

**Practical significance.** A comprehensive account of the impact of various factors on the stress-strain state of the rope allows determining the loss of tractive capacity in operation on the hoisting engine. The results should be taken into account in the design and operation of hoisting and transporting machines with flat traction bodies.

**Keywords:** *hoisting engine drum, geometrical parameters, flat rubber-rope cable, breaks of tractive elements, complete the impact of various factors, stress-strain state, and analytical dependences.*

УДК 622. 625. 5

© О.В. Денищенко, С.Є. Барташевський, А.В. Склярів, Т.А. Бедило

## **НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ УКЛАДАННЯ ТА КОНТРОЛЮ СТАНУ ШАХТНИХ РЕЙКОВИХ КОЛІЙ**

© O.Denyshchenko, S.Bartashevskiy, A.Skliarov, T.Bedylo

## **NEW TECHNOLOGIES OF CONCLUSION AND CONTROL OF THE STATE OF MINE CLAOTYPE TRACKS**

Проведено аналіз сучасного стану рейкових колій вугільних шахт та виділено основні чинники, що впливають на їх стабільність. Запропоновані технічні рішення, що дозволять підвищити термін служби елементів верхньої будови шляху, та засоби контролю його стану в процесі експлуатації.

Проведен анализ современного состояния рельсовых путей угольных шахт и определены основные факторы, влияющие на их стабильность. Предложены технические решения, позволяющие повысить срок службы элементов верхнего строения пути, и средства контроля его состояния в процессе эксплуатации.

**Вступ.** При транспортуванні вантажів шахтними локомотивами і канатними надгрунтовими дорогами по підземним гірничим виробкам рухомий склад сприймає динамічний вплив від рейкової колії, який призводить до підвищення опору руху, зниження продуктивності відкатки, стійкості і довговічності транспортних засобів, зростання енерговитрат, аварійності і травматизму. Шахтними спостереженнями та теоретичними дослідженнями встановлено, що основним джерелом збурюючої дії на рухомий склад є зміни геометрії рейкового шляху – завищені поздовжні і поперечні ухили шляху, невитримана ширина колії тощо.

**Огляд останніх досліджень.** Для опису характеру взаємодії рухомого складу і колії були проведені аналітичні дослідження геометрії шахтної колії та її нерівностей. Подібна задача достатньо вивчена для магістральних залізниць і результати цих досліджень з використанням шляховимірювальних вагонів ши-

роко застосовуються в практиці [1]. Стосовно до шахтного рейкового транспорту, що працює в складних гірничо-геологічних умовах (значний водоприток, здимання ґрунту виробок і т. д.), питання вивчення геометрії колії і розробка заходів щодо забезпечення його відповідності прийнятим нормам залишається актуальним.

На підставі попередніх досліджень були визначені основні характеристики колії в транспортних капітальних виробках з стійкими вміщуючими породами та з малою пропускнуою здатністю. Експериментальні та теоретичні дослідження геометричних недосконалостей рейкового шляху, проведені авторами у виробках із здимаючими ґрунтами в умовах шахт Західного Донбасу [2], дозволили одержати достовірну інформацію про реальний стан колії (рис.1), аналіз якої вказує на суттєве відхилення основних параметрів від нормованих.

