують необхідних темпів підготовки.

Обумовлено це тим, що низька несуча здатність порід навколо дільничних виробок та інтенсивні притоки води накладають значні обмеження на умови транспортування і безпеки доставки великотоннажного обладнання. Наведені негативні чинники понижують ефективність роботи транспортних засобів та збільшують терміни підготовки нових виїмкових стовпів, що несе значні збитки від несвоєчасного введення в експлуатацію високопродуктивного видобувного гірничого обладнання. Тому, для своєчасного забезпечення фронту очисних робіт

необхідно підтримувати у належному технічному стані пластові підготовчі виробки та враховувати адаптаційну спроможність транспортного обладнання до реальних умов шахтного середовища.

Відповідно [1] технологічні схеми і параметри проведення пластових дільничних виробок, необхідні для своєчасного відновлення фронту очисних робіт, визначаються для конкретного способу підготовки виїмкового стовпа і системи розробки вугільних пластів з урахуванням технічних і експлуатаційних параметрів транспортних засобів та умов для їх продуктивної роботи. В той же час конструктивні і силові параметри, рекомендованих транспортних засобів, повинні бути адаптованими до різноманітних умов експлуатації підготовчих виробок, тобто відповідати вимогам на всіх етапах їх життєвого циклу.

В зарубіжній практиці при інтенсивній розробці вугільних пластів означена проблема вирішується шляхом впровадження ПДМ з дизельним локомотивом. В той же час систематичне подовження транспортних маршрутів і зміни гірничотехнічних умов розробки вугільних пластів з нестійкими породами покрівлі вимагають вирішення низки питань, що негативно впливають на технічний стан транспортних виробок та експлуатаційні показники ПДМ. До таких показників слід віднести швидкість руху ПДМ і динамічні навантаження від великотоннажних вантажів, що транспортуються по монорейковому поставу.

Слід відзначити, що в специфічних умовах деяких шахт ЗД для оперативної доставки допоміжних матеріалів, обладнання і людей до гірничопідготовчих і очисних вибоїв використовується підвісна монорейкова дорога з дизельним локомотивом Ferrit DLZ110F. Високі адаптаційні показники дизельного локомотива підтверджують висновки експертів, але за відсутності науково-технічного обґрунтування експлуатаційних параметрів виникає потреба виконання спеціальних досліджень щодо розробки вимог до адаптації ПДМ в особливих умовах шахт ЗД.

Необхідність виконання останнього обумовлена тим, що з пониженням глибини розробки вугільних пластів для кріплення дільничних виробок на шахтах ЗД інтенсивно впроваджується рамно-анкерне кріплення, яке відноситься до змішаного кріплення, що представляє собою поєднання анкерного кріплення з рамним металевим. Поєднання цих кріплень дозволяє використовувати позитивні якості анкерного і рамного кріплень і забезпечувати надійну підтримку слабометаморфизованих гірських порід. За допомогою спеціальних металевих стяжок або підхватів анкерне та металеве кріплення з'єднують в одну вантажонесучу систему.

Фахівцями ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова для специфічних умов шахт ЗД розроблено і впроваджено у виробництво технологію рамно-анкерного кріплення підготовчих виробок, яка активно використовується у даний час [2]

Досвід експлуатації ПДМ в умовах шахти «Покровська» показав, що динамічні навантаження від ПДМ при традиційних схемах кріплення монорейкової траси до верхняків металевих арок викликають деформації покрівлі, елементів рамного кріплення та монорейкового постапу (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Стан несучих арок при традиційному кріпленні монорейкового постапу

Дослідженнями [3, 4] встановлено, що для підвищення стійкості підготовчих виробок, оснащених ПДМ, необхідно став монорейкової дороги

додатково кріпити до покрівлі з використанням анкерів спеціального призначення. Для кріплення монорейкової траси до основної покрівлі рекомендується використовувати анкери другого рівня (глибокого залягання). Результати попередніх досліджень підтвердили, що використання даної технології зниження динамічних навантажень від транспортування великотоннажних вантажів дозволить зберегти технічний стан пластових виробок і їх пропускну здатність в складних умовах підготовки нових виїмкових стовпів.

Структурно-логічною схемою досліджень передбачено, що на підґрунті факторного аналізу особливостей кріплення монорейкового поставу та відповідності рекомендованих ТТС до гірничотехнічних умов проведення гірничих виробок будуть виявлені «вузькі місця» у технологічних схемах та їх потенційні резерви.

### **3.2 Особливості кріплення монорейкового поставу підвісних монорейкових доріг в пластових дільничних виробках**

Досвід експлуатації ПДМ в умовах шахт «Покровська» та ім. «Стаханова» підтверджує [3], що на різних етапах підготовки нового виїмкового стовпа необхідно адаптувати експлуатаційні показники ПДМ до реальних умов шахтного середовища і параметрів підготовчих виробок, які змінюються у просторі і часі.

При виконанні МДР рекомендована швидкість руху підвісних дизельних ПДМ по дільничним транспортним виробкам становить 2 м/с [5]. Однак інтенсивний розвиток очисних робіт на шахтах ЗД потребує постійного скорочення темпів підготовки нових виїмкових стовпів і термінової доставки різноманітних вантажів до підготовчих вибоїв та монтажних камер. Попередніми дослідженнями встановлено, що в подібних умовах експлуатації ПДМ виникають неконтролюємі виробничі ситуації, які провокують динамічні навантаження на



взаємодіючі елементи транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ», що потребує виконання процедур щодо екстреного гальмування рухомого складу. Залежно від профілю шляху, маси вантажу, що перевозиться, і швидкості руху екстрене гальмування ПДМ призводить до перерозподілу динамічних навантажень на елементи системи «ПДМ-КВ-ГМ» та руху порід покрівлі [3].

Згідно з дослідженнями [6] динамічне навантаження надає вирішальний вплив на збереження стійкості аркового кріплення. Проведені авторами випробування елементів сталевого арочного та анкерного кріплення на міцність при статичному та динамічному навантаженні показали, що стійкість опорних елементів арок залежить від маси рухомого складу, місця і способу кріплення монорейкового постапу і знижується із збільшенням швидкості ПДМ.

Дослідження стійкості аркового кріплення в виробках з ПДМ показали, що динамічні навантаження в стикових з'єднаннях монорейкового постапу провокують деформації верхняків несучих арок і вміщуючих їх порід покрівлі [7]. Доведено також, що при динамічних навантаженнях початок руху податливих елементів аркового кріплення відбувався при меншому зусиллі, ніж потрібно при статичному навантаженні.

За даними [8] для зниження динамічних навантажень максимальна швидкість рухомого складу ПДМ не повинна перевищувати 1,4 м/с. Рух транспортного засобу зі швидкістю  $\geq 2,8$  м/с призводить до повного зношування шарніра, в першу чергу через ослаблення гайок скоби. Такий стан призводить до втрати стійкості кріплення і аварійних ситуацій при використанні ПДМ.

В зарубіжній практиці використання ПДМ для зменшення динамічних навантажень на кріплення рекомендують монорейковий підвішувати до покрівлі виробок за допомогою анкерів.

Слід відзначити, що дотепер відсутні нормативні положення і галузеві рекомендації щодо використання типових схем анкерного кріплення монорейкового постапу ПДМ до порід покрівлі виробок з відповідними фізико-

механічними властивостями. Більш того в існуючих нормативних документах не розглядається вплив швидкості руху складу ПДМ на технічний стан транспортних виробок.

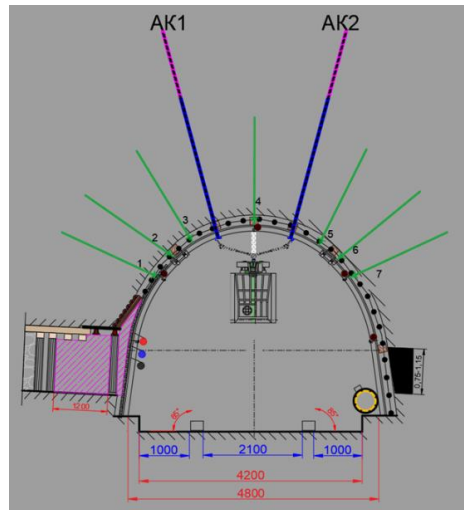
Результати досліджень [8] анкерного кріплення при динамічному навантаженні демонструють зниження показників міцності анкерів на 16 % по відношенню до статичного навантаження. При швидкостях до 1,17 м/с анкерне кріплення зберігає свої властивості. Зріз стрижня анкера починає відбуватися лише за швидкості 1,25 м/с, максимальна сила зсуву становила 213 кН. При більш високих швидкостях сила зростала, доки не досягла значення 229 кН, що дорівнювало максимальним зусиллям, отриманим при статичному навантаженні.

Попередніми дослідженнями НТУ «ДП» встановлено, що в умовах інтенсифікації гірничих робіт традиційне кріплення поставу ПДМ до верхняків рам аркового кріплення негативно впливає на умови їх взаємодії з породами покрівлі та технічний стан транспортно-технологічної системи.

За результатами аналізу [9, 10] для забезпечення безпеки під час руху підвісної монорейки зі швидкостями, що перевищують 2 м/с, рекомендується використовувати кріплення яке відповідатиме рекомендаціям щодо стійкості до динамічних навантажень.

З урахуванням вимог щодо експлуатації ПДМ в специфічних умовах шахт ЗД рекомендовано обґрунтувати принцип дії, параметри і конструкцію технологічної схеми двохрівневого рамно-анкерного кріплення пластових підготовчих виробок з використанням високотехнологічних анкерів для формування траси монорейкового поставу (рис.3.2).

Згідно з структурно-логічною схемою досліджень при розрахунках експлуатаційних параметрів ПДМ в реальних умовах шахт ЗД, гірський масив, рамно-анкерне кріплення підготовчих виробок, постав монорейкової дороги і анкери для його кріплення рекомендовано розглядати як взаємодіючу транспортно-технологічну систему «ПДМ-КВ-ГМ».



1-7 – анкери першого рівня для кріплення нестійких порід покрівлі; АК1, АК2 – анкери другого рівня для закріплення монорейкового постапу ПДМ до стійких порід покрівлі.

Рисунок 3.2 – Схема двохрівневого рамно-анкерного кріплення виробки і монорейкового постапу ПДМ

Дослідженнями ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова та НТУ «ДП» для специфічних умов шахт ЗД розроблено і впроваджено у виробництво технологія рамно-анкерного кріплення підготовчих виробок. Наукові напрацювання [34] щодо рамно-анкерного кріплення враховані в типових проєктах проведення пластових виробок з використанням традиційних для шахт регіону колісно-рейкових транспортних засобів – надгрунтових канатних доріг та шахтних локомотивів.

При проведенні пластових виробок з використанням ПДМ в специфічних умовах шахт регіону будуть виникати проблеми щодо забезпечення технічного стану монорейкового постапу та кріплення порід покрівлі. Тому, для безпечного транспортування великотоннажних вантажів ПДМ рекомендовано удосконалити поширену в ЗД технологію рамно-анкерного кріплення виробок шляхом введення нових конструктивних елементів, що знижують динамічні навантаження на рами аркового кріплення і безпосередню покрівлю, яка переважно представлена слабкими нестійкими породами.

Результати оцінки традиційного анкерного кріплення з механічним з'єднанням представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Традиційне анкерне кріплення з механічним з'єднанням

Анкерне кріплення	Конструкція	Особливості	Переваги	Недоліки
Металевий Клінораспорний анкер ШК-1м		Напівмуфти з внутрішньої сторони мають звуження і виконані з двостороннім ухилом, а клин штанги — плоским.	простота конструкції, надійність у роботі, невисока вартість, висока несуча здатність	наявність труби, високе навантаження на основний (базовий) матеріал у зоні розпірної втулки, неможливість демонтажу та повторного використання
Металевий анкер із самозаклинювальною головкою АД-1		при встановленні анкера в шпурі клин ковазюють один по одному і розпираються в стінках шпуру, що забезпечує закріплення анкера.	простота встановлення та обслуговування, навантаження на основний матеріал, більший розпір	невисока надійність при динамічних навантаженнях, велика довжина анкера, великі діаметри шпурів.
Анкер із розпірним замком АР-2м		для закріплення анкера в шпурі необхідно застосовувати настановну трубу	швидкість установки та висока надійність, універсальність, за рахунок великого розпору можливість монтажу як у міцних основах, так і в матеріалах низької міцності	високий об'єм витрат матеріалів, суттєво висока вартість, великі діаметри шпурів
Натяжний анкер з розрізним розпірним замком КАС		для шпурів малого діаметра (28-30 мм) із зменшеними розмірами замку	витрата металу в 1,5 рази, на 30% знижується вартість, швидкість буріння збільшується на 60% і скорочується споживання електроенергії	несуча здатність та неможливість використання у слабких породах, великі навантаження в базовому матеріалі високі вимоги щодо крайової та осьової відстані

З метою поширення області ефективного використання ПДМ нового покоління була сформована програма комплексного моделювання умов взаємодії складових елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ» з використанням методів математичного аналізу технічних систем та програмного комплексу SolidWorks Simulation.

### **3.3. Розробка методики досліджень умов взаємодії рухомого складу підвісних монорейкових доріг з арковим кріпленням підготовчих виробок**

Широке впровадження на шахтах ЗД механізованих очисних комплексів нового покоління обумовило необхідність інтенсифікації темпів підготовки запасів вугілля до очисного виймання.

Згідно з діючими нормами проектування вугільних шахт темпи проведення підготовчих виробок для своєчасної підготовки нових виїмкових стовпів повинні перевищувати на 25% швидкість руху виїмкових вибоїв [1].

Обумовлено це тим, що в умовах інтенсивної розробки вугільних пластів транспортно-технологічне оснащення нових виїмкових стовпів енергоємними комплексами очисного обладнання здійснюється не за рахунок резервних лавокомплектів, а шляхом перемонтажу секцій механізованого кріплення з відпрацьованої лави в своєчасно підготовлену монтажну камеру.

Дослідженням експлуатаційних параметрів транспортно-технологічних схем і процесів своєчасної підготовки запасів вугілля до очисного виймання присвячені роботи декількох поколінь науковців [7, 10]. У наведених роботах теоретично і експериментально доведено, що в специфічних умовах шахт ЗД при інтенсифікації гірничопідготовчих робіт (ГПР) доцільно застосовувати у прямолінійних дільничних виробках надґрунтові канатні дороги, а у криволінійних дільничних виробках з важким профілем колії – ПДМ нового покоління [3, 11].

У багатьох роботах вітчизняних та зарубіжних авторів питання своєчасної підготовки запасів вугілля до очисного виймання переважно розглядаються з позицій підвищення стійкості покрівлі в монтажних і демонтажних камерах або облаштування камер спеціальним обладнанням для безпечного виконання МДР [12, 13].

За вказаних причин на вітчизняних підприємствах вугільної галузі повільно впроваджуються у виробництво зарубіжний досвід і технологічні схеми підготовки запасів до очисного виймання з використанням новітніх технологій проведення підготовчих виробок і монтажних камер з використанням ПДМ з дизельними локомотивами високої адаптаційної здатності.

Використання ПДМ в якості єдиного транспортного засобу при розробці вугільних пластів значно підвищує темпи проведення пластових дільничних виробок на шахтах вугільної галузі. Але при традиційних схемах кріплення монорейкового постапу ПДМ до аркового кріплення і інтенсивних деформаціях гірських порід суттєво змінюються умови експлуатації і технічний стан транспортного обладнання. Дослідженнями [3, 14] встановлено, що при транспортуванні великотоннажних вантажів по деформованому монорейковому постапу виникають динамічні навантаження, які провокують порушення аркового кріплення і обвалення порід покрівлі. В умовах інтенсифікації гірничих робіт традиційні технологічні схеми допоміжного транспорту вважаються найбільш вразливими до змін шахтного середовища і потребують розробки та впровадження інноваційних технічних рішень щодо підвищення їх технічного стану і адаптаційної здатності [15]. Доцільність виконання подібних рішень обумовлена необхідністю транспортування великотоннажних вантажів (секції механізованого кріплення, вузли комбайна та ін.) до монтажних камер та низькою адаптаційною здатністю діючих надгрунтових видів рейкового транспорту в специфічних умовах шахтного середовища.

У зарубіжній практиці розробки вугільних пластів високопродуктивними комплексами очисного обладнання подібні проблеми вирішуються шляхом впровадження альтернативних видів допоміжного транспорту та методик визначення їх технічного стану [16]. На даний час одним з найперспективніших видів транспорту в вугільній галузі є підвісні монорейкові дизельні локомотиви, експлуатаційні показники яких необхідно визначати по результатам взаємодії їх елементів у складі транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ».

Експериментально підтверджено, що на даний період параметри взаємодії елементів технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» малодосліджені [17]. У зв'язку з цим проблеми оперативного контролю технічного стану монорейкової траси дільничних виробок і визначення їх максимально допустимих динамічних навантажень в реальних умовах шахтного середовища вимагають виконання спеціальних шахтних спостережень та теоретичного обґрунтування.

Для дослідження параметрів взаємодії рухомого складу підвісних монорейкових доріг з арковим кріпленням підготовчих виробок можливо застосувати натурні, лабораторні, а також теоретичні методи дослідження. Основним методом дослідження є натурний, однак існують труднощі пов'язані з реєстрацією та спостереженням за проявами динамічних навантажень. В цьому випадку шахтний експеримент може лише слугувати критерієм достовірності отриманих результатів за допомогою теоретичного (чисельного) методу [18].

Лабораторні дослідження мають переваги в штучному створенні взаємозв'язків та виводу необхідних даних. Найбільш науково обґрунтованим і ефективним є метод фізичного моделювання. Область ефективного застосування методів фізичного моделювання процесів у гірському масиві при видобуванні корисних копалин викладено в роботах [8, 19, 20].

У даний час у зарубіжній практиці теоретичних досліджень технічного стану підземних виробок і гірничого обладнання широко застосовують математичні моделі з використанням комп'ютерних технологій.[21, 22].

Найбільшого поширення набули метод скінченних елементів (МСЕ) та метод дискретних елементів (МДЕ). Диференційні рівняння при використанні даних методів можуть бути обчислені на потужній комп'ютерній техніці.

При використанні МСЕ процес моделювання і вивчення явища стає значно простішим. Математичне моделювання використовується для вирішення просторових задач, забезпечуючи високу точність і достовірність отриманих результатів.

На сучасному етапі розвитку чисельних методів розв'язання диференціальних рівнянь найбільш повно відповідає вимогам МСЕ.

Для вирішення поставленої задачі прийнято метод математичного моделювання за допомогою комп'ютерних технологій та обраного програмного комплексу.

На сьогодні існує велика кількість програмних комплексів, які працюють на основі МСЕ. Серед них можна відзначити Ansys, Phase-2, SolidWorks, ZSOIL, ПК ЛПА, OpenFOAM та Multi Body System (MBS). Ці програмні комплекси мають свої переваги та недоліки, а також підходи до вирішення поставлених задач.

Враховуючи, що об'єктом дослідження є транспортно-технологічна система «ПДМ-КВ-ГМ», визначення умов взаємодії рухомого складу підвісних монорейкових доріг з арковим кріпленням підготовчих виробок розглядалось шляхом використання просторової неоднорідної математичної моделі.

Для реалізації поставленого завдання до означених програмних комплексів були сформовані наступні вимоги:

- можливість моделювати неоднорідний шаруватий масив гірських порід;
- задавати моделюючому шару порід різноманітні фізико-механічні властивості;
- розв'язувати задачі в просторовій постановці;
- враховувати особливості взаємодії елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ».



