

Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова
Національної академії наук України

ВАСИЛЬКЕВИЧ ВІКТОР ІВАНОВИЧ



УДК [622.673.1:622.272.6].(043.3)

РОЗРОБКА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА
ОЦІНКИ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ «ПОСУДИНА-АРМУВАННЯ»
ШАХТНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТОВБУРІВ

Спеціальність 05.05.06 – «Гірничі машини»

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Інституті геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), м. Дніпро та у філії ПАТ «Науково-дослідний інститут гірничої механіки ім. М.М. Федорова» (НДІГМ) у м. Києві.

Науковий керівник - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Ільїн Сергій Ростиславович
старший науковий співробітник Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України

Офіційні опоненти: - доктор технічних наук, доцент
Колосов Дмитро Леонідович, завідувач кафедри будівельної, теоретичної та прикладної механіки НТУ «Дніпровська політехніка» МОН України
- кандидат технічних наук
Рубель Андрій Олександрович, в.о. головного механіка ДП «ОК «Укрвуглереструктуризація» Міненерговугілля України

Захист відбудеться « 14 » червня 2019 р. о 13-30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.08.188.01 при ІГТМ НАН України за адресою: вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпро, 49005, факс (0562) 46-24-26.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ІГТМ НАН України за адресою: вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпро, 49005.

Автореферат розіслано « 14 » травня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доктор технічних наук, професор

В.Г. Шевченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Виробнича потужність копальні безпосередньо залежить від стану підйому, інтенсивності його роботи та надійної експлуатації, зокрема – від стану армування. Переважна більшість вертикальних стовбурів вітчизняних підприємств має жорстке армування. Більша частина жорстких армувань працює в умовах тривалої експлуатації та підвищеного зносу елементів армування, а деякі з них – у складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах при значному відхиленні експлуатаційних параметрів від проектних значень, що суттєво загострює ситуацію з забезпеченням безпечної експлуатації підйому.

Під час тривалої експлуатації стовбурів у складних гірничо-геологічних умовах порушується проектна регулярність профілів провідників, кроку армування, діаграми швидкості, кінематичних зазорів, залишкових параметрів перетинів провідників і розпорів кожного ярусу по всій глибині стовбура. Відповідно порушуються проектні значення параметрів безпеки, які закладені в нормах на проектування й експлуатацію. Раніш закладене проектом регулярне розподілення по глибині стовбурів повністю порушується та стає нерегулярним. Такі стовбури відносяться до категорії «стовбури з порушеною геометрією».

Робота системи «посудина-армування» у таких умовах не передбачена нормативно-методичною документацією з експертного оцінювання її безпеки, зокрема СОУ 10.1.00174094.003:2005 «Стандарт Мінвуглепрому України. Жорстке армування вертикальних стволів шахт. Вимоги до контролювання». Не існує достатнього набору методичних, програмних і технічних засобів для забезпечення безпечної експлуатації армувань.

Дана дисертація присвячена удосконаленню/розвитку методики експертного обстеження системи «посудина-армування» у частині розробки та доповнення її блоком вимірювально-аналітичних (розрахункових) операцій для роботи в стовбурах із порушеною геометрією у складних гірничо-геологічних умовах, що мають нерегулярні розподілення по глибині параметрів викривлення профілів провідників, параметрів вертикальної швидкості руху, кінематичних зазорів, опорної жорсткості розпорів і провідників.

У силу одночасної дії на посудину усіх цих параметрів у системі «посудина-армування» виникає нестационарний режим динамічної взаємодії з вихідними параметрами, які змінюються від ярусу до ярусу (амплітуди коливань, амплітуди контактних навантажень у лобовій і бічній площинах по 12-ти робочим граням башмаків ковзання, динамічні прогини провідників, динамічні напруги у провідниках і розпорах, їх запас міцності).

Вихід посудини з колії провідників на робочій швидкості викликає руйнацію всього армування незалежно від довжини дефектної ланки провідника. Це викликає необхідність визначення залежності динамічних параметрів системи «посудина-армування» від її фактичних експлуатаційних характеристик при тривалій експлуатації у складних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах.