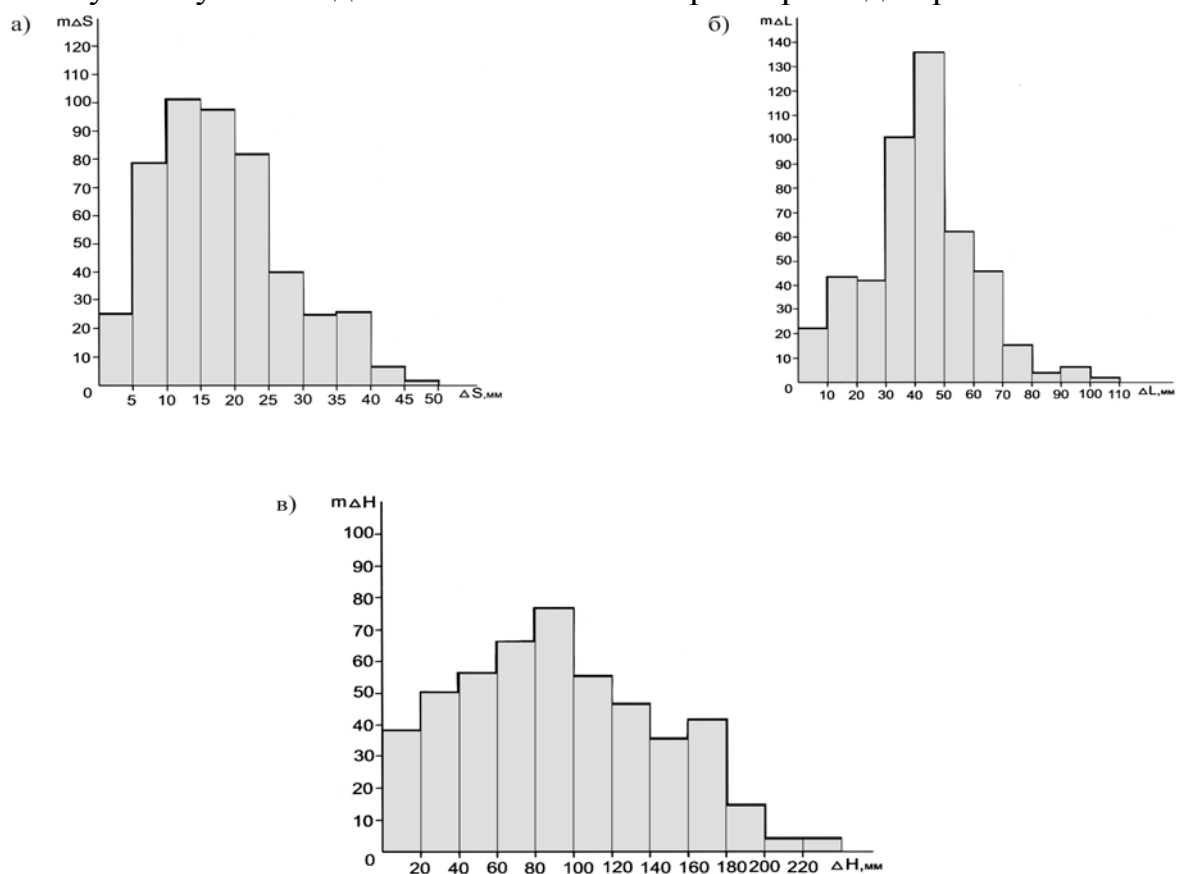


Рис. 1. Гістограма розподілення щільності ймовірності:  
а) – уширення колії; б) – поздовжнього профілю; в) – поперечного профілю

**Мета роботи** – підвищення надійності шахтної рейкової колії на основі розробки та впровадження нових технічних рішень.

**Основна частина.** Багаторічний досвід експлуатації шахтної рейкової колії дозволяє виділити основні фактори, що впливають на її надійність: наявність баластного шару, здуття порід ґрунту виробок при значному водопритокі, ви-

користання дерев'яних шпал, недосконалість рейкових скріплень, низький рівень контролю за укладанням та поточним станом рейкових шляхів

Без сумніву, використання традиційного для поверхневих шляхів баластного шару з щебеню міцних гірських порід має позитивний вплив на стан рейкового шляху і там, де виробки проводяться по таким породам, необхідно передбачати їх дроблення і укладання під шпали. На більшості ж шахт України вміщуючі м'які породи непридатні для цього, а доставка з поверхні баластувальних твердих порід пов'язана з ускладненням роботи транспортної системи, підвищенням загальношахтних витрат і собівартості корисної копалини.