Для вирішення поставлених завдань дисертаційного дослідження було вибрано програмний комплекс SolidWorks Simulation.

Інтегрований із з SolidWorks додаток Simulation це скінчено-елементний комплекс, який створений компанією Dassault Systemes спеціально для спільного використання з системою твердотілого параметричного моделювання SolidWorks. Комплекс являє собою відкриту систему модулів, призначених для вирішення задач міцності, стійкості, динаміки конструкцій, а також задач оптимізації, гідростатики й електромагнітного випромінювання.

У додатку Simulation використовується AccuStress – сучасна технологія побудови скінчено-елементних сіток з урахуванням характерних особливостей геометрії об'єкта дослідження. Програма Simulation повністю інтегрована в SolidWorks і доступна для використання в області аналізу на міцність.

Накопичений досвід транспортування великотоннажних вантажів по розгалуженим мережам дільничних виробок дозволив визначити коло завдань, щодо виконання спеціальних досліджень, таких як:

- особливості зміни профілю траси монорейкового постапу під впливом динамічних навантажень та деформацій ГМ;
- наслідки прогинів балок монорейкового постапу;
- характер впливу навантажень при проходженні стикових з'єднань та центрів балок монорейкового постапу.

За результатами шахтних досліджень стану траси ПДМ встановлено, що основними причинами порушення стану аркового кріплення є ділянки гірничих виробок з знакозмінним профілем, які викликають підвищенні динамічні навантаження під час транспортування великотоннажних вантажів. До негативних факторів також слід віднести аварійні гальмування, які провокують динамічні перевантаження у балках монорейкового постапу та передають їх арковому кріпленню дільничних виробок. Експериментально доведено, що в означених місцях порушень технічного стану монорейкового постапу

здійснюються посилені динамічні навантаження на ГМ та аркове кріплення, які негативно впливають на процес транспортування і пропускну здатність транспортних виробок.

Методика моделювання МСЕ умов взаємодії елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ» за допомогою програмного продукту SolidWorks Simulation включає в себе виконання наступних етапів:

- ідентифікації моделі;
- формування вихідних даних для створення геометрії моделі;
- визначення характеристик матеріалу моделі;
- встановлення параметрів навантаження, обмежень та сітки моделі;
- визначення й обробка результатів величин динамічних навантажень за зміною напруженого стану матеріалу моделі навколо монорейкового поставу;
- визначення й обробки результатів величин динамічних навантажень на анкери 2 рівня навколо несучих арок;
- визначення й обробка результатів величин динамічних навантажень на анкери за зміною напруженого стану матеріалу моделі навколо несучих арок.

Ідентифікація моделі виконана шляхом вирішення задачі для крайових умов тріщинуватого масиву, що відповідає лінійному анізотропному типу моделі. Особливістю ідентифікації є відтворення головних напружень розтягання-стискання, що виникають у тріщинуватому масиві порід навколо несучих арок під дією динамічних навантажень при транспортуванні великотоннажних вантажів, за якими встановлювали прогин монорейкової траси та величини навантаження на анкери 2 рівня і несучі арки.

### 3.4 Моделювання навантажень на монорейковий став підвісних доріг при транспортуванні великотоннажних вантажів

Комплексне моделювання складної системи «ПДМ-КВ-ГМ» є досить важким завданням. Тому було вирішено поділити дослідження на декілька етапів. На першому етапі методики моделювання була розглянута підсистема «рухомий склад - монорейковий постав» («РС-МС»).

По результатам оцінки отриманих фактичних даних про величини деформацій монорейкового поставу та моделювання просторового положення транспортної траси із застосуванням програмного комплексу SolidWorks Simulation були визначені особливості взаємодії елементів транспортно-технологічної підсистеми «РС-МС» та запаси їх міцності для характерних умов експлуатації. Встановлено, що найбільш схильними до механічних руйнувань від дії деформацій гірського масиву та динамічних навантажень є несучі арки та центри ланок шахтного монорейкового поставу (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Механічні руйнування верхняків аркового кріплення від дії динамічних навантажень ПДМ

Отримані фактичні данні про умови взаємодії елементів підсистеми «РС-МС» створили базу даних для моделювання їх технічного стану. Методикою комплексних досліджень передбачалось, що застосування програмного

комплексу SolidWorks Simulation дозволить встановити особливості транспортування великотоннажних вантажів по шахтній монорейковій підвісній дорозі і розробити нові підходи щодо зниження динамічних навантажень на балки монорейкового постапу та несучі арки кріплення гірничих виробок.

Дослідженнями експлуатаційних параметрів шахтних ПДМ [4, 23] встановлено, що для зменшення динамічних навантажень на кріплення та гірський масив траса ПДМ повинна мати:

- витриманий профіль траси монорейкового постапу ПДМ з допустимими її ухилами;
- рівномірне розподілення динамічних навантажень по трасі монорейкового постапу;
- мінімально допустимий прогин ланок монорейкового постапу.

У зв'язку з цим методика моделювання динамічних навантажень на елементи підсистеми «РС-МС» передбачає:

- моделювання процесу розвитку напружено-деформованого стану в лінійних частинах монорейкового постапу в типових, нетипових і екстремальних шахтних умовах;
- встановлення зон прогину монорейкового постапу ПДМ в процесі негативного впливу від транспортування одиниць великотоннажного вантажу;
- розробку моделі руху ПДМ при транспортуванні великотоннажних вантажів по деформованим частинам шахтної підвісної монорейкової дороги.

Згідно з рекомендаціями [15] вирішення поставлених завдань виконується поетапно.

На першому етапі для визначення технічного стану траси підвісних монорейкових доріг формується база вихідних даних, яка включає параметри просторового положення траси в межах гірничої виробки, фізико-механічні властивості сталевих двотавру, що знаходиться в експлуатації, а також показники негативних чинників шахтного середовища.

До негативних чинників відносяться деформації порід покрівлі, які призводять до вимушеного просторового зміщення монорейкової траси від проектного положення, фізико-механічні властивості великотоннажних вантажів під час транспортування.

Основними джерелами інформації для збору вихідних даних служать проектна, будівельна та експлуатаційна документація шахт [22, 23], результати моніторингу та діагностики технічного стану монорейкової траси, а також виконаних спеціальних досліджень особливостей деформації гірського масиву в реальних умовах шахтного середовища.

Відповідно до програми та методики комплексних досліджень для отримання вихідної інформації виконувався аналіз технічного стану підвісної монорейкової транспортної системи та напружено деформованого стану (НДС) її елементів, визначались найбільш навантажені ділянки монорейкової траси та їх реальна міцність, а також встановлювалась відповідність розрахункових показників запасу міцності цих ділянок нормативним.

Відповідно до рекомендацій [26] просторові зміни траси підвісних монорейкових доріг розглядались з урахуванням ізотропних властивостей і фізико-механічних характеристик сталевих двотаврів, які деформуються в усіх напрямках однаково. У зв'язку з цим деформації матеріалу сталевих двотаврів в процесі просторової зміни траси шахтних підвісних доріг розглядались ідентично, але з урахуванням впливу поведінки масиву гірських порід.

Для формування вихідних даних про характер поведінки елементів підсистеми «РС-МС» в реальних умовах шахтного середовища та аналізу НДС траси монорейки була прийнята лінійно-пружна модель матеріалу двотавра, а параметри пружних властивостей матеріалу ( $G$ ) описані стандартними технічними характеристиками, такими як модуль Юнга і коефіцієнт Пуассона [26]:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} \quad (3.1)$$

де  $E$  - модуль Юнга;  $\nu$  - коефіцієнт Пуассона.

Сформований банк даних дозволив дати критичну оцінку рівня навантажень, вплив яких призводить до пластичної деформації та руйнування цілісності двотаврової конструкції.

У фундаментальних дослідженнях [25] для опису моделей деформацій монорейкової траси і практичних розрахунків застосовують гіпотезу про енергію формозміни Губера-Мізеса-Генки, а еквівалентні напруження визначаються залежністю:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_4)^2} \quad (3.2)$$

де  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$  - головні значення тензора напружень.

Згідно з (3.2) еквівалентні напруження, що виникають в лінійних частинах двотавру, зумовлюють перехід матеріалу в пластичний стан і при ( $\sigma_i = \sigma_T$ ) досягають межі текучості, а при ( $\sigma_i = \sigma_\sigma$ ) межі міцності і провокують руйнування конструкції.

Таким чином було встановлено, що наведена модель пластичності може бути успішно використана в якості критерія при визначенні граничних станів і руйнувань двотаврових конструкцій.

Для математичного моделювання умов взаємодії системи «РС-МС» монорейкова траса була представлена у вигляді стрижня довжиною  $L$ , закріпленого з двох сторін і прикладеним навантаженням ( $F$ ). Енергія деформацій двотавру визначається залежністю:

$$\delta V = \frac{1}{2} EL \left( \frac{d\theta}{dx} \right)^2 \delta x \quad (3.3)$$

де  $E$  - модуль пружності.

Потенційна енергія вигнутого стрижня визначається виразом:

$$V = U - \frac{1}{2} F \int_0^l \varphi^2 dx \quad (3.4)$$

де  $U$  - потенційна енергія деформацій;  $F$  - стискаюча сила.

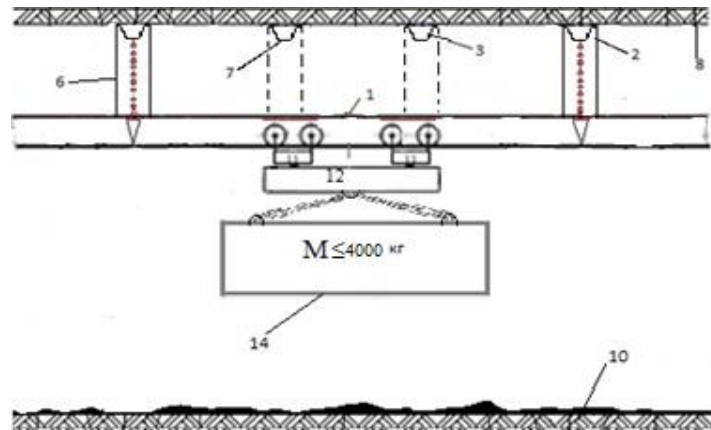
Попередніми дослідженнями [28] встановлено, що в результаті деформацій гірського масиву та динамічних навантажень відбуваються просторові зміни траси шахтної монорейкової дороги, що призводить до підвищення сили ударів при проходженні стикових з'єднань, прогину ланок монорейкового ставу та, як наслідок, до зниження пропускної здатності ТТС.

Відповідно до розробленої методики програмного моделювання режимів роботи ПДМ, отримані за результатами досліджень данні послужили базою для моделювання лінійних деформацій траси ПДМ та його вузлових з'єднань під впливом динамічних навантажень при транспортуванні великотоннажних вантажів.

В процесі моделювання деформована ділянка двотавру та гірнична виробка в програмі SolidWorks Simulation розглядаються комплексно. Використовуючи МСЕ [29], програма дозволила виконати структурний аналіз поведінки системи при динамічних навантаженнях та прогнозувати технічний стан ланок монорейкового поставу в реальних умовах шахтного середовища. Методикою досліджень передбачено сформованими САД-моделями, встановити гранично допустимі прогини та напруження в стикових з'єднаннях ділянок траси [30, 31].

Для моделювання умов взаємодії елементів технічної підсистеми «РС-МС» в середовищі САПР за еталон була прийнята існуюча підготовча прямолінійна

ділянка шахти «Степова» ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» траси підземних монорейкових доріг в період її експлуатації рис. 3.4.



1 – ланцюг монорейкового поставу; 2 – несучі рами; 3 – проміжні рами; 6 – підвіс; 7 – верхняк акового кріплення; 8 – покрівля; 9 – ходові візки; 10 – підшова; 12 – вантажні платформи; 14 – великотоннажний вантаж.

Рисунок 3.4 – Традиційна транспортно-технологічна схема підвішування монорейкового поставу до верхняків аркового кріплення

Модельована ділянка, викривленої в профілі траси монорейкової дороги, складається з ланок двотаврів довжиною 3,0 м. Двотаври для підвісу ПДМ, що поставляються шахтам, виготовлені з простої легованої сталі без спеціального покриття. Фізико-механічні властивості матеріалу двотавру, що розглядаються в сформованих САД-моделях, наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні властивості легованої сталі

Властивості	Значення	Одиниці виміру
Модуль пружності	2,1e+11	Н/м <sup>2</sup>
Модуль зсуву	7,9e+10	Н/м <sup>2</sup>
Масова щільність	7800	кг/м <sup>3</sup>
Межа міцності при розтягуванні	800000000	Н/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт Пуассона	0,28	
Межа плинності	590593984	Н/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт теплового розширення	1,1e-0,5	
Теплопровідність	14	W/(м·K)
Питома теплоємність	440	Н/м <sup>2</sup>



Згідно з методикою моделювання підсистеми на другому етапі необхідно встановити вихідні навантаження  $p$ , обмеження та сітку моделі. Згідно з [15] навантаження  $p$  на елемент підсистеми «РС-МС» дорівнює:

$$p = \frac{(Q_B + Q_T)k_d}{q} \quad (3.5)$$

де  $Q_B$  - вага вантажу, кН;  $Q_T$  – сумарна вага навісного обладнання на ділянці дороги, кН;  $k_d$  – коефіцієнт динамічності;  $q$  – кількість ходових візків.

Згідно з рекомендаціями коефіцієнт динамічного навантаження на монорейковий постав  $k_d \geq 2$ , та залежить від швидкості ПДМ.

На початковому етапі розглядалась традиційна компоновка РС при умові транспортування великотоннажних вантажів за рекомендаціями заводів виробників з урахуванням навантаження на ходові візки до 4000 кг.

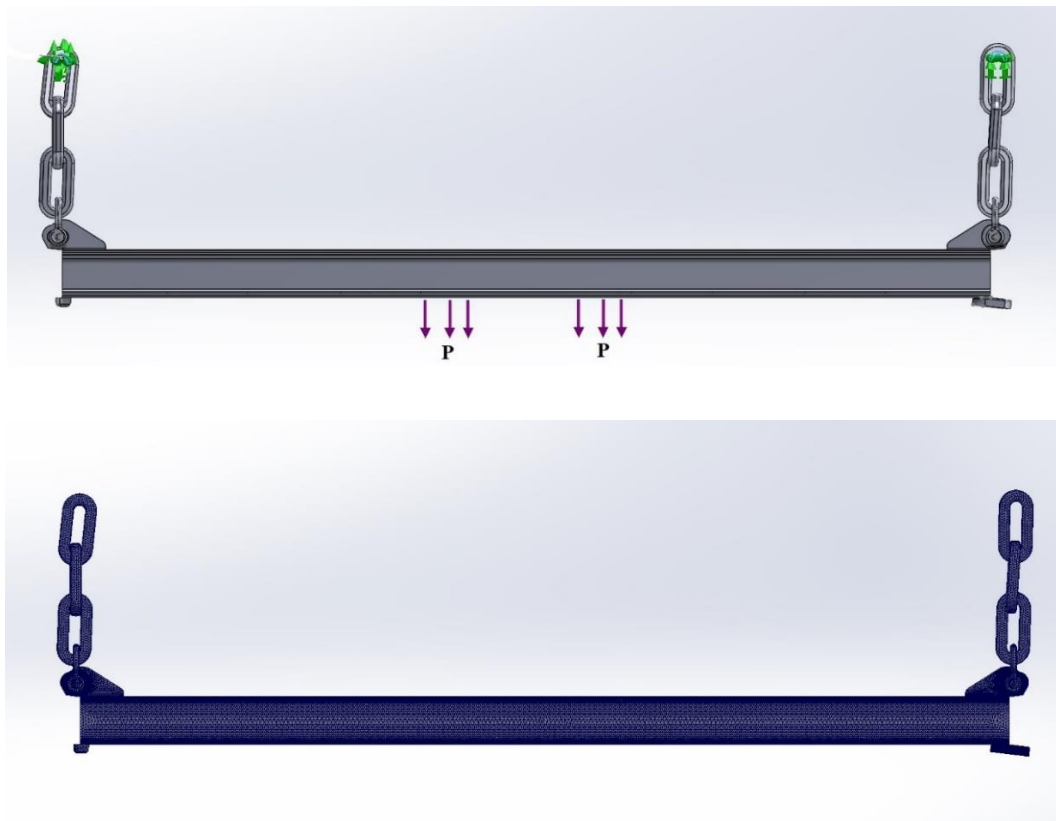


Рисунок 3.5 – Вихідні обмеження, навантаження та сітка скінчених елементів при традиційному способі транспортування

За результатами оцінки технічного стану шахтних підвісних монорейкових доріг було встановлено, що найбільш схильними до деформацій ділянками є стикові з'єднання та центри ланок монорейкового поставу. В теоретичних дослідженнях умов взаємодії елементів технічної підсистеми «РС-МС» при транспортуванні великотоннажних вантажів монорейковий став ПДМ був розподілений на характерні зони з найбільшими динамічними навантаженнями (рис.3.6). Для розрахунку навантажень і деформацій в характерних вузлах монорейкового поставу зони стикових з'єднань ланцюгів сталевих двотаврів за допомогою МСЕ розбивались на поелементні сітки.

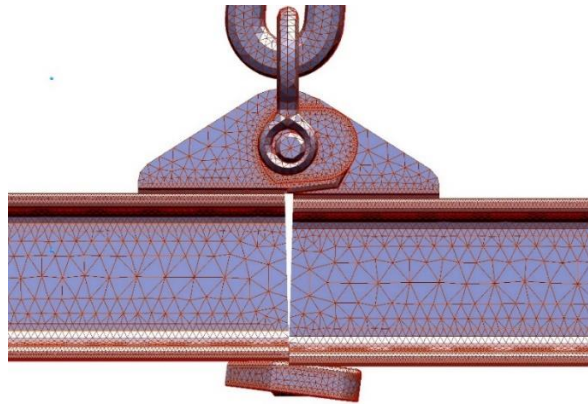


Рисунок 3.6 – Сітка скінчених елементів технічної підсистеми «РС-МС»

В представленій моделі для встановлення навантажень і параметрів профілю монорейкової траси були використані реальні показники динамічних навантажень при транспортуванні великотоннажних вантажів традиційним способом та за допомогою підйомно-транспортної системи (ПТС).

Застосований для моделювання технічного стану монорейкової траси програмний комплекс SolidWorks Simulation дозволив встановити інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$ , максимальні деформації в лінійних частинах монорейки, а також зони еквівалентних деформацій. На рис. 3.7 наведено прогин балки монорейки при транспортуванні великотоннажних вантажів традиційним способом.