Тому встановлення закономірностей зміни параметрів безпеки систем «посудина-армування» у стовбурах з порушеною геометрією, що експлуатуються тривалий час у складних гірничо-геологічних умовах від поярусних значень експлуатаційних параметрів шахтних підйомних установок, розробка та

обґрунтування методів та засобів визначення та оцінки динамічних параметрів систем «посудина-армування» у стовбурах із порушеною геометрією є актуальним науковим завданням, яке має суттєве значення для забезпечення безаварійної роботи шахтного підйому.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у філії ПАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова» у м. Києві та в ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, відповідає пріоритетним напрямкам розвитку енергетичної промисловості, які визначені в Енергетичній стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Автор дисертації є співвиконавцем розділу «Розвиток теорії та методів керування станом систем шахтного підйому щодо забезпечення інтенсифікації гірничих робіт на шахтах та рудниках» держбюджетної науково-дослідної роботи НАН України «Розвиток теорії та методів керування станом геотехнологічних систем щодо забезпечення інтенсифікації роботи гірничо-видобувних підприємств» III-65-15 № держ. реєстр. 0115U002534. Також автор був виконавцем у науково-дослідній роботі НДІГМ ім. М.М. Федорова «Дослідження причин хибного спрацювання парашутів клітей глибоких шахт та розробка комплексу технічних рішень щодо підвищення безпечної експлуатації підйомних комплексів».

Ідея роботи полягає у використанні встановлених закономірностей формування горизонтальних динамічних навантажень, допустимої швидкості підйому за динамічними і кінематичними критеріями від фактичних поярусних параметрів систем «посудина-армування» для обґрунтування методів та засобів визначення допустимих значень експлуатаційних параметрів підйомних установок при тривалій роботі у стовбурах з порушеною геометрією у складних гірничо-геологічних умовах.

Мета роботи – встановити закономірності формування горизонтальних динамічних навантажень, допустимої швидкості підйому за динамічними і кінематичними критеріями від фактичних поярусних параметрів систем «посудина-армування», розробити та обґрунтувати методи та засоби визначення допустимих значень експлуатаційних параметрів систем «посудина-армування» для підвищення динамічної стійкості та безпеки роботи підйомних установок.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і вирішені наступні основні задачі досліджень:

1. Визначення закономірностей зміни динамічного запасу по кінематичному зачепленню посудини у колії провідників, опорної жорсткості армування та допустимої швидкості підйому за критерієм динамічної стійкості посудини в бічній площині провідників від величини зносу робочих поверхонь і кінематичних зазорів у парах «башмак-провідник» та їх фактичного розподілу по глибині стовбура.

2. Визначення закономірностей зміни допустимої глибини зіву башмаків ковзання від радіуса заокруглення лобових ребер коробчатих провідників.

3. Визначення закономірностей зміни екстремальних навантажень на армування від величини горизонтальних прискорень башмаків ковзання та параметрів підйомної посудини.

4. Вдосконалення методів та засобів визначення кінематичних та динамічних параметрів взаємодії підйомних посудин з жорстким армуванням шахтних

вертикальних стовбурів під час експлуатації у складних гірничо-геологічних умовах.

Об'єкт дослідження – динамічні процеси, що протікають у системі «посудина-армування» шахтних підйомних установок під час роботи у складних гірничо-геологічних умовах.

Предмет дослідження – закономірності та параметри динамічних процесів, що протікають у системі «посудина-армування» шахтних підйомних установок під час роботи у складних гірничо-геологічних умовах.

Методи дослідження. У роботі використано комплексний метод досліджень, що включає аналіз і узагальнення науково-технічних досягнень у галузі динаміки систем «посудина-армування» - при формулюванні наукової проблеми; шахтні вимірювання - при моделюванні процесу динамічної взаємодії башмаків ковзання з провідниками, що мають заокруглені ребра; теоретичні дослідження з використанням методів класичної механіки систем «посудина-армування» - для вдосконалення методу розрахунку динамічних параметрів систем «посудина-армування»; комп'ютерні чисельні експерименти аналітично-розрахункові методи – для визначення залежностей допустимих швидкостей підйому за критеріями динамічної стійкості, міцності та кінематичного зачеплення систем «посудина-армування» від їх фактичних експлуатаційних параметрів; експериментальні дослідження у промислових умовах – при випробуваннях розроблених у дисертації методів в умовах діючих шахт.