Оскільки здимання порід ґрунту виробок і водоприток є природними факторами, які слабо піддаються керуванню ззовні, їх необхідно враховувати при виборі конструкції і експлуатації рейкової колії та застосовувати попереднє дренажування і відповідне кріплення виробок.

Умови роботи дерев'яних шпал на підземному рейковому транспорті багато в чому аналогічні загальнопромисловим, однак процеси гниття тут відбуваються набагато інтенсивніше через обводнення, комфортну для розмноження гнильних бактерій температуру атмосфери та наявність у ній різних органічних сполук. Зазвичай термін служби дерев'яних шпал не перевищує двох років, а вартість дефіцитної деревини постійно збільшується. Перспективним напрямком з точки зору підвищення терміну служби є застосування залізобетонних шпал, однак проведені дослідження свідчать про їх руйнування в процесі експлуатації із збільшенням вантажопотоку до 1 млн. тонн на рік. Очевидно, що на магістральних шахтних рейкових шляхах зі строком служби більше двох років використання дорогих залізобетонних шпал економічно виправдано, чого не можна сказати про дільничі виробки.

В останні десятиліття в світі спостерігається стійка тенденція використання залізничних шпал з вторинного поліетилену, одержаного в результаті переробки побутових відходів. Крім очевидної ефективності позбавлення людства від цього шкідливого тягаря, отримані матеріали мають ряд відповідних фізико-механічних властивостей: достатню міцність, пружність, не підвладні гниттю[3]. Виготовлення пластикових шпал для магістральних залізниць освоєно фірмами в США, Росії, Німеччині.

Поліетилен – найдешевий полімер, що посідає перше місце в світовому виробництві поліолефінів і який поєднує в собі найцінніші властивості і здатність до переробки усіма високопродуктивними методами, існуючими для термопластів. Поліетилен низького тиску (ПНД) або високої щільності (ПВП) – жорсткий продукт з щільністю понад  $0,941 \text{ г/см}^3$  і низьким ступенем розгалуження молекул, який має значні міжмолекулярні сили і міцність на розрив.

В даний час існує кілька технологій виготовлення полімерних шпал. Наприклад, фірма Plastic Lumber випускає шпали з відходів ПНД з наповненням від 10 до 40 відсотків скловолокна. Компанія Polywood Ink виробляє пластмасові шпали з відходів ПНД і полістиролу (ПС) з високою міцністю розплаву. Незмішувані компоненти створюють масу скручених волокон полістиролу, розподілених у матриці поліетилену. Безпосередньо в ході змішування в резуль-

таті відмінності в температурі плавлення полімерів формується суміш з мікроскопічними полістирольними волокнами.

Шпали, що випускаються корпорацією Tie Тек, містять більше 50 відсотків вторинного ПНД-ВП з наповненням каучукової крихтою, скловолокном і мінеральним волокном. Ноу-хау виробництва полягає в попередній обробці і змішуванні матеріалу перед екструзією.

Фірма «ТВЕМА» (Росія) освоїла виробництво композитних шпал для магістральних залізниць, які забезпечують належну згинальну реакцію для поглинання вібрацій та мають достатню стисливість у вертикальному напрямку, щоб витримати навантаження рейкової підкладки при збереженні геометрії рейкової колії. На шпали одержано пожежний сертифікат і в даний час проводяться їх випробування.

Таким чином можна зробити висновок, що відмова від дерев'яних шпал на користь пластмасових конструкцій вирішує проблему збереження навколишнього середовища та допомагає утилізувати відходи пластиків. При цьому композиційні шпали порівняно з дерев'яними мають кращі механічні характеристики і, незважаючи на те, що вони дорожче дерев'яних, відрізняються високими економічними показниками за рахунок багаторазового збільшення терміну експлуатації (до 50 років). З точки зору удосконалення конструкції шахтної рейкової колії їх широке впровадження у гірниче виробництво видається перспективною інновацією та потребує комплексних лабораторних і промислових досліджень.