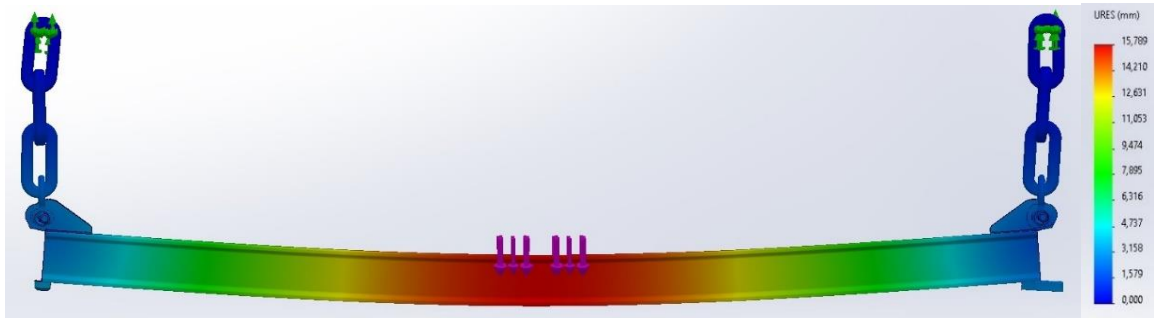


Рисунок 3.7 – Прогин балки монорейки при транспортуванні великотоннажних вантажів традиційним способом

На рис. 3.8 наведені інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$ , що виникають у центрах монорейкового постапу в результаті дії динамічних навантажень від транспортування великотоннажних вантажів традиційним способом. Отримані інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  надають інформацію, достатню для оцінки надійності конструкції для багатьох пластичних матеріалів.

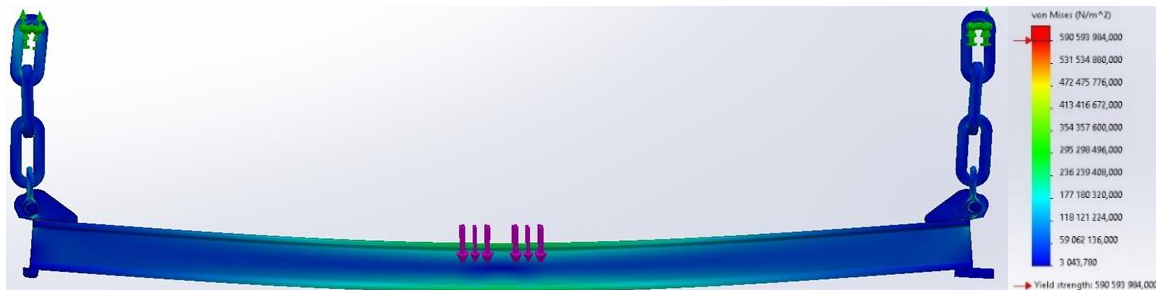


Рисунок 3.8 – Інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  балки монорейкової траси від транспортування великотоннажних вантажів традиційним способом

Наведені на рис.3.8 напруження за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  обчислюються на основі шести компонентів:

$$\sigma_{\text{VON}} = \{0.5 \cdot [(SX - SY)^2 + (SX - SZ)^2 + (SY - SZ)^2] + 3 \cdot (TXY^2 + TXZ^2 + TYZ^2)\}^{(1/2)} \quad (3.6)$$

де  $\sigma_{\text{von}}$  - напруження Von Mises;  $SX$  - нормальне напруження по  $X$ ;  $SY$  - нормальне напруження по  $Y$ ;  $SZ$  - нормальне напруження по  $Z$ ;  $TXY$  - зрушення по  $Y$  в

площині  $YZ$ ;  $TXZ$  - зрушення по  $Z$  в площині  $YZ$ ;  $TYZ$  - зрушення по  $Z$  в площині  $XZ$ .

Або, що еквівалентно, виходячи з трьох головних напружень:

$$\sigma_{\text{VON}} = \{0.5 \cdot [(P1 - P2)^2 + (P1 - P3)^2 + (P2 - P3)^2]\}^{(1/2)} \quad (3.7)$$

де  $P1$  - перше головне напруження (найбільше);  $P2$  - друге головне напруження;  $P3$  - третє головне напруження.

За результатами оцінки отриманих інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  встановлено, що найбільш схильними до руйнування є центри ланцюгів двотаврових балок, напруження в яких досягають  $413 \text{ МН} / \text{м}^2$ .

Для перерозподілу динамічних навантажень з центральних частин ланцюгів монорейкового поставу на суміжні ланцюги розроблено і подано заявку на патент України [32]. Ідея полягає в перерозподілі динамічних навантажень з центральних частин ланцюгів монорейковому поставу на суміжні ланцюги, що забезпечить необхідну несучу здатність монорейкового поставу, допустимий його прогин та експлуатаційну надійність при транспортуванні великотоннажних вантажів.

Програмний комплекс SolidWorks Simulation дозволив встановити інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$ , максимальні деформації в лінійних частинах монорейки, а також зони еквівалентних деформацій та показники запасу міцності монорейкового поставу в умовах використання ПТС.

Згідно з методикою моделювання підсистеми «РС-МС» на останньому етапі необхідно встановити вихідні навантаження  $p$ , обмеження та сітку моделі при використанні ПТС. Навантаження  $p$  на елемент підсистеми розраховується за формулою (3.5) даного розділу. Прогин визначається за допомогою програмного комплексу SolidWorks Simulation.

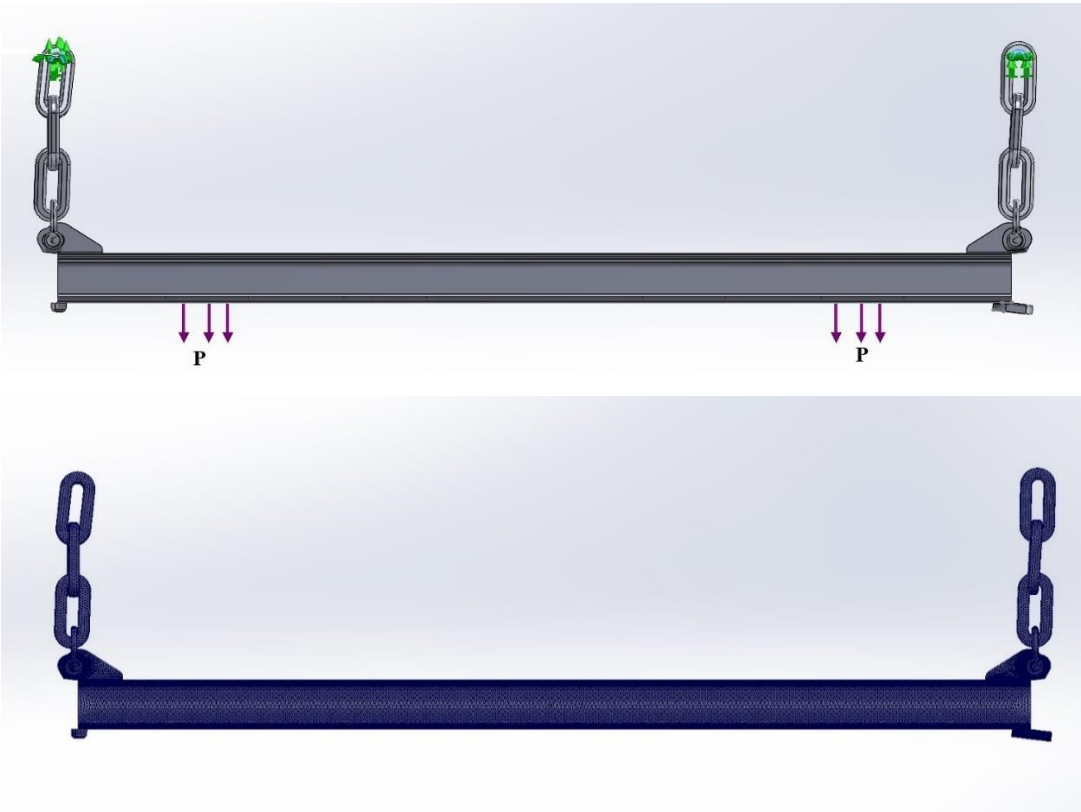


Рисунок 3.9 – Вихідні обмеження, навантаження та сітка скінчених елементів при використанні ПТС

На рис. 3.10 наведені інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$ , що виникають у центрах монорейкового поставу в результаті дії динамічних навантажень від транспортування великотоннажних вантажів ( $M \geq 16000$  кг) за допомогою ПТС.

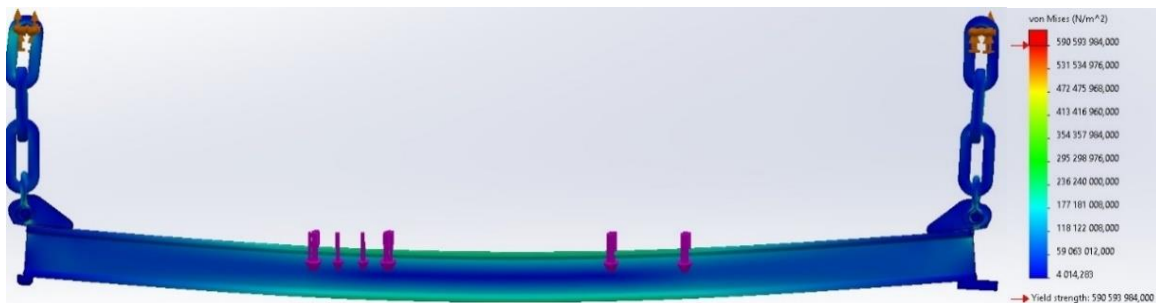


Рисунок 3.10 – Інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  напруження балки монорейкової траси від транспортування великотоннажних вантажів за допомогою ПТС

На рис. 3.11 наведено прогин балки монорейки при транспортуванні великотоннажних вантажів ( $M \geq 8000$  кг) за допомогою ПТС.

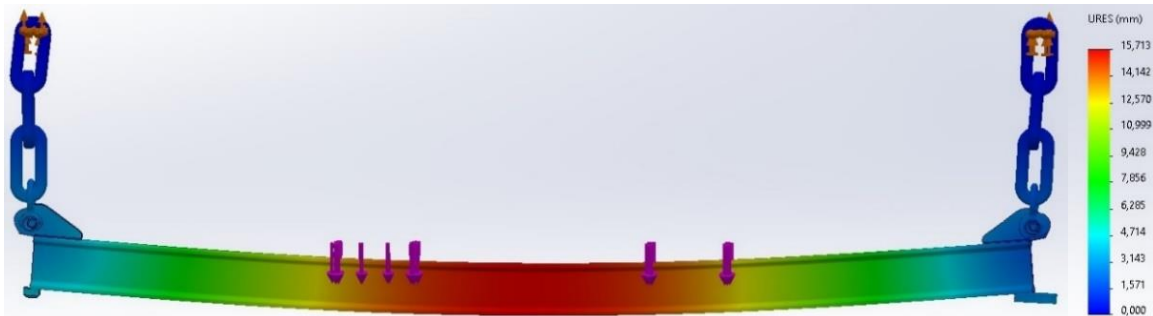


Рисунок 3.11 – Прогин балки монорейки при транспортуванні великотоннажних вантажів за допомогою ПТС

За результатами моделювання програмним комплексом SolidWorks Simulation встановлено що за допомогою використання ПТС можливо підвищити вантажопідйомність з 7 до 16 т., результати досліджень прогину монорейкових балок наведені на рис. 3.12.

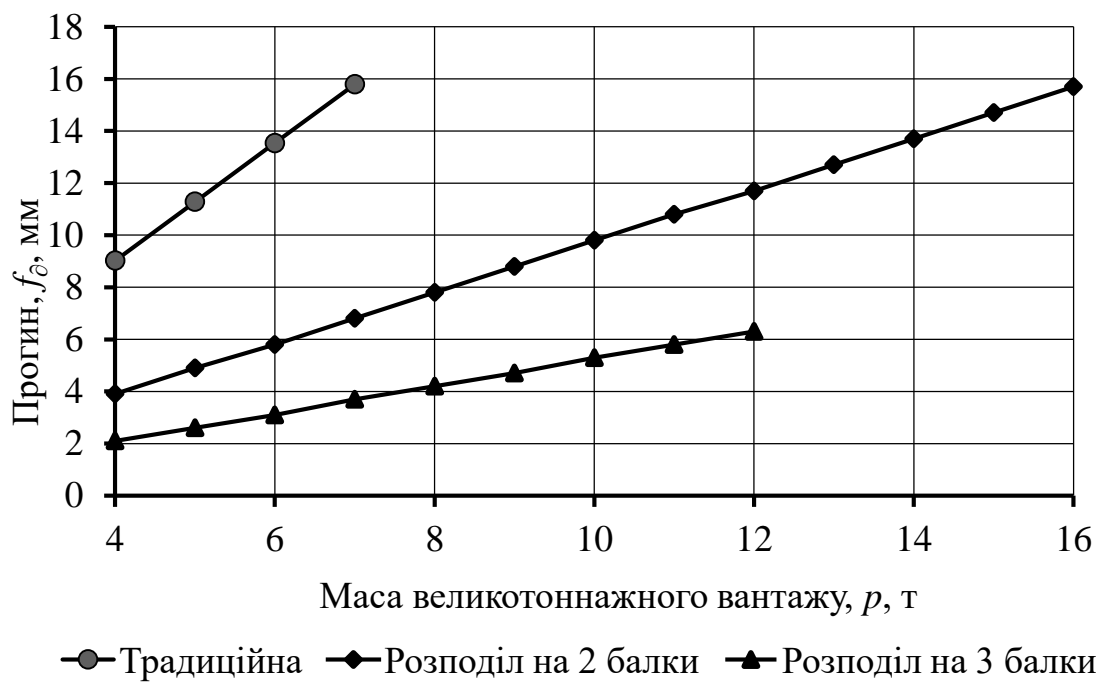


Рисунок 3.12 – Графіки залежності прогину балки монорейки  $f_0$  при транспортуванні від маси великотоннажного вантажу  $p$

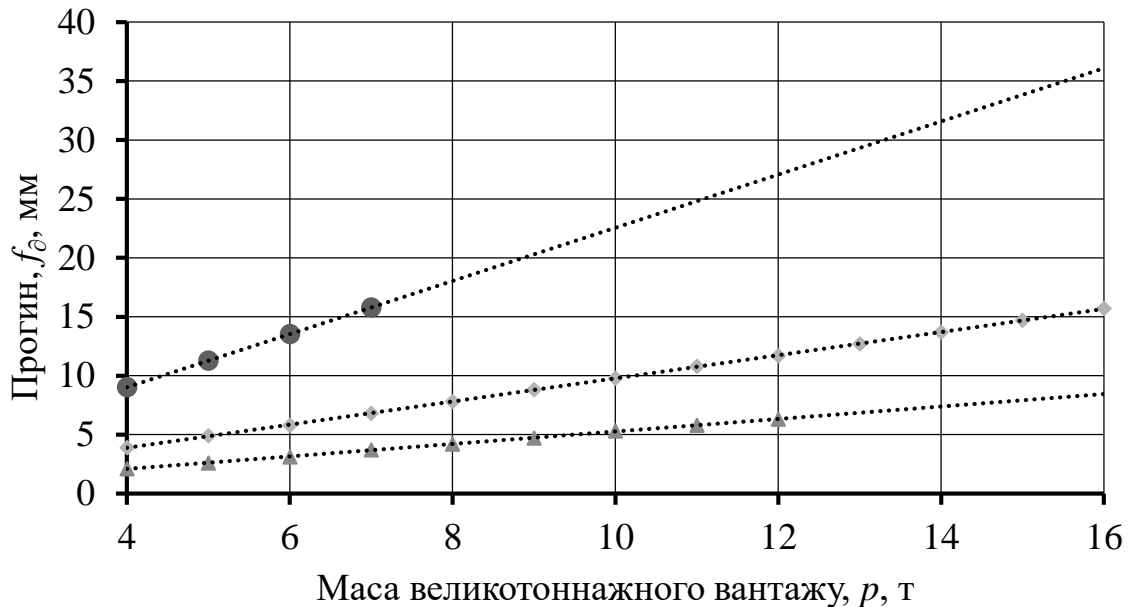


Рисунок 3.13 – Графіки прогнозу прогину балки монорейки  $f_\delta$  при транспортуванні від маси великотоннажного вантажу  $p$

Провівши апроксимацію максимальних значень (рис. 3.13), отримано емпіричну залежність зміни величини прогину  $f_\delta$  у сегменті монорейкового постапу від маси великотоннажного вантажу  $p$ . Для трьох варіантів транспортування великотоннажного вантажу величина прогину  $f_\delta$  залежить від маси великотоннажного вантажу та визначається за виразами:

- для традиційної компоновки

$$f_\delta = 2,2556 \times p, \text{ мм, при } R^2 = 1, \quad (3.8)$$

- при розподілі на 2 балки

$$f_\delta = 0,9812 \times p, \text{ мм, при } R^2 = 1, \quad (3.9)$$

- при розподілі на 3 балки

$$f_\delta = 0,5276 \times p, \text{ мм, при } R^2 = 0,99, \quad (3.10)$$

де  $p$  – маса великотоннажного вантажу, т;  $R^2$  – достовірність апроксимації.

Перевірка на міцність сегменту монорейкового постапу виконується за такими умовами

$$f_{\partial} \leq \left[ \frac{L}{200} \right], \text{ мм}, \quad (3.11)$$

де  $L$  – довжина сегменту монорейкового постапу, мм.

За результатами оцінки отриманих фактичних даних моделювання технічного стану шахтного монорейкового постапу із застосуванням програмного комплексу SolidWorks Simulation встановлено залежність прогину балки монорейки  $f_{\partial}$  при транспортуванні від маси великотоннажного вантажу  $p$  та особливості взаємодії елементів транспортно-технологічної підсистеми «РС-МС» запаси їх міцності для характерних ділянок монорейкової траси. Експериментально підтверджено, що до дії деформацій гірського масиву та механічних руйнувань найбільш схильні стикові з'єднання та центри ланок монорейкового постапу.

Аналіз результатів моделювання умов взаємодії елементів підсистеми «РС-МС» свідчить, що величини прогину ланки монорейки зменшуються при використанні ПТС для доставки вантажів. При цьому динамічні навантаження на аркове кріплення відповідно зменшуються.

Отримані показники взаємодії елементів підсистеми «РС-МС» та результати оцінки технічного стану ланок монорейкового постапу дозволили встановити, що в реальних умовах шахтного середовища проектний профіль траси ПДМ являє собою складну транспортно-технологічну систему, яка під впливом динамічних навантажень безперервно змінює свій первісний стан як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. За результатами математичного та комп'ютерного моделювання було встановлено, що дію динамічних навантажень можливо зменшити шляхом розподілення маси великотоннажного вантажу між декількома ланками монорейкового постапу.



Прийняті інноваційні технічні рішення дозволили підвищити максимально допустимі межі використання ПДМ при доставці великотоннажних вантажів, та прогнозувати допустимі навантаження на ланки монорейкового постапу.

### **3.5. Обґрунтування підйомно-транспортної системи для перерозподілу динамічних навантажень на монорейковий став**

Дослідженнями [28] доведено, що порушення технічного стану верхняків аркового кріплення та рух порід покрівлі відбувається в межах несучих рам, до яких через підвіси підвішуються сегменти (ланцюги) монорейкового постапу ПДМ. Означені негативні явища переважно виникають в місцях стикових з'єднань ланцюгів монорейкового постапу при переміщенні вантажів масою  $M \geq 4000$  кг зі швидкістю  $V_{\max} > 2$  м/с [30]. За таких умов при транспортуванні великотоннажних вантажів суттєво зменшуються несуча здатність рам аркового кріплення та пропускна здатність підготовчих виробок.

Відповідно [28] для створення високоадаптивної ПТС потрібно забезпечити одночасне розосередження навантаження від великотоннажного вантажу на декілька несучих арок. Специфічні умови шахт ЗД з низькою несучою здатністю порід підосви дільничних виробок та інтенсивними притоками води накладають значні обмеження на умови транспортування великотоннажних вантажних одиниць, а саме виключають можливість безпечного транспортування вантажів понад 8т. Ці чинники понижують ефективність роботи транспортних засобів та збільшують терміни підготовки нових виїмкових стовпів.