Основні наукові положення, що виносяться на захист.

1. Для армувань із коробчатими провідниками, що мають заокруглення ребер, мінімально допустима глибина зіву башмака ковзання підйомної посудини за критерієм зачеплення лінійно зростає пропорційно величині радіуса заокруглення до 35-40 %, при цьому, максимально допустима за критерієм кінематичного зачеплення швидкість руху посудини знижується у зворотній логарифмічній залежності до 30 % зі зростанням сумарного лобового кінематичного зазору між провідниками та башмаками з 15 мм до 30 мм при параметрах діючих систем «посудина-армування».

2. Під час руху підйомної посудини екстремальні контактні зусилля в парах «башмак-провідник» прямо пропорційні максимальним прискоренням башмаків і зворотно пропорційні добутку відповідних мультиплікаторів частот її власних коливань, величині вертикального ексцентриситету посудини та кількості башмаків, що одночасно контактують із провідниками у відповідній площині армування, та можуть перевищувати розрахункові навантаження у стаціонарному режимі руху у два - три рази.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

1. Вперше встановлено, що верхня межа зіву башмаків прямо пропорційно залежить від висоти провідника, а нижня межа зіву лінійно залежить від фактичного розширення колії провідників. Допустимі швидкості підйому за критеріями динамічної стійкості у лобовій та бічній площинах лінійно зменшуються пропорційно зростанню кінематичних зазорів у системі «посудина-армування» та зносу поперечних перетинів провідників.

2. Встановлено, що зростання кінематичних зазорів за рахунок зміни лобового зазору у парі «башмак-провідник» призводить до зниження бічної жорсткості розпорів у зворотно квадратичній залежності, що обумовлено зміною значення плеча бічної сили, максимальне відхилення значення плеча бічної сили може змінюватись у інтервалі $-5...+80\%$ від нормованого та за гармонійним законом за рахунок лобових коливань посудини, при експлуатації системи з потовщеними провідниками та жорсткими направляючими башмаками мінімальна допустима швидкість підйому знижується на $15...30\%$ за рахунок зменшення зовнішніх габаритів провідника.

3. Вперше встановлено, що допустимий динамічний прогин провідників у площині їх колії лінійно залежить від значення радіуса заокруглення лобових ребер провідників у зворотній залежності, так, при наявності заокруглення 30 мм допустима швидкість знижується на 35% .

4. Вперше встановлено очікуване значення максимально можливих лобових та бічних горизонтальних прискорень башмаків посудини за усередненими параметрами армування (функція жорсткості, крок) та підйомної посудини (інерційні, геометричні, конструктивні), швидкості підйому.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей зміни параметрів безпеки систем «посудина-армування» у стовбурах з порушеною геометрією, що експлуатуються тривалий час у складних гірничо-геологічних умовах від поярусних значень експлуатаційних параметрів шахтних підйомних установок.

Практичне значення роботи.

1. Результати роботи використані при розробці методичних документів:

- «Методика експертного обстеження жорстких армувань вертикальних шахтних стовбурів» (Розділ 8). Розроблено: філія ПАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова» у м. Києві, ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України;

- «Методика розрахунку екстремальних навантажень на жорстке армування вертикальних шахтних стовбурів». Розроблено: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, філія ПАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова» у м. Києві;

- «Технічні вимоги щодо створення програмно-апаратного комплексу безперервного контролю динамічних параметрів плавності руху підйомних посудин в вертикальних шахтних стовбурах з жорстким армуванням». Розроблено: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, філія ПАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова» у м. Києві;

- «Вимоги до системи моніторингу та управління ризиками при експлуатації глибоких стовбурів шахт і копалень України». Розроблено: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, ТОВ «АГАТ».

2. Обґрунтовано принципову схему автоматизованої інформаційної системи безперервного контролю плавності руху підйомних посудин та розроблено математичне забезпечення, орієнтоване на використання в стаціонарному програмно-технічному комплексі, яке є основою для створення комплексної інформаційно-експертної системи контролю безпеки експлуатації шахтних підйомних установок, що включають розрахунки контактних зусиль у кінематичних парах «башмак-провідник» за отриманими в дисертаційній роботі залежностями, а

також синхронізовані з ними значення миттєвої вертикальної швидкості та координати положення посудини в стовбурі.