У будові шахтного шляху застосовуються рейкові скріплення, які за останні десятиліття не зазнали істотного прогресу – фіксація рейки до шпали здійснюється через підкладку шістьма костиллями або шурупами. Цей процес вимагає значних трудовитрат і часу та веде до руйнування матеріалу шпали.

Для дерев'яних шпал магістральних залізниць найбільш поширеними є змішані скріплення типу ДО, до переваг яких відносять невелику кількість деталей, простоту у виготовленні і експлуатації, низьку металоємність, до недоліків – малий опір угону шляху.

Наступними за поширеністю є роздільні скріплення типу КД, у яких рейка притискається двома пружними клемами до підкладки, а остання фіксується до шпали чотирма шурупами. При цьому притискання клеми забезпечує болт з гайкою і шайбою, а під подошву рейки також укладають пружну прокладку. До переваг конструкції слід віднести: відсутність вібрації підкладки і, як наслідок, збільшення термінів служби шпал, достатній опір угону шляху, можливість заміни рейок без демонтажу шурупів. Недоліки: велика кількість деталей та швидке ослаблення натягу клемих болтів.

Позбутися означених недоліків дозволяють нові конструкції рейкових скріплень для полімерних шпал [4] з вмонтованими елементами (рис.2), розроблені на кафедрі транспортних систем і технологій Національного гірничого університету. Окрім того, застосування такого з'єднання для рейкових шляхів робить можливим проходження стабілізуючих котків, якими обладнано рухомий склад канатних надгрунтових доріг (буксирні візки, пасажирські вагонет-

ки) для перешкоджання сходу з рейкового шляху у місцях порушення його геометричних параметрів внаслідок прояву гірничого тиску.

У процесі виробництва полімерної шпали 2 методом пресування на її поверхні формують похилі ділянки з нахилом 1:20, що робить непотрібним застосування підкладки, та вводять армуючі елементи 6 і фігурні скоби 3 з петлями по кінцях, причому останні розташовані так, що підшва рейки 1 контактує з ними з обох боків. На шийки рейок заводять накладки 5 таким чином, щоб виступ кожної зайшов у отвір 9 на кінці рейки та у паз зустрічної накладки, а отвори 7 співпали з петлями скоби 3 на похилій ділянці шпали. Після цього у петлі скоби 3 забивається фіксатор 4 з ексцентриковою головкою, яка потім обертається навколо осі фіксатора і входить головкою у отвір 8 накладки 5, чим закінчується процес з'єднання рейок між собою та з шпалою. Таким чином, збільшення ширини шийки рейки у місці стику не буде перевищувати величини у дві ширини накладки, що робить безперешкодним проходження стабілізуючих котків. Демонтаж рейкового стикового з'єднання проводиться у зворотній послідовності.