Запропонована високоадаптивна ПТС [28] дозволяє транспортувати вантажі маса яких може досягати до 20 т. (секції механізованого кріплення, вузли комбайна, пакети рейок та ін.). Вона значно спрощує процес МДР, виключає додаткові допоміжні роботи з секціями механізованого кріплення, комбайном а також скребковим конвеєром, а саме зменшує додаткові витрати часу.

Нова високоадаптивна ПТС, що включає можливість більш безпечного транспортування до монтажної камери без розбору на складові елементи та прискорює процес монтажу очисного обладнання. Зменшення динамічних навантажень на монорейковий став при доставці великотоннажних вантажів відбувається завдяки перерозподілу його маси на центральний і суміжні ланцюги монорейкового постапу.

Ідея створення високоадаптивної ПТС базується на використанні принципу д'Аламбера згідно з яким якщо до заданих (активних) сил, що діють на точки механічної системи, та реакцій накладених зав'язків приєднати сили інерції, то вийде врівноважена система сил.

З цього випливає, що для кожної  $i$ -тої точки системи:

$$F_i + N_i + J_i = 0 \quad (3.11)$$

де  $F_i$  - активна сила, що діє на цю точку,  $N_i$  - реакція накладеної на точку зв'язку,  $J_i$  - сила інерції, чисельна рівна добутку маси  $m_i$  точки на її прискорення  $w_i$  ( $J_i = m_i w_i$ ) і спрямована протилежно до цього прискорення.

Принцип д'Аламбера дозволяє застосувати до вирішення завдань динаміки простіші методи статички, тому їм широко користуються в інженерній практиці. Особливо зручно ним користуватися для визначення реакцій зав'язків у випадках, коли закон руху, що відбувається, відомий або знайдений з вирішення відповідних рівнянь.

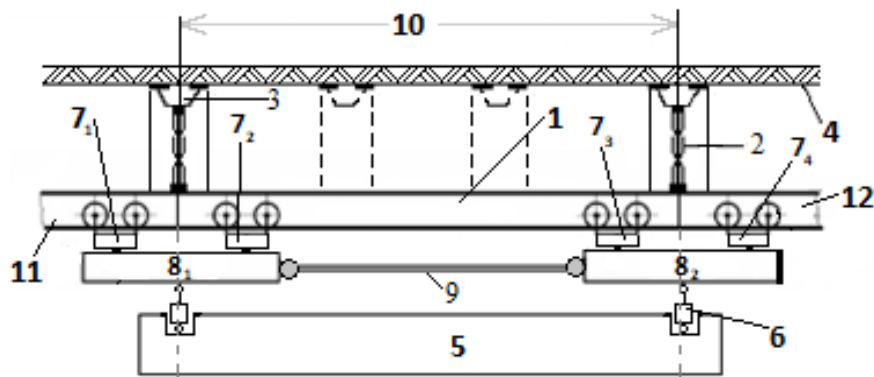
Високоадаптивна ПТС (рис. 3.14) з доставки великотоннажних вантажів працює наступним чином:

– на першому етапі існуючі ходові візки  $7_1 - 7_4$  попарно об'єднуються за допомогою компенсаторів в самостійні вантажні платформи  $8_1$  і  $8_2$ , які шарнірно скріплюються між собою з'єднувальними штангами 9 таким чином щоб відстань між центрами вантажних платформ  $8_1$  і  $8_2$  (10) дорівнювала довжині одного сегмента монорейкового постапу. Таким чином, сформована високоадаптивна

ПТС при транспортуванні великотоннажних вантажів буде виключати максимальні навантаження на центри сегментів монорейкового поставу.

– на другому етапі з урахуванням несучої здатності монорейкового поставу, підвішують великотоннажний вантаж 5 за допомогою гідродомкратів 6, які закріплюються до центральних частин сформованих вантажних платформ 8<sub>1</sub> і 8<sub>2</sub>.

Конструктивно загальна довжина ПТС повинна дорівнювати сумарній довжині ланцюга монорейкового поставу та вантажного візка. У цьому вихідному положенні статичне навантаження при транспортуванні великотоннажних вантажів перерозподіляється згідно відомому закону розподілу навантаження на ланцюг 1 через внутрішні ходові візки 7<sub>2</sub> і 7<sub>3</sub>, а на суміжні ланцюги 11 та 12 монорейкового шляху через крайні ходові візки 7<sub>1</sub> і 7<sub>4</sub> і саморегулюється за принципом д'Аламбера.



1 - ланцюг монорейкового поставу; 2 - підвіс; 3 - несучі рами; 4 - покрівля;  
5 - великотоннажний вантаж; 6 - гідродомкрат; 7<sub>1</sub> - 7<sub>4</sub> - ходові візки;  
8<sub>1</sub> - 8<sub>2</sub> - вантажні платформи; 9 - штанга; 10 – відстань між центрами вантажних платформ; 11 та 12 - суміжні ланцюги.

Рисунок 3.14 – Вискоадаптивна підйомно-транспортна система

При переміщенні по монорейковому поставу, сформованої таким чином вискоадаптивної ПТС, відбувається перерозподіл та одночасне саморегулювання статичного навантаження з центральних частин ланцюгів монорейковому поставу на суміжні ланцюги, що забезпечує необхідну несучу

здатність монорейкових ланцюгів, допустимий прогин їх в центральній частині та експлуатаційну надійність. Як наслідок, зменшення навантаження на несучі арки кріплення незалежно від ваги вантажу та забезпечення їх несучої здатності, а також безпечних умов та ефективності процесу доставки вантажів.

Таким чином шляхом використання високоадаптивної ПТС, яка передбачає перерозподіл динамічних навантажень на суміжні ланцюги монорейкового постапу, що кріпиться до покрівлі анкерами другого рівня [32] забезпечуються графік швидкісного проведення підготовчих вибоїв та доставки елементів очисного обладнання до монтажних камер в умовах інтенсифікації гірничих робіт.

### **Висновки по розділу 3**

1. По результатам досліджень стійкості аркового кріплення в виробках з ПДМ встановлено, що динамічні навантаження в стикових з'єднаннях монорейкового постапу провокують деформації верхняків несучих арок і порід покрівлі, що їх вміщують. Доведено також, що при динамічних навантаженнях початок руху податливих елементів аркового кріплення відбувався при меншому зусиллі, ніж потрібно при статичному навантаженні.

2. Досліджені особливості функціонування традиційного рамно-анкерного кріплення в пластових дільничних виробках, які обслуговують підвісні монорейкові дороги. Запропоновано технологію удосконалення існуючих схем рамно-анкерного кріплення виробок шляхом додавання анкерів другого рівня для підвішування монорейкового постапу.

3. Розроблена методика досліджень умов взаємодії рухомого складу підвісних монорейкових доріг з арковим кріпленням підготовчих виробок. Обрано відповідне програмне забезпечення SolidWorks Simulation та побудовано послідовність виконання моделювання.

4. За допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation досліджено зміни напружено-деформованого стану елементів підсистеми «РС-МС» залежно від величини маси великотоннажного вантажу. Отримана лінійна залежність прогину балки монорейки  $f_0$  від маси великотоннажного вантажу  $p$ .

5. Обґрунтована високоадаптивна ПТС для перерозподілу динамічних навантажень на монорейковий постав. Доведено, що запропоноване рішення розподіляє динамічні навантаження між центральним та суміжними ланцюгами монорейкової траси.

### Перелік використаних джерел за розділом 3

1. Pro vnesennia zmin i dopovnen do Rozdilu "Vuhilna promyslovist" Vypusk 5 "Hirnychodobuvna promyslovist" Dovidnyka kvalifikatsiinykh kharakterystyk profesii pratsivnykiv. (2013). *Nakaz N 710 vid 02.10.2013r.* Kyiv: Ministerstvo enerhetyky ta vuhilnoi promyslovosti Ukrainy. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0710732-13#Text>

2. Bulat, A. F., Popovych, I. M., Vivcharenko, O. V., & Krukovskiy, O. P. (2014). Tekhnolohiia ankernoho kriplennia hirnychykh vyrobok na shakhtakh Ukrainy: stan i perspektyvy. *Vuhillia Ukrainy*, (2), 3-7. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr\\_2014\\_2\\_2](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2014_2_2)

3. Shyrin, L.N., Rastsvietaiev, V. O., Koval, A.Y. (2014). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty monoreikovykh dorih pid chas pidhotovky zapasiv vuhillia do ochysnoi vyimky: *Monohrafiia. Natsionalnyi hirnychyi universytet: Dnipropetrovsk.* <http://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/146544/1/CD528.pdf>

4. Shyrin, L. N., Koroviaka, Ye. A., Posunko, L. M., Rastsvietaiev, V. O., & Sharina, V. C. (2018). Poshyrennia oblasti efektyvnoho zastosuvannia pidvisnykh monoreikovykh dorih v umovakh vidpratsiuvannia pokhylykh vuhilnykh plastiv.

*Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, (55), 255-266.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu\\_2018\\_55\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2018_55_27)

5. NPAOP. (2011). *Vymohy bezpeky do tekhnologii vykonannia robiz z montazhu ta demontazhu mekhanizovanykh kompleksiv dlia polohykh ta pokhylykh plastiv*. Luhansk: Vuhlemekhanizatsiia.

[http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=210138](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=210138)

6. Tokarczyk, J.: (2017). *Metodyka identyfikacji wybranych zagrożeń mechanicznych w pomocniczym transporcie podziemnych zakładów górniczych*. Monografie. *Instytut Techniki Górniczej KOMAG*, Gliwice. ISBN 978-83-65593-08-5

7. Rastsvietaiev, V. O. (2014). *Dodatkovy navantazhennia vid pidvisnykh monoreikovykh dorih na arochne kriplennia vyrobok v umovakh shakht Zakhidnoho Donbasu*. *Heotekhnichna mekhanika*: 117, 53-59.

<http://geotm.dp.ua/attachments/article/2480/09.pdf>

8. Herbuś, K.; Szewerda, K.; Świder, J. (2020). Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines. *Eksploat. Niezawodn.*, 4, 610-619. [DOI: 17531/ein.2020.4.4](https://doi.org/10.17531/ein.2020.4.4), ISSN 1507-2711

9. Krukovskyi, O., Bulich, Y., & Zemlianaia, Y. (2019). Modification of the roof bolt support technology in the conditions of increasing coal mining intensity. *In E3S Web of Conferences (Vol. 109, p. 00042)*. EDP Sciences.

<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900042>

10. Hrechyshkyn, P. V., Pozolotyn, A. S., Balandyn, N. N., & Zaiatdynov, D. F. (2013). *Zastosuvannia kanatnykh ankeriv dlia montazhu monoreikovykh pidvisnykh dorih*. *Vuhillia Ukrainy*. (4), 25-26. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr\\_2013\\_4\\_7](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ugukr_2013_4_7)

11. Denyshchenko, A. V. (2011). *Shakhtni kanatni dorohy: Monohrafiia*. *Natsionalnyi hirnychiy universytet*: Dnipropetrovsk.

<http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/1046?show=full>

12. Shashenko, A. N., Solodyankin, A. V., & Martovickij, A. V. (2012). *Upravlenie ustojchivostyu protyazhennykh vyrabotok glubokih shaht: Monohrafiia*.

OOO

«LizunovPress»:

Dnipropetrovsk.

[https://scholar.google.com.ua/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=ru&user=UU9VsO8AAAAJ&citation\\_for\\_view=UU9VsO8AAAAJ:VOx2b1Wkg3QC](https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=UU9VsO8AAAAJ&citation_for_view=UU9VsO8AAAAJ:VOx2b1Wkg3QC)

13. Peng, S. S., Du, F., Cheng, J., & Li, Y. (2019). Automation in US longwall coal mining: A state-of-the-art review. *International Journal of Mining Science and Technology*, 29(2), 151-159. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.005>

14. Shyrin, L., Herasymenko, A., Dyachkov, P. (2022). Peculiarities of the formation of transport and logistics schemes for the delivery of large-tonnage cargoes to assembly chambers and preparatory pits. *Physical and Chemical Geotechnologies: Collection of scientific works from Scientific and Practical Conference*. Ministry of Education and Science of Ukraine, NTU: Dnipro, 50-57. <https://doi.org/10.15407/pcgt.22.05>

15. Herasymenko, A.O., Rastsvietaiev, V.O., Shyrin, A.L. (2023). Selection of the means of auxiliary transportation facilities and adaptation of their parameters to specific operation conditions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*: 2, 40–46. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/040>

16. Герасименко, А.О., Ширін, А.Л., Інюткін, І.В., Дьячков, П.А. (2024). Обґрунтування області ефективного використання гірничотранспортного обладнання для швидкісного проведення підготовчих виробок. *Збірник наукових праць НГУ*, 76

17. Посунько, Л.М., Расцветаев, В.О., & Ширін, А.Л. (2017). Удосконалення транспортно-технологічних схем проведення дільничних виробок при розширенні меж вугільних шахт. *Монографія*.

18. Vlasov, S.F., Sidelnikov, A.A. (2012). Prostranstvennoe modelirovanie geomechanicheskikh processov pri podzemnoj razrabotke mestorozhdenij. *Dnepropetrovsk: Nacionalnyj gornyj universitet*, ISBN 978-966-350-348-6

19. Shashenko, A.N., Sdvizhkova, E.A., Gapeev, S.N. (2008). Deformiruemost i prochnost massivov gornyh porod. *NGU: Dnepropetrovsk*.

20. Besa, B., Kuruppu, M., Chanda, E. K., (2010). Numerical Modelling of Monorail Support Requirements in Decline Development. *Mine Planning & Equipment Selection (MPES 2010)*. The AusIMM, 1–3 December, Western Australia. Fremantle, 209–224.
21. Asadzadeh, M. (2020). An Introduction to the Finite Element Method for Differential Equations. *Hoboken: John Wiley & Sons*.
22. Szewerda, K. (2018). The concept of the numerical computing methods for analysis of operational conditions of bucket wheel excavators. *Gór. Odkryw*: 4, 66-73. ISSN 0043-2075
23. SOU-P 10.1.00174088.018:2009 (2010). Sistema upravleniya proizvodstvom i ohranoj truda v ugolnoj promyshlennosti Ukrainy (tipovoe rukovodstvo). *Utverzhdeno Prikazom Ministerstva ugolnoj promyshlennosti Ukrainy ot 21.01.2010 g. № 7*. Kiev.
24. Stalevi konstruktsii. (2014). *Normy proektuvannia*. K.: Minrehion Ukrainy.
25. Wilcox, P., Evans, M., Diligent, O., Lowe, M., Cawley, P. (2002). Dispersion and excitability of guided acoustic waves in isotropic beams with arbitrary cross section. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation*: Vol. 21, 203-210.
26. Shmyh, R. A., Dobrianskyi, I. M. (2015). *Rozrakhunok budivelnnykh konstruktsii v obchysliuvalnomu kompleksi SCAD*. Lviv: Liha Pres.
27. Gere, J., Goodno, B. (2012). Teoriya uprugosti: *Mechanics of materials*: Stamford: Cengage Learning.
28. Shyrin, A., Rastsvetaev, V., & Morozova, T. (2012). Estimation of reliability and capacity of auxiliary vehicles while preparing coal reserves for stoping. *Paper presented at the Geomechanical Processes during Underground Mining – Proceedings of the School of Underground Mining*: 105-108. <https://doi.org/10.1201/b13157-18>



29. Ovcharenko, V.A., Podlyesnij, S.V., Zinchenko, S.M. (2008). Osnovi metodu kincevih elementiv i jogo zastosuvannya v inzhenernih rozrahunkah. *DDMA: Kramatorsk*. ISBN 978-966-379-224-8
30. Tokarczyk, J., Szewerda, K. (2011). Identyfikacja obciążeń dynamicznych działających na elementy nośne tras kolejek podwieszonych. *Masz. Gór*:No. 2, 12-17.
31. Szewerda, K., Krenicky, T. (2022). Use of the MBS method in mining industry R&D projects. *Mining Machines: Vol. 40 Issue 2*, 110-120. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2022.2.6>
32. Shyrin L.N., Herasymentko A.O., Shyrin A.L., Yehorchenko R. R., Koptovets O.M., Diachkov P.A., Iniutkin I.V. Pidiomno-transportna systema dlia dostavky vantazhiv (Ukraina/Dnipro Zaiavka na vynakhid a2022 02487 vid 14.07.22). *Natsionalnyi tekhnichnyi universytet «Dniprovska politekhnika»*
31. Krukovskiy, A.P., Krukovskaia, V.V., Khvorostian V.A. (2013). Tekhnolohyia opornoankernoho kreplenyia hornykh vyrabotok uholnykh shakht Ukrainy. *Uhol Ukrainy*: 2, 13-16
32. Borzyh, A.F., Kuzmenko, A.M., Safonov, V.I., Ryabichev, V.D. (2008). Montazh i demontazh ochistnyh mehanizirovannyh kompleksov ugolnyh shaht. *Vostochnoukr. nac. un-t im. Vladimira Dalya: Doneck: Nord-Press*.
33. Ширін, Л.Н., Расцветаев, В.О., Лебідь, О.Л. (2011). Спосіб розробки пологих вугільних пластів. Патент № 100607 (Україна/Дніпропетровськ заявл. 14.06.2011; опубл. 10.01.2013; Бюл. №5). *Державний ВНЗ «НГУ»*.
34. Bulat, A.F., Vinogradov, V.V. (2002). Oporno-ankernoe kreplenie gorniyh vyrabotok ugolnyih shaht. *Vilpo: Dnepropetrovsk*.
35. Szewerda, K., Tokarczyk, J., Božek, P., Michalak, D., Drwięga, A. (2020). Vibrations diagnostics and analysis in operator's and passenger cabins of a suspended monorail. *Acta Montan. Slovaca*: 2, 150–158
36. Chanda, E. K. Application of Electro-Monorail Mine Haulage Systems in Underground Decline Development. *Proceedings of the Sixteenth International*

## **РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ КРІПЛЕННЯ ВИЇМКОВИХ ВИРОБОК ОБЛАДНАНИХ ПІДВІСНИМИ МОНОРЕЙКОВИМИ ДОРОГАМИ**

### **4.1. Загальні положення**

Завдання формування раціональних вантажопотоків гірничої маси для забезпечення мінімальних простоїв підготовчих вибоїв з вини транспорту в умовах активного здимання порід піддошви в криволінійних виробках зі знакозмінним профілем шляху вирішується шляхом: впровадження транспортних засобів нового покоління, що мають високу адаптаційну здатність; обґрунтування параметрів оборотності вагонеток; управління станом породного масиву та контролем кріплення виїмкових виробок.

Слід зазначити, що архіважливою проблемою на всіх шахтах України є своєчасне забезпечення фронту очисних робіт. При проведенні пластових виробок в специфічних умовах шахт ЗД неритмічну доставку шахтними локомотивами допоміжних матеріалів та обладнання у підготовчі вибої не виконуються заплановані терміни підготовки запасів до очисного виймання.