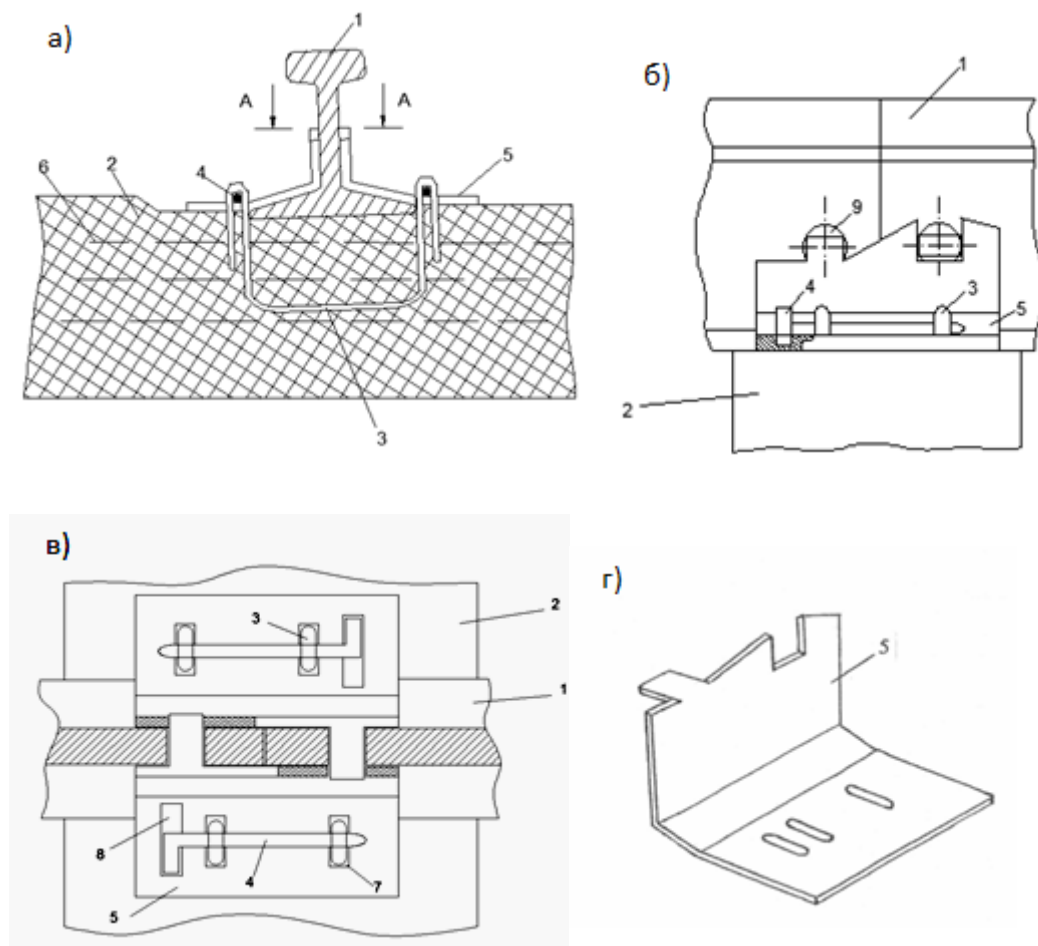


Рис. 2. Рекомендована будова рейкового шляху (а – загальний вигляд; б – стик, вигляд збоку; в – те ж, вигляд по А – А; г – фігурна накладка):  
1 – рейка; 2 – полімерна шпала; 3 – скоба; 4 – фіксатор; 5 – накладка;  
6 – арматура; 7,8 – отвори у скобі; 9 – отвір у рейці

Застосування елемента кріплення рейки у вигляді скоби з петлями по кінцях дозволяє уникнути застосування костилів та шурупів для фіксації рейки зі шпалою і, за рахунок цього, підвищити термін її служби через виключення руйнівного впливу останніх, а також знизити трудомісткість укладання шляху та спростити конструкцію.

Окремим важливим завданням шахтного рейкового господарства слід вважати забезпечення належного контролю за укладанням і утриманням рейкових шляхів. При сучасній протяжності шахтних шляхів традиційні методи візуального та інструментального контролю вимагають наявності неадекватно великої чисельності персоналу і не забезпечують належної якості робіт.

Незважаючи на значний розвиток в останні роки гірничотранспортної техніки (створення нових типів шахтних електровозів, підвісних дизелевозів, канатних надгрунтових і монорейкових доріг та ін.), продуктивність і безпека шахтної вікатки по рейкових шляхах залишається на низькому рівні. Різноманітність умов підземних виробок шахт, в яких вона застосовується, призводить до того, що часто необхідно практичним шляхом підбирати її основні параметри: тип локомотиву, кількість вагонеток, швидкість їх руху на різних ділянках, витрату енергії, забезпечення безпеки руху та ін.

Здійснювати усебічний аналіз роботи локомотивної вікатки в конкретних гірничо-геологічних умовах можливо за наявності реальної картини поздовжнього профілю траси. Наявність таких даних дозволить вирішувати завдання, пов'язані з підтримкою виробок (випрямлення профілю), розробляти і здійснювати заходи з енергозбереження тощо.