Означені проблеми вирішуються впровадженням високоефективних дизельних підвісних монорейкових локомотивів. Дослідженнями [1, 6] доведено, що ПДМ мають високі показники адаптивності та продуктивності, але в умовах нестійких порід покрівлі потребують обґрунтування і розробки спеціальних методів кріплення монорейкового поставу для зменшення негативного впливу динамічних навантажень на елементи арок і покрівлю виробок. Останнє особливо важливе при транспортуванні великотоннажних вантажів до монтажних камер, інтенсивна доставка яких провокує додаткові динамічні навантаження на монорейковий постав та елементи його підвіски, що в сукупності негативно впливає на стан кріплення підготовчих виробок. При швидкісному проведенні пластових виробок в умовах інтенсивного здимання порід піддошви виникають

екстремальні виробничі ситуації, які змінюють характеристики процесу і не піддаються систематичному обліку. Вище зазначені чинники потребують обґрунтування раціональних параметрів технологічних схем кріплення слабометаморфізованих порід і монорейкового постапу ПДМ.

Таким чином, необхідно визначити оптимальну схему кріплення для зниження динамічних навантажень на елементи транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ». Попередніми дослідженнями [17, 19] було рекомендовано альтернативну систему кріплення монорейкового постапу ПДМ до верхняків аркового кріплення та анкерів другого рівня. В якості анкерів глибокого залягання були обрані канатні анкери з закріпленням хімічними поліефірними розчинами для утворення анкеро-породного моноблоку.

Запропоновані технічні рішення [1, 22] щодо прискорення термінів підготовки нових виїмкових стовпів за рахунок використання дизельних ПДМ обумовили необхідність проведення спеціальних досліджень з обґрунтування та розробки технологічних схем кріплення пластових виїмкових виробок і монорейкового постапу, здібних комплексно протистояти динамічним навантаженням від дії рухомого складу при транспортуванні великотоннажних вантажів в підземних виробках складної конфігурації.

#### **4.2. Оцінка технічних рішень щодо зниження навантажень на кріплення підготовчих виробок від дії рухомого складу**

В зарубіжній практиці швидкісного проведення дільничних виробок з використанням дизельних ПДМ для підвищення їх експлуатаційних показників створюють умови необхідні для продуктивної їх роботи. Дослідженнями [1, 6] доведено, що ефективність доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер залежить від швидкості рухомого складу ПДМ та технічного стану підготовчих виробок і монорейкового постапу. Останнє

обумовлено тим, що при доставці великотоннажних вантажів в традиційних схемах кріплення монорейкового постапу до металевих арок виникають динамічні навантаження, які провокують рух порід покрівлі та порушення перерізу дільничних виробок.

Експериментально підтверджено, що порушення технічного стану верхняків аркового кріплення та рух порід покрівлі відбувається в межах несучих рам, до яких через підвіси підвішуються сегменти (ланцюги) монорейкового постапу ПДМ. Означені негативні явища переважно виникають в місцях стикових з'єднань ланцюгів монорейкового постапу при переміщенні вантажів масою  $M \geq 4000$  кг зі швидкістю  $V_{\max} > 2$  м/с [10]. За таких умов при транспортуванні великотоннажних вантажів суттєво зменшуються несуча здатність сегментів монорейкового постапу та рам аркового кріплення, а також пропускна здатність підготовчих виробок.

Для зниження зазначених вище негативних чинників від дії динамічних навантажень була запропонована високоадаптивна ПТС [13] яка забезпечує одночасне розосередження навантаження від великотоннажного вантажу на центральний і суміжні ланцюги монорейкового постапу. Рекомендована система представлена на рис. 3.14.

Високоадаптивна ПТС, що пропонується дозволяє транспортувати вантажі маса яких може досягати до 20 т. (секції механізованого кріплення, вузли комбайна, пакети рейок та ін.). Вона значно спрощує процес МДР, виключає додаткові допоміжні роботи з секціями механізованого кріплення, комбайном а також скребковим конвеєром, а саме зменшує додаткові затрати часу. Дана система дає можливість більш безпечного транспортування до монтажної камери крупногабаритного шахтного обладнання без розбору на складові елементи, завдяки цьому прискорює процес монтажу у підготовлений очисний вибій.

Додатково для зниження навантажень на кріплення підготовчих виробок від дії рухомого складу рекомендовано удосконалити традиційні схеми кріплення

монорейкового постапу. Дослідженнями [19] встановлено, що для підвищення стійкості підготовчих виробок, оснащених ПДМ, необхідно постав монорейкової дороги кріпити до покрівлі додатковими ланцюгами з використанням анкерів другого рівня. Варіант кріплення ПДМ до покрівлі підготовчих виробок наведено у табл. 2.7 (Г).

При додатковому закріпленні монорейкової траси на ланцюги до анкерів другого рівня рекомендується оптимізувати поширену в регіоні технологію рамно-анкерного кріплення. Додавання анкерів другого рівня (глибокого залягання) для закріплення монорейкового постапу ПДМ дозволить знизити навантаження на кріплення підготовчих виробок від дії рухомого складу шляхом перерозподілу динамічних навантажень між елементами складної динамічної транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ».

По результатам оцінки параметрів і конструкції, поширеної на шахтах ЗД технології рамно-анкерного кріплення виробок було встановлено, що принцип дії анкерів замкового типу, рекомендованих для кріплення пластових підготовчих виробок, не в повній мірі відповідає вимогам, щодо формування траси монорейкового постапу ПДМ та забезпечення його технічного стану на всіх етапах функціонування.

Обумовлено це тим, що існуючі технології кріплення виробок враховують лише підтримку НДС порід та не вирішує питання розподілення динамічних навантажень від несучих арок при проходженні стикових з'єднань монорейкового постапу транспортними засобами.

У такому випадку доцільно використовувати для умов шахт ЗД інші типи анкерів другого рівня. Для вибору оптимального рішення було виконано оцінку існуючих типів анкерного кріплення та розглянуті їх експлуатаційні параметри.

Традиційно анкерне кріплення ділять на дві групи:

-із закріпленням у донній частині шпуру (анкери з механічним замковим закріпленням);

-із закріпленням по всій довжині шпурі або значної його частини (анкери із закріпленням хімічними, цементними або фосфогіпсовими складами), металеві (трубчасті) анкери, що закріплюються в шпурі енергією вибуху ВР, та ін.

При виборі типу анкерів для самостійного виду кріплення або в поєднанні з іншими типами кріплення, необхідно враховувати конкретні гірничо-геологічні характеристики масиву гірських порід та гірничотехнічні умови експлуатації анкерного кріплення. Аналізуючи призначення анкерів для закріплення монорейкового поставу і принцип їх дії при транспортуванні великотоннажних вантажів в дисертаційному дослідженні розглянуті експлуатаційні характеристики замкових, клинощілинних, сталеполімерних анкерів та ін.

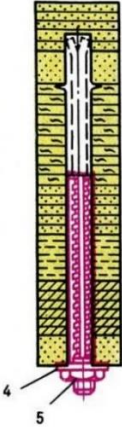
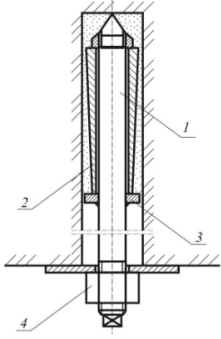
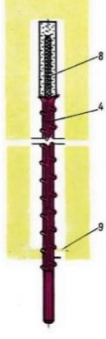
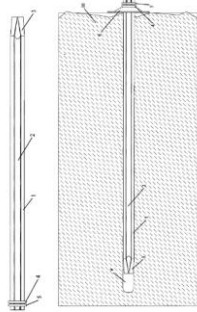
У зарубіжній практиці кріплення підготовчих виробок частіше всього приділяють увагу альтернативним типам анкерного кріплення з підвищеною несучою здатністю за рахунок закріплення їх по всій довжині шпурі. До них відносять сталеполімерні і трубчасті анкери фрикційного зачеплення системи «split-set».

В умовах шахт ЗД для кріплення гірничих виробок традиційно застосовують металеві анкери типу АД-1 із самозаклинювальною головкою з механічним (замковим) закріпленням в породах. Даний тип анкерного кріплення за своїми технічними характеристиками і фізико-технологічними властивостями націлений на підтримку НДС гірських порід та виробки.

Для вирішення поставленої задачі щодо додаткового закріплення монорейкового поставу до покрівлі гірничих виробок даний тип замкових анкерів згідно дослідженню [20] не може в повному обсязі розкрити потенційні резерви ПДМ при інтенсивній підготовці нових виїмкових стовпів.

Тому згідно з структурно-логічною схемою була виконана оцінка найбільш придатних типів анкерів для закріплення монорейкової траси. Основними критеріями були підвищений опір висмикуванню та можливість витримувати підвищенні динамічні навантаження (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Типи анкерного кріплення з підвищеною несучою здатністю

Анкерне кріплення	Конструкція	Особливості	Переваги	Недоліки
Із закріпленням швидко-твердіючим хімічним складом АКХ		Ампула із закріплювачем на основі синтетичної поліефірної смоли складається з поліетиленової оболонки з смолою та піском. Потім в ампулу занурюють дві скляні трубки - одна з затверджувачем, інша з прискорювачем затвердіння	висока міцність та адгезія до матеріалу анкера та порід високі показники на спротив динамічним навантаженням, застосовуємо для будь-яких базових матеріалів, незалежно від тягових зон, виду навантажень	вартість та токсичність, обмеженість терміну зберігання невикористаного хімічного складу, помітний проміжок часу між установкою анкера та можливістю його використання, що в тому ж залежить від температури
Із закріпленням швидко-твердіючим фосфогіпсовим складом АКФ		Ампула має два поздовжні відокремлені відділення, в одне з яких поміщене фосфогіпсове в'язуче, а в іншому — вода	проста технологія приготування та застосування, тривалі терміни придатності.	Більший діаметр та довжина шпuru, проміжок часу між установкою анкера та можливістю його використання нижчий за анкери типу АКЦ
Із закріпленням патронуванням та швидко-твердіючими сумішами на цементній основі АКЦ		В одному відділенні ампули знаходиться шлакоцементне в'язуче, в іншому - затверджувач (рідке скло).	Склад має початок схоплювання 4-8 хв і кінець схоплювання-17-20 хв і високу міцність, що дозволяє швидко вводити в дію анкерне кріплення	Малий спротив динамічним навантаженням, та ударам, менший показник адгезії з шпуром у порівнянні з анкерами типу АКХ та АКФ.
Трубчастий		Трубчасте анкерне кріплення, що закріплюється вибухом, складається з металевої суцільнотягнутої труби, заряду ВР, опорної плити і натяжної гайки	знижує трудовитрати по зведенню кріплення і підвищує продуктивність праці	застосування в шахтах, небезпечних по газу або пилу, ВР має бути запобіжним.

Перевагами анкерного кріплення із підвищеною несучою здатністю на відміну від анкерного кріплення із замковим є те, що воно має високу міцність закріплення по всій довжині шпуру або значної його частини.

Аналіз досліджень існуючих варіантів анкерного кріплення показав, що найкращим варіантом для застосування в специфічних умовах ЗД буде анкерне кріплення підвищеної несучої здатності з швидкотвердіючими хімічними складами (АКХ). У якості твердіючої суміші доцільно використовувати ампули на основі епоксидних смол. Даний тип анкерів відповідає технологічним вимогам для закріплення монорейкового постапу, а саме має підвищені показники на розрив та висмикування анкеру з шпуру.

Вищезазначені переваги визначаються властивостями епоксидних смол, які за рахунок проникнення по тріщинам породного масиву одночасно скріплюють пористе середовище порід та формують анкеро-порідний моноблок з канатним стрижнем, що дозволило сформулювати ідею комплексного рішення дисертаційного завдання, яка базується на використанні потенційних резервів елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ» для підвищення її адаптаційних можливостей при транспортуванні великотоннажних вантажів в складних умовах шахтного середовища.

Обґрунтування параметрів взаємодії елементів системи з урахуванням динамічних навантажень, що виникають при транспортуванні великотоннажних вантажів по монорейковому постапу складної конфігурації вимагає проведення низки спеціальних досліджень, щодо підвищення адаптаційних здібностей рекомендованих ТТС.

У зв'язку з вищевикладеним для підвищення темпів проведення пластових підготовчих виробок в специфічних умовах шахт ЗД технологію доставки великотоннажних вантажів до підготовчих вибоїв і монтажних камер з використанням ПДМ рекомендовано розглядати як процес взаємодії рухомого складу з кріпленням підготовчих виробок і бічними породами, тобто як складну



динамічну транспортно-технологічну систему «ПДМ-КВ-ГМ». Згідно з структурно-логічною схемою дослідження сполучною ланкою між рухомим складом ПДМ і гірничим масивом слід вважати аркове кріплення гірничої виробки, параметри якого повинні зберігати її переріз і стійкість на всіх етапах експлуатації, та додаткове анкерне кріплення монорейкового поставу до покрівлі виробки для зниження динамічних навантажень на елементи системи «ПДМ-КВ-ГМ».

Для забезпечення раціональних параметрів функціонування транспортно-технологічної системи в специфічних умовах шахт ЗД рекомендовано спосіб дворівневого рамно-анкерного кріплення пластових підготовчих виробок і монорейкового поставу ПДМ з використанням анкерів другого рівня.

Промодельовані навантаження на анкери глибокого залягання показали доцільність їх використання в умовах ЗД з слабометоморфізованими породами. Аналіз результатів моделювання динамічних навантажень на анкерного кріплення другого рівня показав, що АКХ на основі епоксидних смол відповідає технологічним вимогам для закріплення монорейкового поставу і реалізує підвищені показники на розрив та висмикування анкеру з шпуру.

Означені переваги досягаються завдяки використанню фізико-хімічних властивостей епоксидних смол, які при активації ампул одночасно затверджують анкерний стрижень, заповнюють тріщини у породному масиві, формуючи таким чином анкеро-породний моноблок з канатним стрижнем. Таким чином досягаються показники, необхідні для кріплення монорейкового поставу та реалізується ідея зниження динамічних навантажень на аркове кріплення при транспортуванні великотоннажних вантажів по монорейковому поставу, викривленому у профілі і плані.

### **4.3. Обґрунтування параметрів технологічної схеми двохрівневого кріплення підготовчих виробок та динамічних навантажень на масив**

Впровадження на шахтах ЗД механізованих очисних комплексів нового покоління та інтенсифікація гірничих робіт обумовили необхідність удосконалення транспортно-технологічних схем допоміжного транспорту. В специфічних умовах шахт ЗД для підвищення темпів комбайнового проведення підготовчих виробок з породами підошви, здібними до здимання, рекомендовано використовувати дизельні ПДМ [1]. Практикою підтверджено, що при проведенні пластових дільничних виробок в слабометаморфізованих гірничих породах [2] особливу увагу необхідно звернути на кріплення транспортних дільничних виробок. У зв'язку з цим при проведенні пластових дільничних виробок з використанням ПДМ особливі вимоги пред'являються до вибору засобів кріплення їх покрівлі та монорейкового постапу.

Дослідженнями ІГТМ НАН України ім. М.С. Полякова та НТУ «ДП» для специфічних умов шахт ЗД розроблено і впроваджено у виробництво технологія рамно-анкерного кріплення підготовчих виробок. Наукові напрацювання [3 - 5] щодо рамно-анкерного кріплення враховані в типових проєктах проведення пластових виробок з використанням традиційних для шахт регіону надгрунтових транспортних засобів. При проведенні пластових виробок з використанням ПДМ виникають проблеми кріплення їх покрівлі та забезпечення технічного стану монорейкової дороги.

Дослідженнями [6] встановлено, що в умовах інтенсифікації гірничих робіт традиційне кріплення постапу ПДМ до верхняків рам аркового кріплення негативно впливає на умови їх взаємодії з породами покрівлі та технічний стан транспортно-технологічної системи.

Для безпечного транспортування великотоннажних вантажів ПДМ рекомендовано удосконалити поширену в ЗД технологію рамно-анкерного

кріплення виробок шляхом введення нових конструктивних елементів, що знижують динамічні навантаження на рами аркового кріплення і безпосередню покрівлю, яка переважно представлена слабкими нестійкими породами.

Важливість використання такого технічного рішення обумовлена вимогами основних положень по проектуванню підземного транспорту нових і діючих шахт. Згідно з [6, 7] транспортні засоби, задіяні на етапі проведення підготовчих виробок, повинні бути максимально адаптованими до умов експлуатації на подальших етапах життєвого циклу виробок, тобто на етапах монтажу і демонтажу очисного обладнання та при виконанні очисних робіт.

Доцільність удосконалення діючої технології кріплення підготовчих виробок і монорейкового поставу ПДМ та обґрунтування параметрів взаємодії їх елементів особливо актуальна при експлуатації транспортних виробок, які забезпечують розробку вугільних пластів біля меж шахтних полів.

В нормативних документах [8] приведені обмеження щодо швидкості руху ПДМ при транспортуванні вантажів дільничними виробками до монтажних камер. При розробці газоносних вугільних пластів вводяться додаткові обмеження швидкості руху ПДМ, які враховують фактори [9], що впливають на безпеку транспортування і суттєво впливають на темпи проведення виробок та підготовки нових виїмкових стовпів.

В роботах [1, 6] визначається, що при підвищенні швидкості монорейкової системи посилюються динамічні навантаження на несучі рами аркового кріплення, що провокує порушення умов взаємодії їх з бічними породами. Наведені негативні явища особливо визначаються при перевезенні великотоннажних вантажів та при екстремому гальмуванні.

Слід відзначити, що аналогічні питання щодо регулювання меж швидкості ПДМ в підземних виробках розглядаються у зарубіжних наукових виданнях. Дослідженнями [10, 11] встановлено, що залежно від профілю шляху, маси вантажу, що перевозиться, і швидкості руху екстремне гальмування може призвести до

динамічних перевантажень, які суттєво впливають на технічний стан кріплення пластових дільничних виробок. Автори відмічають, що при динамічному навантаженні початок руху податливих елементів аркового кріплення відбувався при меншому зусиллі, ніж потрібно при статичному навантаженні. Доведено також, що максимальна швидкість удару, не повинна перевищувати  $v = 1,4$  м/с. Швидкість удару  $v \geq 2,8$  м/с призводить до втрати стійкості кріплення, провокує обвалення покрівлі гірничої виробки та аварійні ситуації при транспортуванні великотоннажних вантажів. Аналогічні випробування були проведені для анкерного кріплення.

Спираючись на результати досліджень [1, 10] можна стверджувати, що для безпечного транспортування вантажів по монорейковому поставу зі швидкостями  $V_{\max} > 2$  м/с, необхідно обґрунтовувати тип і параметри кріплення транспортних виробок, які відповідатимуть умовам використання ПДМ нового покоління.

Для поширення області ефективного використання ПДМ в специфічних умовах шахт ЗД рекомендовано процес взаємодії рухомого складу з кріпленням підготовчих виробок і бічними породами розглядати як складну динамічну транспортно-технологічну систему «ПДМ-КВ-ГМ». Згідно з структурно-логічною схемою дослідження сполучною ланкою між рухомих складом ПДМ і гірським масивом слід вважати кріплення гірничої виробки, параметри якого повинні зберігати її переріз і стійкість на всіх етапах експлуатації. Для забезпечення раціональних параметрів функціонування ТТС в специфічних умовах шахт ЗД рекомендовано спосіб дворівневого рамно-анкерного кріплення пластових підготовчих виробок і монорейкового поставу ПДМ.