Давно назріла необхідність створення мобільних автоматизованих шляховимірювальних шахтних комплексів, що використовують різні фізичні ефекти для фіксації в режимі реального часу поздовжнього і поперечного профілів шляху, зміни ширини колії та інших дефектів верхньої будови колії.

Подібні прилади для магістральних залізниць ґрунтуються на: механічній взаємодії вимірювальних котків з рейковим шляхом, оптичних ефектах, використанні ультразвуку тощо. Але застосувати їх на підземному транспорті досить складно, а часто неможливо через специфічні умови експлуатації. Практика потребує надійного і простого в роботі способу визначення, зокрема, поздовжнього профілю рейкових колій.

Розроблений за участю авторів метод автоматизованого визначення і побудови профілю шляху на заданому маршруті, який ґрунтується на вимірах сили опору руху локомотиву через силу струму тягового двигуна [5], дозволяє позбутися означених недоліків.

Розглянемо процес руху залізничного составу(локомотива) по шахтній рейковій колії змінного профілю (рис.3,а).

Попередньо вибирають ділянку вимірювання уклону АК. Двигуни локомотива 1 вмикають і він починає рухатися по рейковому шляху 2, що має змінний профіль. Вимірюють шунтом 4 і безперервно фіксують регістратором 5 силу струму  $I$ , яку споживає тяговий двигун 3 під час переміщення локомотива 1 по змінному профілю рейкового шляху 2 від точки А до точки К. Після досягнення

локомотивом 1 точки К, він починає рухатися у зворотному напрямі по тій же ділянці від точки К до точки А. При цьому також безперервно фіксують силу струму  $I_1$  двигуна 3. Після досягнення локомотивом 1 точки А його зупиняють.

Відомо, що сила тяги для переміщення вагонетки(локомотива) становить:

$$F = G(w \pm i + \Delta a) ,$$

де  $F$  – сила тяги, що необхідна для переміщення состава;  $G = mg$  – сила тяжіння вагонетки ;  $m$  – маса вагонетки;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $w$  – коефіцієнт основного опору руху вагонетки;  $i$  – уклон рейкового шляху;  $\Delta = 1000\delta / g$  ( $\delta$  – коефіцієнт, що враховує масу вузлів вагонетки, які обертаються);  $a$  – прискорення руху вагонетки.

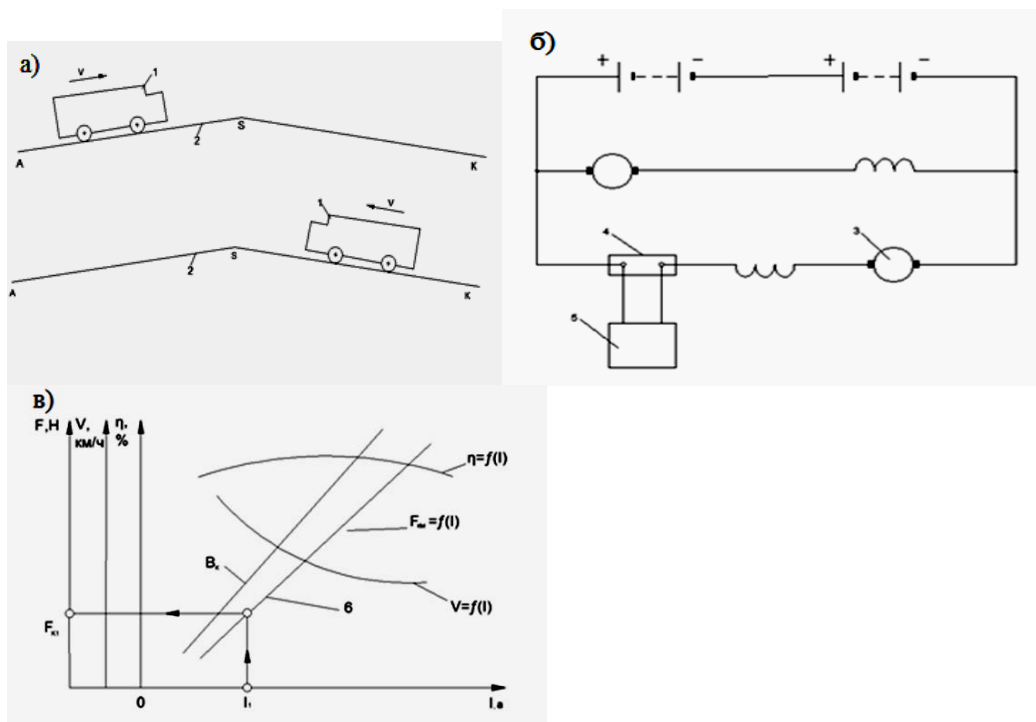


Рис. 3. Спосіб визначення ухилу рейкової колії: а) – принципова схема; б) – електрична схема; в) – електромеханічна характеристика двигуна (1 – електровоз; 2 – рейковий шлях; 3- тяговий двигун; 4 – шунт; 5 - аналого-цифровий перетворювач

Якщо швидкість руху постійна ( $a = 0$ ), то для ділянки траси AS довжиною  $l$  з ухилом  $i$  можна записати рівняння руху вправо:

$$F_1 - G(w - i) = 0 , F_1 = G(w + i) \text{ (плюс } i \text{ при підйомі),}$$

вліво:

$$F_1' + G(i - w) = 0 , F_1' = G(w - i) \text{ (мінус } i \text{ при спуску).}$$

Аналогічно можна визначити рівняння руху (рівняння рівноваги) для кожної з  $n$  ділянок, що відрізняються величиною ухилу та довжиною.

Будь-який ряд сил (вправо  $F_1, F_2 \dots F_n$  або вліво  $F'_1, F'_2 \dots F'_n$ ) призначається зменшуваним або таким, що віднімається

$$\Delta F_i = F_i - F'_i = Gw + Gi - Gw + Gi = 2Gi = 2mgi,$$

де  $\Delta F_i$  – різниця сил тяги на  $i$ -тій ділянці шляху під час руху вагонетки в прямому та зворотному напрямках.

Різниця сил  $\Delta F$  на похилих ділянках шляху при цьому може мати знак  $\oplus$  (рух на підйом) або  $\ominus$  (рух по спуску). Нульове значення різниці сил фіксується на горизонтальних ділянках.

Далі визначають уклон рейкового шляху на кожній ділянці

$$i = \frac{\Delta F_1}{2mg} \text{ (або } \oplus \text{ або } \ominus \text{ по знаку } \Delta F \text{)}.$$

Загальновідомо, що залежність сили тяги ( $F$ ), гальмової сили ( $B$ ) швидкості руху ( $V$ ) і к.к.д. ( $\eta$ ) від сили струму двигуна ( $I$ ) дає електромеханічна характеристика двигуна на ободі коліс (рис.3,в). Оскільки передаточне число редуктора і діаметр коліс залежать від типу електровоза, то електромеханічна характеристика є індивідуальною для кожного з них. Таким чином, маючи показання сили струму тягового двигуна на всіх ділянках траси в обох напрямках, нескладно по електромеханічній характеристиці двигуна визначити відповідні їм значення сили тяги або гальмування і побудувати її повздовжній профіль. Причому залежності сил тяги та гальмування від сили струму двигуна практично пропорційні і, якщо ввести їх попередньо у комп'ютерну програму, можна у подальших розрахунках оперувати струмом. Ця обставина кардинально змінює підхід до інструментальної бази вимірювань, оскільки силу струму двигуна можна просто знімати за допомогою шунта і через аналого-цифровий перетворювач та комп'ютер одержувати результати у цифровій або графічній формах.

Що стосується відміток пройденого шляху, то пропонується встановити на електровозі електромагнітний датчик, що фіксує проходження кожної арки металевого кріплення, і по ним відслідковувати місцезнаходження состава.