Означені загальні вимоги потребують виконання спеціальних досліджень і удосконалення технологічних схем рамно-анкерного кріплення пластових підготовчих виробок для доставки великотоннажних вантажів за допомогою ПДМ та методики розрахунків експлуатаційних параметрів підвісних монорейкових доріг для ефективного їх використання в умовах інтенсифікації гірничих робіт.

Для обґрунтування раціональних параметрів транспортно-технологічних схем кріплення підготовчих виробок, оснащених ПДМ нового покоління, програмою та методикою досліджень передбачено виконати наступні завдання:

- обґрунтувати раціональні параметри технологічних схем комбінованого рамно-анкерного кріплення пластових підготовчих виробок для використання ПДМ в якості основного транспортного засобу при доставці великотоннажних вантажів;
- визначити очікувані навантаження на монорейковий став та покрівлю дільничних виробок в нетипових умовах експлуатації.

В зарубіжній практиці розробки вугільних родовищ своєчасна доставка допоміжних матеріалів, обладнання і людей при швидкісному проведенні підготовчих виробок вирішується шляхом впровадження високопродуктивних ПДМ з дизельним локомотивом. Для шахт ЗД проблема використання підвісного транспорту обумовлена низькою несучою здатністю порід покрівлі та недосконалістю традиційних способів кріплення монорейкового поставу до верхняків металевих арок.

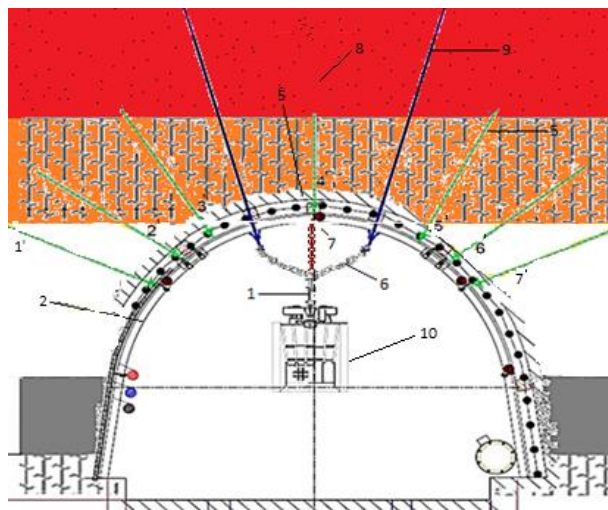
Для забезпечення стійкості підготовчих виробок вугільних шахт розроблена низка інноваційних технічних рішень щодо удосконалення традиційних технологічних схем аркового кріплення. До ефективних напрямів сьогодення слід віднести технологічні схеми поетапного анкерного та рамно-анкерного кріплення підготовчих виробок. За результатами досліджень [12] технологія поетапного анкерного кріплення дозволяє знизити до 50% час прохідницького циклу та відповідно збільшити на 25% темпи проведення виробок. Але застосування її ефективно при використанні традиційних рейкових засобів транспорту, які не впливають на стійкість порід покрівлі підготовчих виробок.

Наслідки впливу динамічних навантажень на покрівлю виробок і вузли кріплення ланцюгів монорейкового поставу ПДМ детально розглянуто у роботі [1]. Експериментально встановлено, що значні порушення стійкості порід покрівлі і

технічного стану верхняків аркового кріплення відбувається в межах рам, до яких через підвіси кріпиться монорейковий постав ПДМ (рис. 3.3).

Означені негативні явища переважно виникають на важких ділянках підземних виробок, тобто в зонах з неоднорідною структурою масиву, а також в місцях порушень стикових з'єднань ланцюгів монорейкового постапу. Доведено також, що лівова доля динамічних навантажень виникає в стикових з'єднаннях монорейкового постапу при переміщенні вантажів масою понад 4000 кг по знакозмінному профілю траси на швидкостях  $V_{\max} > 2$  м/с. За цих умов транспортно-технологічна система провокує динамічні навантаження на породи покрівлі, зменшує несучу здатність аркового кріплення і пропускну здатність підготовчих виробок.

Для підвищення стійкості покрівлі транспортних виробок при динамічних навантаженнях та досягнення експлуатаційних показників дизельних ПДМ нового покоління розроблено комбіновану технологічну схему двохрівневого рамно-анкерного кріплення елементів ТТС «ПДМ-КВ-ГМ» (рис.4.2).



- 1 – монорейковий постав; 2 – несуча рама; 5 – безпосередня покрівля; 6 – підвіси;  
 7 – верхняк аркового кріплення; 8 – основна покрівля;  
 1' -7' – анкери першого рівня; 9 – анкери другого рівня; 10 – рухомий склад ПДМ.

Рисунок – 4.2 Технологічна схема комбінованого двохрівневого рамно-анкерного кріплення покрівлі та монорейкового постапу ПДМ

В наведеній на рис. 4.2 технологічній схемі комбінованого дворівневого рамно-анкерного кріплення покрівлі вентиляційної виробки монорейковий постав ПДМ, як правило, кріпиться по центру. В транспортних виробках місце кріплення монорейкового поставу до верхняків аркового кріплення визначається видом основного транспортного засобу та місцем його розташування щодо перерізу виробки.

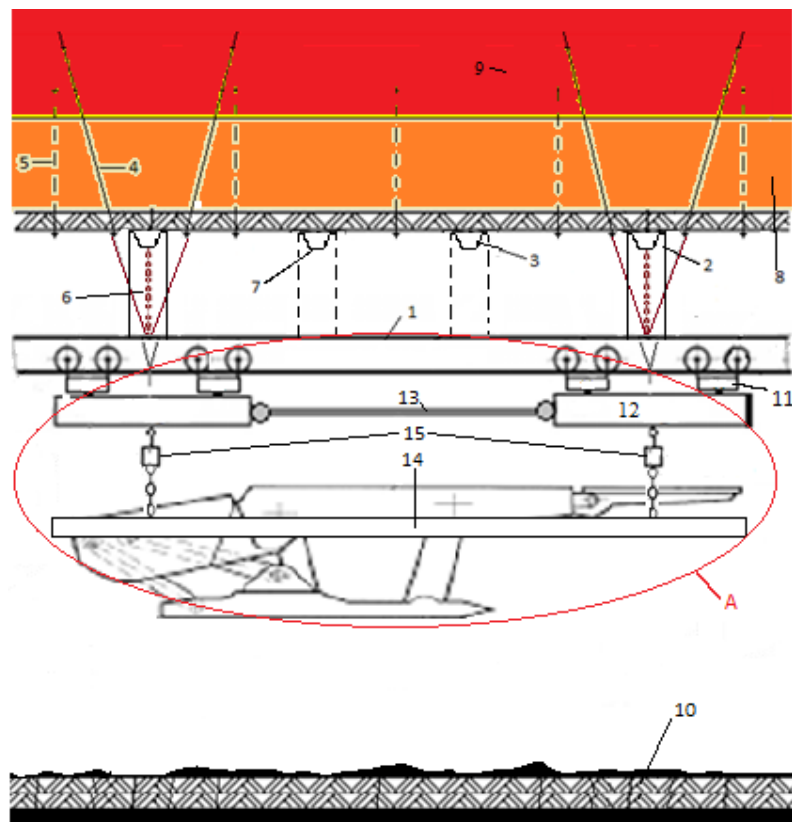
Сутність технології комбінованого кріплення полягає в використанні анкерів двох рівнів. Анкери першого рівня призначені для забезпечення стійкості неоднорідного масиву покрівлі підготовчої виробки. Для згладжування процесів деформації верхняків аркового кріплення та зміщення порід покрівлі від дії динамічних навантажень, що виникають при проходженні рухомим складом ПДМ стикових з'єднань монорейкового поставу, анкери другого рівня закріплюються у стійких породах покрівлі, тобто за межами склепіння природної рівноваги. При цьому нестійкі породи покрівлі, закріплені анкерами першого рівня, скріплюються з стійкими породами анкерами другого рівня, формуючи таким чином єдиний масив, здібний протистояти динамічним навантаженням від ПДМ.

Комбінована технологічна схема двохрівневого рамно-анкерного кріплення елементів транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» враховує результати попередніх досліджень [1, 6] і вносить інноваційні рішення по розподілу динамічних навантажень від рухомого складу ПДМ як на несучі рами, які приймають їх і одночасно передають в масив, так і на анкери другого рівня, які розподіляють частину навантажень безпосередньо на основну покрівлю.

Застосування зазначених інноваційних рішень, щодо комбінованого закріплення ланцюгів монорейкового поставу ПДМ до анкерів другого рівня та верхняків аркового кріплення дозволить досягти експлуатаційних показників

дизельних ПДМ нового покоління в специфічних умовах шахт ЗД з слабометаморфізованими породами покрівлі.

Принципова схема формування динамічної транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» з двохрівневим рамно-анкерним кріпленням передбачає операції: встановлення рам аркового кріплення КШПУ; закріплення боків виробки металевою сіткою анкерами першого рівня; встановлення анкерів другого рівня для додаткового кріплення ланцюгів монорейкового постапу, а також закріплення ланцюгів ПДМ до верхняків несучих арок (рис. 4.3).



- А - ПТС; 1 – ланцюг монорейкового постапу; 2 – несучі рами; 3 – проміжні рами;  
 4 – анкери другого рівня; 5 – анкери першого рівня; 6 – підвіс; 7 – верхняк  
 аркового кріплення; 8 – безпосередня покрівля; 9 – основна покрівля;  
 10 – підошва; 11 – ходові візки; 12 – вантажні платформи; 13 – штанга;  
 14 – система VARIO; 15 – гідродомкрат.

Рисунок – 4.3 Транспортно-технологічна система «ПДМ-КВ-ГМ» для доставки великотоннажних вантажів



Комбіноване дворівневе рамно-анкерне кріплення покрівлі виробок і монорейкового постапу надає можливість ефективно експлуатувати дизельні ПДМ в якості єдиного транспортного засобу на всіх етапах життєвого циклу підготовчої виробки, тобто на стадії її проведення та експлуатації, а також рекомендувати їх при виконанні МДР та підготовці нових виїмкових стовпів до очисного виймання.

З метою поширення області ефективного використання ПДМ нового покоління було проведено моделювання умов взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» з використанням методів математичного аналізу технічних систем та програмного комплексу SolidWorks Simulation.

В процесі моделювання були виявлені особливості навантажень на аркове кріплення та деформування неоднорідного породного масиву навколо виробки при транспортуванні великотоннажних вантажів. Для перерозподілу динамічних навантажень на суміжні ланцюги монорейкового постапу та елементи аркового кріплення і гірничий масив ходові візки 11 були об'єднані в вантажні платформи 12, які за допомогою шарнірно-рухомих штанг 13, дозволили сформувати високоадаптивну ПТС (рис.4.3, позиція А), параметри якої розглядаються в комплексі з рамно-анкерним кріпленням і гірським масивом.

Означені інноваційні технічні рішення та результати моделювання дозволили аргументувати програму подальших досліджень щодо обґрунтування принципу дії і параметрів транспортно-технологічної системи для доставки секцій МК до монтажних камер без по вузлового їх розбирання [13].

Доцільність виконання останнього обумовлено вимогами [8]. В умовах інтенсифікації гірничих робіт проведення дільничних виробок і монтажних камер, а також введення механізованого комплексу в експлуатацію потрібно здійснювати відповідно до графіка організації робіт у мінімально короткі строки з мінімальними обсягами вантажно-розвантажувальних робіт. Специфічні умови

експлуатації шахт ЗД характеризуються нетиповими та критичними ситуаціями, що спонтанно виникають в пластових дільничних виробках (здимання порід підосви, прориви води та ін.) і призводять до порушень режимів роботи системи транспорту і втрат робочого часу. У зв'язку з цим основною вимогою до безпечного функціонування ПДМ в підземних виробках складної конфігурації є висока їх адаптаційна спроможність і надійність - здатність витримувати максимальні навантаження і тривалий час працювати без зниження вихідних параметрів.

Тривалість вимушених простоїв транспортно-технологічної системи рекомендовано визначати коефіцієнтом її простоїв [19], який є відношенням тривалості  $h_{\text{пр}}$  простоїв ПДМ за певний проміжок часу до суми тривалості фактичної роботи транспортного обладнання  $h_{\text{ф}}$  і тривалості його простоїв за той же період часу.

Таким чином коефіцієнт простоїв  $k_{\text{пр}}$  системи «ПДМ-КВ-ГМ» (інакше коефіцієнт пошкодження чи відмови ПДМ) характеризується наступним виразом:

$$k_{\text{пр}} = \frac{h_{\text{пр}}}{h_{\text{ф}} + h_{\text{пр}}} = \frac{1}{1 + \frac{h_{\text{ф}}}{h_{\text{пр}}}} \quad (4.1)$$

В специфічних умовах експлуатації шахт ЗД, що постійно змінюються, тривалість продуктивної роботи системи «ПДМ-КВ-ГМ» рекомендовано оцінювати коефіцієнтом її адаптації  $k_{\text{ад}}$  - справної роботи ПДМ у нетипових та близьких до критичних умов експлуатації:

$$k_{\text{ад}} = \frac{h_{\text{ф}}}{h_{\text{ф}} + h_{\text{пр}}} = 1 - k_{\text{пр}} \quad (4.2)$$

де  $h_{\text{ф}}$  – тривалість фактичної роботи транспортного обладнання за певний проміжок часу, хв/зм;  $k_{\text{пр}}$  - тривалість вимушених простоїв обладнання за цей самий період, хв/зм.

Отриманий по результатам теоретичного моделювання, коефіцієнт адаптації транспортно-технологічної системи є важливою умовою своєчасної підготовки запасів до очисного виймання при інтенсифікації гірничих робіт.

Широке впровадження на вугільних шахтах високопродуктивної техніки нового покоління та інтенсифікація гірничих робіт висувають нові вимоги щодо підготовки нових виїмкових стовпів.

Для своєчасної доставки допоміжних матеріалів і технологічного обладнання до монтажних камер нових виїмкових стовпів рекомендовано використовувати дизельні ПДМ та комбіновану технологію двохрівневого рамно-анкерного кріплення їх монорейкового поставу до покрівлі підготовчих виробок.

Результати моделювання умов взаємодії сполучних ланок монорейки з елементами аркового кріплення при проходженні рухомого складу показали, що процес переміщення укрупнених вантажних одиниць з використанням ПДМ у виробках, закріплених рамно-анкерним кріпленням, необхідно розглядати як складну динамічну транспортно-технологічну систему «ПДМ-КВ-ГМ».

Комплексними дослідженнями доведено, що поведінка цієї системи і її надійність визначаються станом порід покрівлі, несучою здатністю кріплення, параметрами рухомого складу та способом закріплення монорейкового поставу до покрівлі підготовчої виробки та верхняків несучих арок. Останнє зумовлено тим, що на несучі елементи комбінованої системи двохрівневого рамно-анкерного кріплення з одного боку діють статичні сили гірського тиску, а з іншого сили, викликані динамікою руху рухомого складу монорейкової дороги.

Встановлено також, що залежно від характеру прояву гірського тиску та поведінки елементів системи «ПДМ-КВ-ГМ» при динамічних навантаженнях визначається її адаптаційна спроможність і надійність – тобто здатність витримувати максимальні навантаження і тривалий час працювати без зниження вихідних параметрів в реальних умовах шахтного середовища.

Згідно з цим перспективним напрямком подальших досліджень слід вважати визначення надійності транспортно-технологічної системи в типових, нетипових і екстремальних умовах експлуатації.

Подальші теоретичні та експериментальні дослідження повинні бути спрямовані на вивчення дії впливу аварійного гальмування на комбіноване двоурівневе рамно-анкерне кріплення та допустимих швидкостей при транспортуванні великотоннажних вантажів. Результати цих досліджень дозволять визначити потенційні резерви для поширення області ефективного використання дизельних ПДМ в специфічних умовах шахт ЗД.

#### **4.4. Розробка вихідних вимог для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів підвісними монорейковими дорогами**

Згідно з структурно-логічною схемою досліджень на другому етапі методики моделювання рекомендовано розглянути підсистему «монорейковий постав – кріплення виробки» («МС-КВ»). За результатами оцінки отриманих даних про величини деформацій анкерного кріплення та моделювання допустимих навантажень на анкери 2 рівня із застосуванням програмного комплексу SolidWorks Simulation були визначені особливості взаємодії елементів транспортно-технологічної підсистеми «МС-КВ» та запаси їх міцності для декількох варіантів умов експлуатації. Встановлено, що найбільш схильними до механічних руйнувань від дії динамічних навантажень є замкові з'єднання анкерного кріплення.

Отримані дані умов взаємодії елементів підсистеми «МС-КВ» створили базу даних для моделювання їх технічного стану. Методикою комплексних досліджень розроблені нові підходи щодо зниження динамічних навантажень на несучі арки кріплення гірничих виробок.

Дослідженнями експлуатаційних параметрів шахтних ПДМ [18] в нетипових та екстремальних умовах встановлено, що для зменшення динамічних навантажень на кріплення та гірський масив траса ПДМ повинна мати рівномірне розподілення динамічних навантажень по елементах підсистеми «РС-МС».

У зв'язку з цим методика моделювання динамічних навантажень на анкери 2 рівня «МС-КВ» передбачає моделювання процесу розвитку напружено-деформованого стану в анкерах глибокого залягання в нетипових та екстремальних шахтних умовах.

Згідно з рекомендаціями [17] вирішення поставлених завдань виконується у декілька етапів. На початковому етапі для визначення технічного стану анкерів другого рівня формується база вихідних даних, яка включає параметри просторового положення анкеру в межах гірничої виробки, фізико-механічні властивості анкерного кріплення, що знаходиться в експлуатації, а також показники негативних чинників шахтного середовища.

До негативних чинників відносяться динамічні навантаження, які призводять до порушення технічного стану кріплення гірничих виробок.

Основними джерелами інформації для збору вихідних даних служать проектна, будівельна та експлуатаційна документація [15, 16], а також виконаних спеціальних досліджень особливостей динамічних навантажень при транспортуванні великотоннажних вантажів.

Відповідно до програми та методики комплексних досліджень для отримання вихідної інформації виконувався аналіз НДС її елементів, визначались найбільш навантажені ділянки та їх реальна міцність, а також встановлювалась відповідність розрахункових показників запасу міцності цих ділянок нормативним.

Дослідженнями встановлено, що в результаті динамічних навантажень при проходженні стикових з'єднань відбуваються знос чи пошкодження кріплення підготовчих виробок.

Відповідно до розробленої методики програмного моделювання режимів роботи ПДМ, отримані за результатами досліджень данні послужили базою для моделювання стану анкерів глибокого залягання під впливом динамічних навантажень при транспортуванні великотоннажних вантажів.

В процесі моделювання анкери другого рівня під навантаженням та гірничавиробка в програмі SolidWorks Simulation розглядалися комплексно. Використовуючи МСЕ [14], програма дозволила виконати структурний аналіз поведінки системи при динамічних навантаженнях та прогнозувати технічний стан анкерів у в реальних умовах шахтного середовища. Методикою досліджень передбачено сформованими САД-моделями, встановити гранично допустимі напруження в анкерному кріпленні.