**Висновки.** Надійність сучасного шахтного рейкового шляху залишається на недостатньому рівні та потребує нових рішень у частині пошуку та запровадження перспективних матеріалів для шпал. У роботі запропоновано для цих цілей композитні конструкції з полімерів та наповнювачів, що збільшують термін їх служби у десятки разів, причому рекомендовано розташовувати елементи кріплення безпосередньо в них у процесі виготовлення.

Важливою складовою колійного господарства, що впливає на надійність та безпеку усього залізничного транспорту, залишаються рейкові з'єднання. Незважаючи на чисельність їх конструкцій для наземних залізниць, на підземному транспорті нині практично не використовуються нові пристрої для поєднання рейок між собою. Тому, запропонований у роботі монтажний вузол, що відрізняється простотою, малою кількістю деталей та зручністю зборки, буде сприяти подальшому удосконаленню локомотивного транспорту.

Спосіб визначення профілю шахтного рейкового шляху за струмом тягового двигуна, що пропонується, дозволяє відмовитися від наявності динамометра



і, за рахунок цього, спростити процес вимірювання та підвищити точність його результатів.

Запропоновані у роботі нові технічні рішення потребують перевірки у промислових умовах і автори будуть вдячні усім зацікавленим особам та організаціям за пропозиції у співробітництві на взаємовигідних умовах.

#### Перелік посилань

1. Гарг, В.К. Динамика подвижного состава [Текст] / В.К. Гарг, Р.В. Дуккипати. – М.: Транспорт, 1988. – 391 с.
2. Денищенко, А.В. Оценка геометрических несовершенств рельсового пути в подземных выработках шахт Западного Донбасса [Текст] / А.В. Денищенко, В.В. Зиль, Л.Н. Посунько, В.А. Расцветаев// Науковий вісник НГУ. – 2007. – №6. – С. 79-82.
3. Погодина, Е.А. Будущее – за полимерными шпалами[Текст] / Е.А.Погодина // Пластикс. – 2011. – № 11(105). – С. 58 – 61.
4. Шахтний рейковий шлях [Текст]: пат. 110487 на корисну модель Україна: МПК E01B 9/00/ О.В. Денищенко, С.Є. Барташевський, Л.І. Барташевська; заявник і патентовласник Націон. гірн. ун-т. – № u201603955; заявлено 11.04.2016; опубл. 10.10.2016; Бюл. №19. – 4 с.
5. Спосіб визначення профілю шахтного рейкового шляху [Текст]: пат. 103247 на винахід Україна: МПК E01B 35/00, E21F 13/00 / О.В. Денищенко; заявник і патентовласник Націон. гірн. ун-т. – № a201200084; заявлено 03.01.2012; опубл. 25.09.2013; Бюл. №18. – 4 с.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Both experimental and theoretical research concerning geometric irregularities of railtrack performed by the authors in mine workings of Western Donbas mines made it possible to obtain reliable information on actual state of rail which analysis points to substantial deviation of basic parameters from standard ones.

Objective of the work is to improve reliability of mine railtrack basing upon the development and implementation of innovative engineering solutions.

**Methods.** Both experimental and analytical techniques have been involved.

**Finding.** It is an upcoming trend to use plastic structures instead of timber sleepers; that helps solve environmental problems and utilize postconsumer plastics. In this context, to compare with timber sleepers, composite ones have better mechanical characteristics. Moreover, despite their higher price, composite sleepers have high economic performances owing to non-expendable increase in operating life.

**The originality.** Innovative design of rail fastenings for polymeric sleepers with built-in components by the Department of Transport Systems and Techniques of the National Mining University helps get rid of serious disadvantages.

**Practical implications.** A technique of automated determination and a scheme of grading of track basing upon measurements of locomotive resistance through current intensity of traction engine developed by the same scientists makes it possible to start developing mobile system aimed at determination of mining rail track parameters.

The engineering solutions are protected by documents of title.

**Keywords:** *a mine, rail track, polymeric sleeper, rail fastenings, grading of track, engine curent.*