Промодельована ділянка гірничої виробки складається з анкерів другого рівня довжиною 3,4 м. Анкери для підвісу ПДМ, що поставляються шахтам, виготовлені з канатної сталі без спеціального покриття. Фізико-механічні властивості матеріалу, що розглядаються в сформованих САД-моделях, наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Основні властивості канатної сталі

Властивості	Значення	Одиниці виміру
Модуль пружності	190000	Н/мм <sup>2</sup>
Модуль зсуву	75000	Н/мм <sup>2</sup>
Масова щільність	8000	кг/м <sup>3</sup>
Межа міцності при розтягуванні	517	Н/мм <sup>2</sup>
Коефіцієнт Пуассона	0,29	
Межа плинності	206	Н/мм <sup>2</sup>
Теплопровідність	16	W/(м·K)
Питома теплоємність	500	Н/м <sup>2</sup>

Для моделювання умов взаємодії елементів технічної підсистеми «МС-КВ» в середовищі САПР за еталон була прийнята існуюча підготовча ділянка шахти «Степова» ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля» в період її експлуатації.

На підставі результатів дослідження математичних моделей поведінки підсистеми «МС-КВ» визначалися розміри моделі з урахуванням мінімізації впливу геометрії моделі на результати моделювання.

Геометричні розміри моделі розраховувалась за формулою:

$$B = h + 4 \times D_B \quad (4.3)$$

де  $h$  - Висота виробки, м;  $D_B$  – приведений діаметр виробки, м.

$$D_B = \sqrt{4 \times \frac{S_{пр}}{\pi}} \quad (4.4)$$

де  $S_{пр}$  – площа поперечного перерізу виробки, м<sup>2</sup>.

Довжина анкерів глибокого закладання розраховуються за формулою (2.27) розділу 2.5.

Геометрія моделі будувалась з використанням масштабу 1:1 за розмірами поданими у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Геометричні розміри моделі для проведення моделювання

Назва параметру	Значення	Одиниці виміру
Висота моделі, В	24	м
Глибина залягання, Н	300	м
Середня щільність порід, $\gamma$	2600	кг/м <sup>3</sup>
Коефіцієнт Пуассона $\mu$	0,25	
Ширина виробки, b	4460	мм
Висота виробки, h	3800	мм
Кут нахилу анкерів глибокого закладання, $\beta$	70	градусів
Довжина анкерів глибокого закладання, $l_{a.п}$	3400	мм

У ролі вихідних даних матеріалу моделі були прийняті фізико-механічні властивості порід характерних для шахт ЗД. Середні значення показників подано у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Фізико-механічні властивості порід

Назва породи	Фізико – механічні властивості					
	Модуль пружності, Н/мм <sup>2</sup>	Коефіцієнт Пуассона	Межа міцності при розтягуванні, Н/м <sup>2</sup>	Межа міцності при стисканні, Н/м <sup>2</sup>	Вологість, %	Тріщинуватість
Алевроліт	16600	0,394	18	381	2,0	1-3
Аргіліт	21200	0,41	25	280	2,6	4-5
Пісковик	27100	0,41	150	680	5,2	1-3
Вугілля	4700	0,33	14	300	4,4	10-15

На практиці монорейковий став ПДМ підвішується до верхняків арок або анкерів. Комбінована система підвіски, яка пропонується, водночас закріплюється до верхняків аркового кріплення та анкерів глибокого залягання за допомогою ланцюгів. Сегменти підвіски з'єднанні між собою таким чином, щоб рівномірно розподілити динамічні навантаження від транспортування великотоннажних вантажів між двома типами кріплення. Таке конструктивне рішення дозволяє розглянути кожний тип кріплення окремо, враховуючи коефіцієнт динамічності, спрощуючи задачу моделювання складної підсистеми «МС-КВ».

Наступним етапом моделювання встановлювали вихідні навантаження  $P$ , обмеження та сітку моделі. Згідно з [17] навантаження на елемент підсистеми «МС-КВ» дорівнює

$$P = \frac{P_{\text{п}}^{\text{max}} k_{\text{д}}}{b C_{\text{п}}} \quad (4.5)$$

де  $P_{\text{п}}^{\text{max}}$  -максимальне статичне навантаження на одну підвіску, кН, розраховується за виразом (2.23) наведеному у розділі 2.5;  $C_{\text{п}}$  -відстань між підвісками ПМД, м, приймається 3м;  $k_{\text{д}}$  - коефіцієнт, що враховує вплив на покрівлю динамічних навантажень, що виникають під час перевезення вантажів.

Згідно з рекомендаціями коефіцієнт динамічного навантаження на анкерне кріплення  $k_{\text{д}} \geq 2$ .



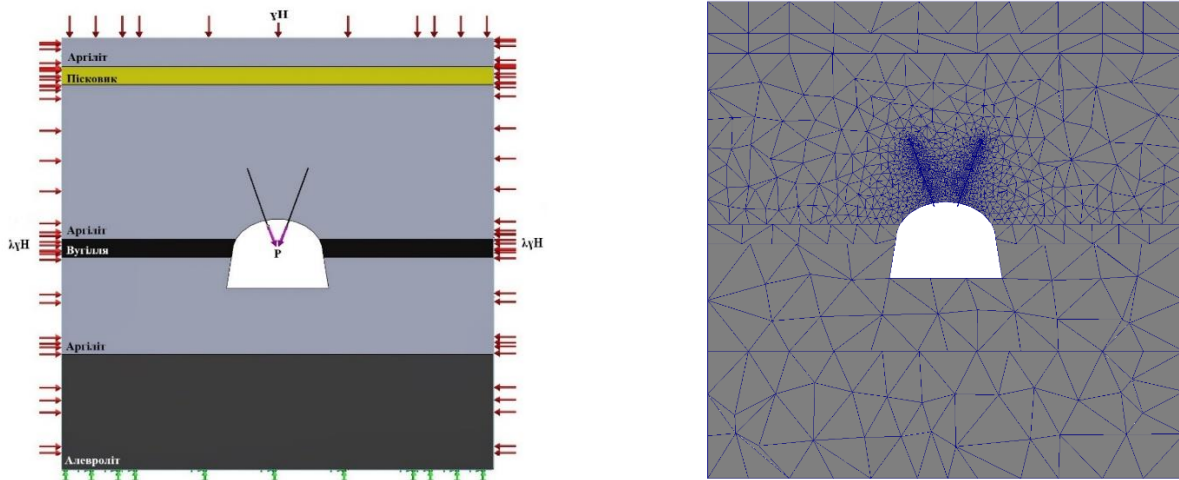
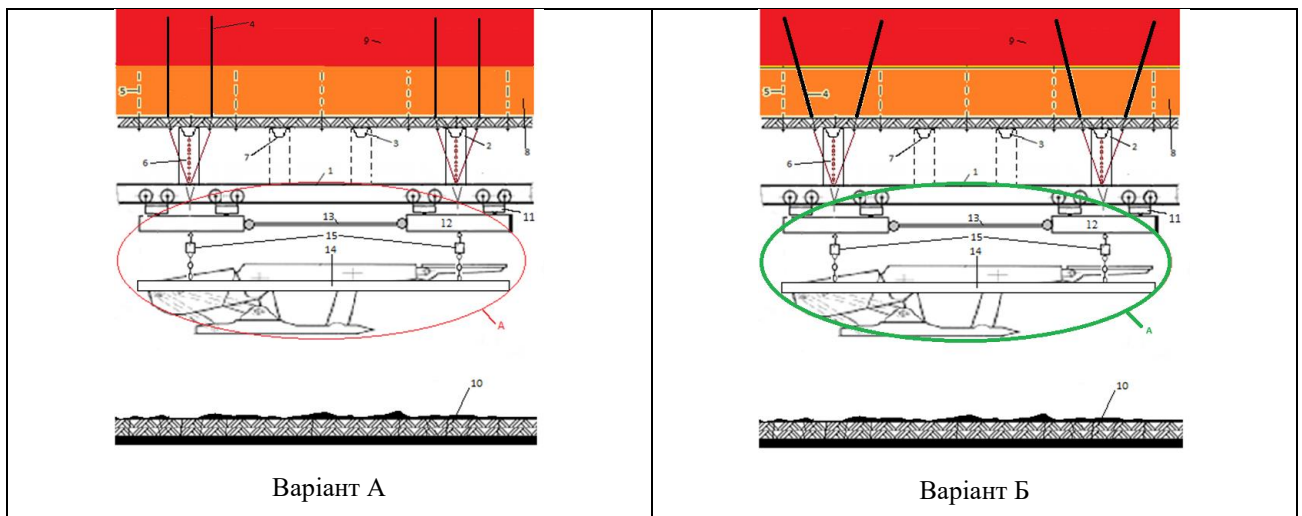


Рисунок 4.4 – Вихідні обмеження, навантаження та сітка скінчених елементів

Згідно з задачею дисертаційного дослідження було розглянуто два варіанти просторового положення анкерів другого рівня для додаткового закріплення монорейкового поставу ПДМ. На рис. 4.5 зображені варіанти транспортно-технологічних схем підвішування монорейкового поставу до верхняків аркового кріплення та анкерів глибокого залягання.



А - ПТС; 1 – ланцюг монорейкового поставу; 2 – несучі рами; 3 – проміжні рами; 4 – анкери другого рівня; 5 – анкери першого рівня; 6 – підвіс; 7 – верхняк аркового кріплення; 8 – безпосередня покрівля; 9 – основна покрівля; 10 – підшва; 11 – ходові візки; 12 – вантажні платформи; 13 – штанга; 14 – система VARIO; 15 – гідродомкрат.

Рисунок 4.5 – Транспортно-технологічні схеми підвішування монорейкового поставу до верхняків аркового кріплення та анкерів другого рівня

За результатами оцінки технічного стану кріплення шахтних підвісних монорейкових доріг було встановлено, що найбільш схильними до деформацій ділянками є верхняки аркового кріплення та замкові з'єднання анкерів глибокого залягання. В теоретичних дослідженнях умов взаємодії елементів технічної підсистеми «МС-КВ» при транспортуванні великотоннажних вантажів монорейкова траса ПДМ була розподілена на характерні зони з найбільшими динамічними навантаженнями (рис.4.6). Для розрахунку навантажень і деформацій в характерних вузлах елементів технічної підсистеми «МС-КВ» зони анкерів глибокого залягання за допомогою МСЕ розбивались на поелементні сітки.

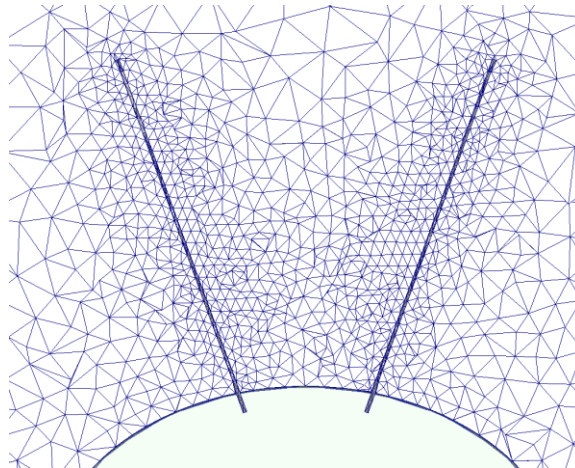


Рисунок 4.6 – Сітка скінчених елементів технічної підсистеми «МС-КВ»

В представлений моделі для встановлення навантажень і параметрів елементів підсистеми «МС-КВ» були використані реальні показники динамічних навантажень при транспортуванні великотоннажних вантажів за допомогою ПТС у двох варіантах просторового положення анкерів глибокого залягання.

Застосований для моделювання технічного стану монорейкової траси програмний комплекс SolidWorks Simulation дозволив встановити еквівалентні напруження та межу міцності анкерів другого рівня при транспортуванні великотоннажних вантажів.

Допустимі значення спротиву на розрив у анкерів другого рівня за заводськими параметрами становлять 240 МПа. За результатами моделювання навантажень за двома варіантами просторового положення анкерів глибокого залягання з урахуванням коефіцієнту динамічності та рівномірного розподілення динамічних навантажень між елементами комбінованого рамно-анкерного кріплення були отримані наступні результати.

Таблиця 4.5 – Результатами моделювання навантажень за двома варіантами просторового положення анкерів глибокого залягання

Варіант 1		Варіант 2	
Маса великотоннажного вантажу, т	Інтенсивності напруження за фон $\sigma_{\text{von}}$ Mises, МПа	Маса великотоннажного вантажу, т	Інтенсивності напруження за фон $\sigma_{\text{von}}$ Mises, МПа
2	63	2	63
4	95	4	95
6	127	6	127
8	159	8	159
10	190	10	190
12	222	12	222
14	255	14	255
16	287	16	287

На рис. 4.7 наведені напруження Von Mises, що виникають у анкерах глибокого залягання в результаті дії динамічних навантажень від транспортування великотоннажного вантажу масою 8, 12, 16 т. Отримані інтенсивності напружень за фон  $\sigma_{\text{von}}$  Mises, МПа надають інформацію, достатню для оцінки надійності конструкції.

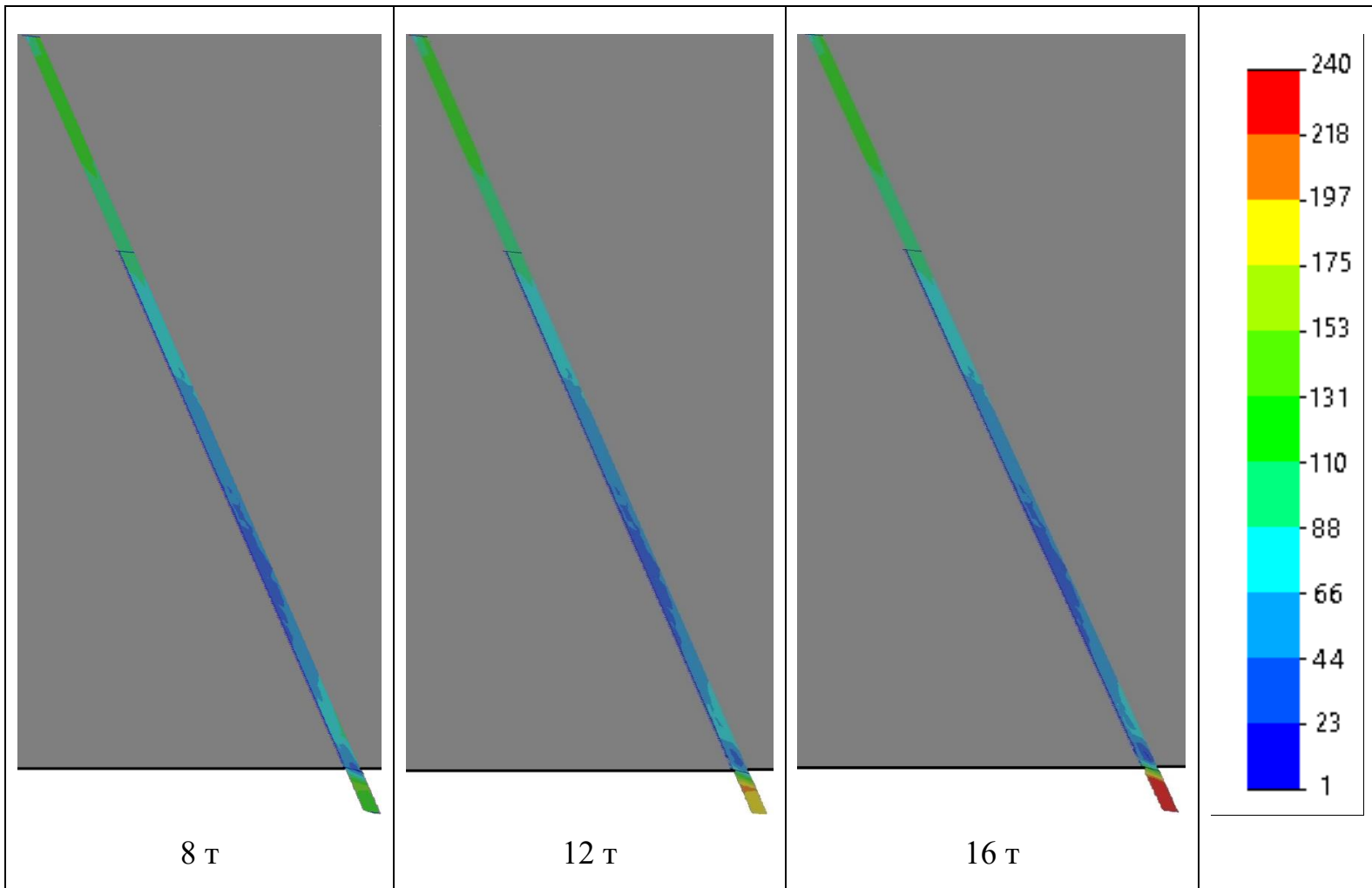


Рисунок 4.7 – Інтенсивності напружень за фон  $\sigma_{\text{von}}$  Mises у анкерах глибокого залягання від транспортування великотоннажних вантажів

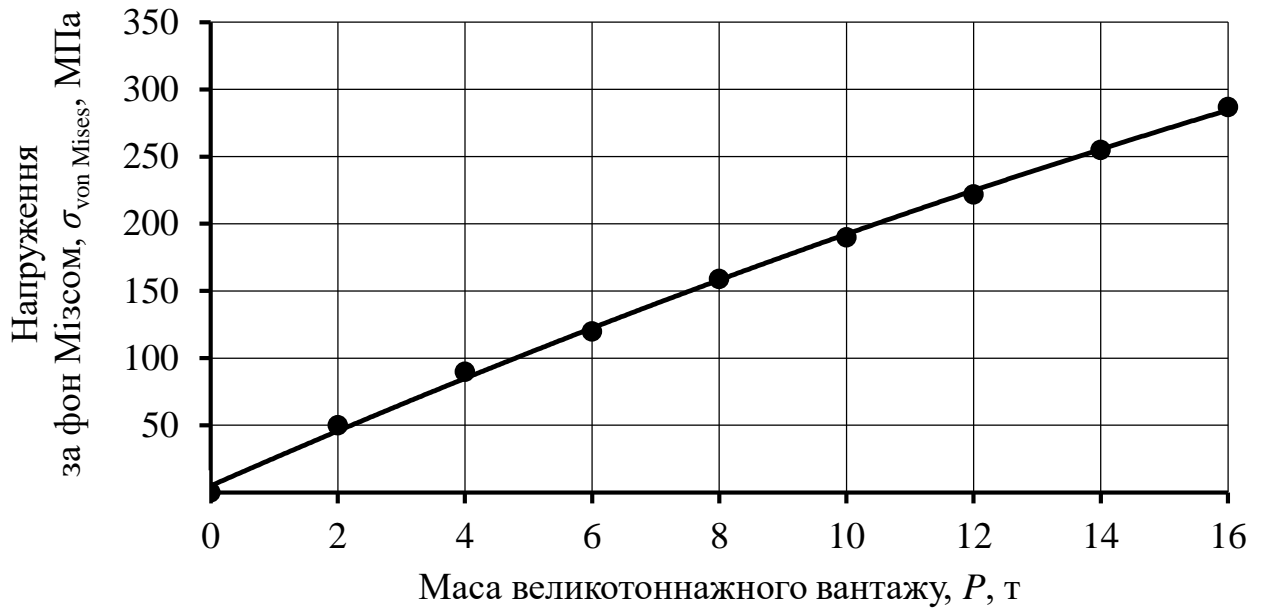


Рисунок 4.8 – Графік залежності інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  у анкері другого рівня від маси великотоннажного вантажу  $P$

Провівши апроксимацію максимальних значень (рис. 4.8), отримано емпіричну залежність зміни величини інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  у анкері другого рівня від маси великотоннажного вантажу  $P$ . Для анкерів другого рівня величина напружень за фон Мізесом залежно від маси великотоннажного вантажу визначається за виразом:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = 21 \times P - 0,19 \times P^2, \text{ МПа, при } R^2 = 0,9987, \quad (4.6)$$

де  $P$  – маса великотоннажного вантажу, т;  $R^2$  – достовірність апроксимації.

Перевірка на міцність анкера другого рівня виконується за такими умовами

$$\sigma_{\text{von Mises}} < [\sigma_p], \text{ МПа,} \quad (4.7)$$

де  $\sigma_p$  – межа міцності матеріалу стержня анкера на розтягання, МПа.

Аналіз результатів моделювання умов взаємодії елементів підсистеми «МС-КВ» свідчить, що при використанні комбінованого рамно-анкерного кріплення з одночасним кріпленням монорейкового поставу до анкерів другого рівня та верхняків аркового кріплення, за умови використання ПТС [13] в специфічних умовах ЗД дозволить розширити потенційні резерви дизельних ПДМ.

Таблиця 4.6 – Прогноз залежності інтенсивності напруження за фон  $\sigma_{\text{von}}$  Mises анкерів глибокого залягання від маси  $P$  великотоннажного вантажу

Маса великотоннажного вантажу, т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Інтенсивність напруження за фон $\sigma_{\text{von}}$ Mises, МПа	39	63	81	95	111	127	143	159	175	190	206	222	239	255	270	281

Отримані показники взаємодії елементів підсистем «РС-МС» та «МС-КВ» за результатами комп'ютерного моделювання встановили, що дію динамічних навантажень можливо зменшити шляхом розподілення маси великотоннажного вантажу між декількома елементами складної динамічної транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ». Прийняті інноваційні технічні рішення дозволили підвищити максимально допустимі межі використання ПДМ при доставці великотоннажних вантажів.

#### **4.5 Рекомендації щодо підвищення графіків виконання монтажних-демонтажних робіт з використанням альтернативних видів допоміжного транспорту**

Своєчасна підготовка виїмкових стовпів до очисного виймання залежить від багатьох технічних та технологічних чинників і зокрема, від організації монтажних-демонтажних і налагоджувальних робіт в комплексно-механізованих очисних вибоях.

Щорічно на діючих шахтах ЗД виконується близько 20-25 монтажів і майже стільки ж демонтажів обладнання очисних механізованих комплексів (ОМК) [21].

В системі виробничих об'єднань з видобутку вугілля функціонують спеціалізовані управління МДР, але процеси по перемонтажу секцій ОМК та іншого технологічного обладнання лав переважно виконуються силами шахт. Найбільш трудомісткими і складними роботами вважаються транспортно-технологічні процеси і операції.

У попередні роки на шахтах ЗД для транспортування секцій ОМК типу КД та МК використовувалась транспортно-логістична система «ПАКОД», яка передбачає механізацію вантажно-розвантажувальних і транспортно-такелажних робіт та доставку секцій до місця їх монтажу на спеціальних платформах.

З впровадженням зарубіжних високопродуктивних ОМК типу «Острой» виникли проблеми з доставки демонтованих секцій до монтажних камер нового виїмкового стовпа по виробкам з активним здиманням порід підшоши і інтенсивними притоками води. Обумовлено це тим, що габарити та маса обладнання ОМК нового типу значно перевищують показники попередніх зразків.

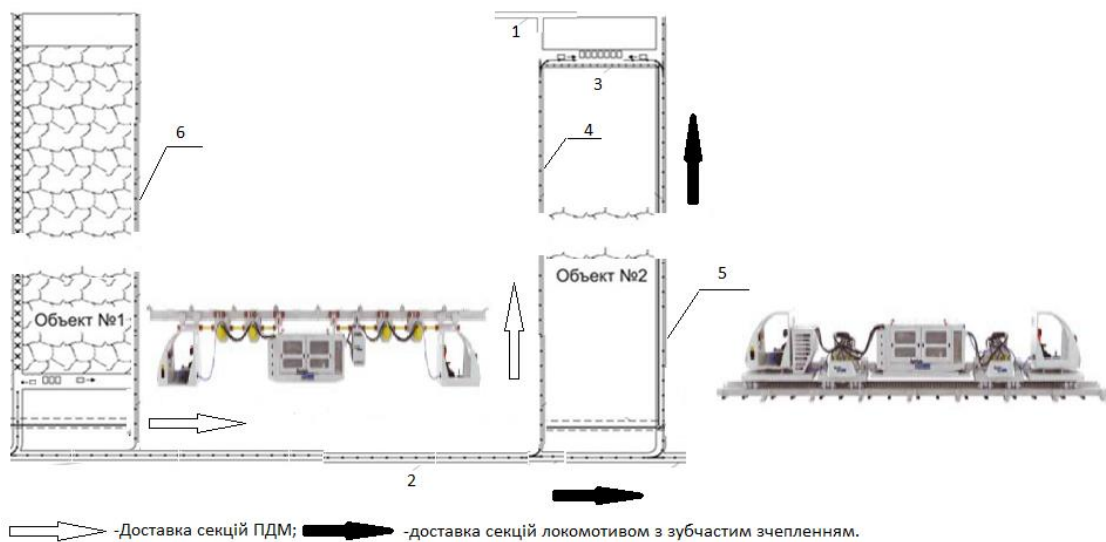
Специфічні умови експлуатації пластових дільничних виробок на шахтах регіону обумовили необхідність удосконалення діючих технологічних схем доставки демонтованих секцій з використанням транспортних засобів нового покоління.

Експериментально доведено [1], що в дільничних виробках з низькою несучою здатністю порід підшоши негативні чинники шахтного середовища накладають обмеження на умови транспортування великотоннажних вантажних одиниць, понижують ефективність роботи транспортних заходів і, як наслідок, збільшують терміни виконання МДР та значні збитки від несвоєчасного введення в дію нових виїмкових стовпів.

Для обґрунтування раціональних параметрів виконання МДР в умовах шахт ЗД виконана оцінка діючих схем та досвід використання спеціальних засобів і транспортного обладнання вітчизняного і зарубіжного виробництва. По результатам оцінки встановлено, що для транспортування секцій ОМК з демонтажної камери відпрацьованої виїмкової дільниці до монтажної камери нової лави в протяжних криволінійних виробках і виконання МДР в монтажних камерах доцільно використовувати дизельні ПДМ. Але підвищення ефективності доставки секцій в специфічних умовах шахт ЗД викликає ряд проблем, пов'язаних з утриманням перерізу пластових дільничних виробок

У зв'язку з цим для підвищення ефективності діючих транспортно-технологічних схем доставки секцій ОМК до монтажних камер проведені дослідження та подано заявку на патент [13] щодо доцільності розробки і застосування нових, відмінних від традиційних, способів підготовки виїмкових стовпів з використанням нетрадиційних для регіону транспортних засобів та кріплення.

На рис. 4.9 представлена принципова схема монтажу секцій МК з середини монтажної камери з використанням нетрадиційних для регіону видів допоміжного транспорту.



1 – дренажний штрек; 2 - магістральний штрек; 3 - монтажна камера;  
4 - вентиляційний хідник; 5 - конвеєрний хідник; 6 - бортовий хідник.

Рисунок 4.9 – Схема монтажу з середини лави з одночасним постачанням секцій МК по вентиляційному і конвеєрному хідникам

Згідно з рекомендаціями [21] для доставки секцій МК по конвеєрному хіднику рекомендується застосовувати дизельні ПДМ. Доставку секцій по вентиляційному хіднику бажано виконувати рейковим дизельним локомотивом з зубчатою рейкою, доцільність використання якого в специфічних умовах шахт ЗД обумовлена наявністю діючої рейкової колії та результатами попередніх досліджень кафедри [1].

Для адаптації наведеної транспортно-технологічної схеми до реальних умов шахтного середовища та вимог ПБ розроблена програма проведення комплексних досліджень параметрів взаємодії складових елементів



рекомендованих транспортних засобів та виконані розрахунки їх експлуатаційних показників з урахуванням особливостей гірничотехнічних умов розробки вугільних пластів шахт ЗД.

До особливостей технологічних схем транспортування великотоннажних секцій ОМК локомотивами віднесені інтенсивне здимання порід підшоши, обводнені ґрунти підготовчих виробок та підвищенні динамічні навантаження на кріплення підготовчих виробок та їх покрівлю.

По результатам виконаних досліджень були розроблені вихідні вимоги щодо створення і впровадження високоадаптивної ПТС [13] для зменшення динамічних навантажень на елементи рамно-анкерного кріплення від дії рухомого складу ПДМ при доставці великотоннажних вантажів до монтажних камер нових виїмкових стовпів.

#### **Висновки по розділу 4**

1. За результатами оцінки технічних рішень щодо зниження динамічних навантажень на кріплення підготовчих виробок від дії рухомого складу обрано раціональну схему кріплення монорейкового поставу, що включає в себе одночасне кріплення монорейкової траси до верхняків аркового кріплення та порід основної покрівлі з використанням анкерів другого рівня.

2. Обґрунтовано параметри технологічної схеми двохрівневого кріплення підготовчих виробок та способи зниження динамічних навантажень на верхняки рамного кріплення та гірський масив при транспортуванні великотоннажних вантажів.

3. За допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation досліджено зміни напружено-деформованого стану несучих елементів підсистеми «монорейковий постав – кріплення виробки» залежно від величини маси великотоннажного вантажу. Отримана квадратична залежність інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{\text{von Mises}}$  у анкері другого рівня від маси великотоннажного вантажу  $P$ .

4. Розроблені вихідні вимоги для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів дизельними підвісними монорейковими дорогами до підготовчих вибоїв та монтажних камер в умовах шахт Західного Донбасу.

5. Запропоновані рекомендації щодо підвищення графіків виконання монтажно-демонтажних робіт з використанням альтернативних видів допоміжного транспорту та монтажу очисного обладнання з середини монтажною камери та одночасним постачанням секцій МК по вентиляційному і конвеєрному хідникам за допомогою ПДМ та шахтних локомотивів з зубчасто-рейковою передачею.

#### Список використаних джерел за розділом 4

1. Shyrin, L.N., Rastsvietaiev, V. O., Koval, A.Y. (2014). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty monoreikovykh dorih pid chas pidhotovky zapasiv vuhillia do ochysnoi vyimky: *Monohrafiia. Natsionalnyi hirnychyi universytet: Dnipropetrovsk*. <http://ir.nmu.org.ua/jspui/bitstream/123456789/146544/1/CD528.pdf>

2. Bulat, A.F., Usachenko, B.M., Yalanskij, A.A. (1999). Rukovodstvo po geofizicheskoy diagnostike sostoyaniya sistemy "krep - porodnyj massiv" vertikalnyh stvolov: *Dopolnenie k «Posobiyu po vosstanovleniyu krep i armirovki vertikalnyh stvolov. RD 12.18.073-88»*. Doneck: ООО "Lebed"

3. Egorov, S.I., Halimendik, Yu.M., Kurchenko, Ye.P. (2002). Obobshenie opyta krepleniya i ohrany podgotovitelnyh vyrabotok. *Ugol Ukrainy*. (5), 19–21.

4. Bondarenko, V.I., Kovalevskaya, I.A., Simanovich, G.A., Chervatyuk, V.G. (2012). Geomehanika nagruzheniya krep ochistnyh i podgotovitelnyh vyrabotok v sloistom massive slabyh porod. Monografiya. *LizunovPres: Dnepropetrovsk*. S233.

5. Vinogradov, V.V., Krukovskij, A.P., Hovorostyan, V.A. (2010). Oporno-ankerne kriplennya girnichih virobok vugilnih shaht Ukrayini. *IGTM HAH Ukrainy: Dnepropetrovsk*. (88), 170–179.

6. Ширін, Л. Н., Коровяка, Є. А., Посунько, Л. М., Расцветаєв, В. О., Шаріна, В. С. (2018). Поширення області ефективного застосування підвісних монорейкових доріг в умовах відпрацювання похилих вугільних пластів. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. (55), 255–266. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu\\_2018\\_55\\_27](http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpngu_2018_55_27)

7. Denyshchenko, A. V. (2011). *Shakhtni kanatni dorohy: Monohrafiia. Natsionalnyi hirnychi universytet: Dnipropetrovsk*. <http://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/1046?show=full>

8. NPAOP. (2011). *Vymohy bezpeky do tekhnologii vykonannia robit z montazhu ta demontazhu mekhanizovanykh kompleksiv dlia polohykh ta pokhylykh plastiv*. Luhansk: Vuhlemekhanizatsiia. [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art\\_id=210138](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=210138)

9. Ahaiev, R., Dudlia, K., Prytula, D. (2019) Establishing the interrelation of the main influencing factors on the safety of methane-air mixture transportation. *International Conference Essays of Mining Science and Practice*, E3S Web of Conferences <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900002>

10. Tokarczyk, J. (2017) *Metodyka identyfikacji wybranych zagrożeń mechanicznych w pomocniczym transporcie podziemnych zakładów górniczych*. Gliwice: *Instytut Techniki Górniczej*

11. Pytlik, A. (2019) Tests of steel arch and rock bolt support resistance to static and dynamic loading induced by suspended monorail transportation. *Studia Geotechnica et Mechanica*. 41(2) (pp.81-92). <https://doi.org/10.2478/sgem-2019-0009>

12. Терещук Р.Н. (2015). Обеспечение устойчивости подготовительных выработок глубоких угольных шахт. Монография. Днепропетровск: Национальный горный ун-т. 134 с.

13. Ширін Л.Н., Герасименко А.О., Ширін А.Л., Єгорченко Р. Р., Коптовець О.М., Дьячков П.А., Інюткін І.В. (2022). Підйомна-транспортна система для доставки вантажів (Україна/Дніпро Заявка на винахід а2022 02487 від 14.07.22). Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».

14. Herbuś, K.; Szewerda, K.; Świder, J. (2020). Virtual prototyping of the suspended monorail in the aspect of increasing the permissible travel speed in hard coal mines. *Eksploat. Niezawodn.*, 4, 610-619. [DOI: 17531/ein.2020.4.4, ISSN 1507-2711](https://doi.org/10.1515/eksploat-2020-0044)
15. Stalevi konstruktsii. (2014). *Normy proektuvannia*. K.: Minrehion Ukrainy.
16. Wilcox, P., Evans, M., Diligent, O., Lowe, M., Cawley, P. (2002). Dispersion and excitability of guided acoustic waves in isotropic beams with arbitrary cross section. *Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation: Vol. 21*, 203-210.
17. Herasymenko, A.O., Rastsvietaiev, V.O., Shyrin, A.L. (2023). Selection of the means of auxiliary transportation facilities and adaptation of their parameters to specific operation conditions. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*: 2, 40–46. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-2/040>
18. Shyrin, L., Herasymenko, A., Inyutkin, I. (2023). Modelling the suspended monorail route stresses and deflections during the transport of heavy loads with use of diesel locomotives. *Mining Machines*: 41(2), 132-142. <https://doi.org/10.32056/KOMAG2023.2.5>
19. Ширін, Л.Н., Герасименко, А.О., Коптовец, О.М., Фелоненко, С.В. (2023). Технологія комбінованого кріплення підготовчих виробок для ефективного використання підвісних монорейкових доріг. *Збірник наукових праць НГУ*: (72), 77 – 86.
20. Szewerda, K., Tokarczyk, J., Božek, P., Michalak, D., Drwięga, A. (2020). Vibrations diagnostics and analysis in operator's and passenger cabins of a suspended monorail. *Acta Montan. Slovaca*: 2, 150–158
21. Borzyh, A.F., Kuzmenko, A.M., Safonov, V.I., Ryabichev, V.D. (2008). *Montazh i demontazh ochistnyh mehanizirovannyh kompleksov ugolnyh shaht. Vostochnoukr. nac. un-t im. Vladimira Dalya*: Doneck: Nord-Press.
22. Ширін, Л.Н., Расцветаев, В.О., Лебідь, О.Л. (2011). Спосіб розробки пологих вугільних пластів. Патент № 100607 (Україна/Дніпропетровськ заяв. 14.06.2011; опубл. 10.01.2013; Бюл. №5). *Державний ВНЗ «НГУ»*.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.

Дисертація є завершеною науковою роботою, у якій на підставі теоретичних висновків і результатів експериментальних досліджень виконано актуальне завдання, що полягає в обґрунтуванні експлуатаційних параметрів та технічного стану шахтних підвісних монорейкових доріг для швидкісної підготовки нових виїмкових стовпів.

За результатами відображених у роботі досліджень можна зробити такі висновки і рекомендації:

1. уперше за допомогою методу скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation досліджено зміни напружено-деформованого стану несучих елементів підсистеми «МС-КВ» залежно від величини маси великотоннажного вантажу. Отримана квадратична залежність інтенсивності напружень за фон Мізесом  $\sigma_{von Mises}$  у анкері другого рівня від маси великотоннажного вантажу  $P$ , що дозволило виконати структурний аналіз поведінки підсистеми при транспортуванні великотоннажних вантажів та прогнозувати технічний стан складної системи «ПДМ-КВ-ГМ» в реальних умовах шахтного середовища.

2. використовуючи метод скінченних елементів у програмному комплексі SolidWorks Simulation досліджено зміни напружено-деформованого стану елементів підсистеми «РС-МС» залежно від величини маси великотоннажного вантажу. Отримана лінійна залежність прогину балки монорейки  $f_0$  від маси великотоннажного вантажу  $p$ . Розглянута складна взаємодіюча транспортно-технологічна підсистема «РС-МС» в реальних умовах шахтного середовища під впливом динамічних навантажень безперервно змінює свій первісний стан як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах.

3. обґрунтовано інноваційні технічні рішення по модернізації діючих схем підвішування великотоннажних вантажів, запропонована високоадаптивна ПТС для перерозподілу динамічних навантажень на монорейковий постав. Доведено, що дію динамічних навантажень можливо зменшити шляхом розподілення маси великотоннажного вантажу між декількома ланками монорейкового поставу.

4. розроблені вихідні вимоги для формування транспортно-технологічних схем доставки великотоннажних вантажів підвісними монорейковими дорогами. Що включають в себе одночасне кріплення монорейкової траси до верхняків аркового кріплення та анкерів другого рівня з використанням високоадаптивної ПТС для перерозподілу динамічних навантажень на несучих елементи складної взаємодіючої транспортно-технологічної системи «ПДМ-КВ-ГМ» в реальних умовах шахтного середовища.

# ДОДАТКИ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

## Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

### ПОГОДЖЕНО:


Радник генерального директора  
ПАТ ДТЕК «Павлоградвугілля»  
канд. техн. наук

  
О.І. Коваль  
2024



### ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи  
НТУ «Дніпровська політехніка»  
д-р техн. наук, професор

  
І.С. Нікітенко  
2024



### ВИХІДНІ ВИМОГИ

на розробку транспортно-технологічної системи доставки  
великотоннажних та негабаритних вантажів до підготовчих вибоїв і  
монтажних камер із застосуванням підвісних монорейкових доріг  
в умовах шахт Західного Донбасу

Дніпро  
2024

## Додаток Б

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Проректор з наукової роботи  
НТУ «Дніпровська політехніка»

д.т.н., професор

І.С. Нікітенко

2024р



**МЕТОДИКА**

модельовання параметрів взаємодії елементів транспортно-технологічної системи «підвісна монорейкова дорога – кріплення виробки – гірничий масив» при проведенні і експлуатації пластових підготовчих виробок в умовах шахт Західного Донбасу

2024



## Додаток В





## Додаток Г