3. Обґрунтовано на рівні винаходу конструкцію вузла кріплення рейкових провідників, що дає змогу збільшити допустимий лобовий знос провідників та/або розширення колії, підвищити безпечну швидкість підйому, зменшити трудомісткість процесу кріплення провідників та час на обслуговування і ремонт армування.

Реалізація отриманих результатів

Результати роботи використані на виробництві:

- при складанні плану ремонтних робіт з корекції профілю провідників і ремонту армування 2018 року стовбурів ГС-1 та ГС-2 ПрАТ «Запорізький ЗРК» (акт від 07 жовтня 2017 р. та акт від 19 квітня 2018р.);

- при розробці заходів з ремонту армування стовбурів ВСП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ ім. ГЕРОЇВ КОСМОСУ» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ» (акт від 07 листопада 2017р.);

- при розробці заходів з ремонту армування вантажного стовбура ВП «Шахта ім. Д.Ф. Мельникова» ПАТ «Лисичанськвугілля». Очікуваний економічний ефект від ремонту жорсткого армування на ВП «Шахта ім. Д.Ф. Мельникова» становитиме 552347 грн., що складається з вартості скіпів та працевтрат на їх заміну (акт від 05 квітня 2018р.);

- при проектуванні жорсткого армування вентиляційного стовбура №3 ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» (акт від 23 травня 2018р.).

3. Одержані в дисертаційній роботі наукові результати та розроблені методичні документи використовуються в навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при викладанні курсів «Діагностика гірничого обладнання» та «Шахтні підйомні установки» для студентів спеціальності 184 «Гірництво».

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і методик дисертаційної роботи підтверджуються коректним використанням апробованих аналітичних та експериментальних методів досліджень, відповідністю прийнятих припущень у постановках задач, меті і задачам досліджень, використанням класичної теорії єдиної динамічної параметричної системи «посудина-армування» як системи, в якій рух посудини залежить від періодичної жорсткості розпорів і провідників; експериментальною апробацією основних положень у промислових умовах; позитивними результатами впровадження розроблених «Методик...», «Технічних вимог...» та рекомендацій у практику роботи профільних інститутів і гірничих підприємств.

Достовірність отриманих формул забезпечується коректністю використання класичної математичної моделі динамічної взаємодії посудини з армуванням Гаркуші-Дворнікова, що протестована лабораторними та промисловими вимірюваннями та є еталоном для проектування всіх армувань СНД.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні ідеї, мети роботи і задач досліджень, наукових положень, новизни і висновків; у встановленні залежності виникнення збуджень динамічних режимів взаємодії посудин з армуванням нестационарного характеру з аварійно-небезпечними амплітудами

навантажень від експлуатаційних параметрів систем «посудина-армування» по глибині стовбурів і кінематичних параметрів роботи підйомних машин у складних гірничо-геологічних умовах; у визначенні реального стану жорсткого армування діючих шахт і рудників зі звітів технічного обстеження армувань за участі автора. Апробація методик обстеження та діагностування стану систем «посудина-армування» у промислових умовах вугільних стовбурів, розробка заходів із ремонту з використанням матеріалів дисертації, проектування жорсткого армування проводилися за участі автора (стовбури ГС-1 та ГС-2 ПрАТ «Запорізький ЗРК», скіповий стовбур ВСП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ ім. ГЕРОЇВ КОСМОСУ» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ», вантажний стовбур ВП «Шахта ім. Д.Ф. Мельникова» ПАТ «Лисичанськвугілля», вентиляційного стовбура №3 ПАТ «Шахтоуправління «Покровське»).

Зміст дисертації та автореферату викладений автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації були представлені на XI, XIV, XVII міжнародних науково-технічних конференціях «Виробництво та експлуатація сталевих канатів – проблеми та рішення» (м. Одеса, 29 трав.-01 черв. 2012 р., 01-05 черв. 2015 р, 29 трав.-01 черв. 2018 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників – 2012» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 03-06 жовт. 2012 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників – 2015» (м. Дніпропетровськ, НГУ, 30 вер.-03 жовт. 2015 р.), X, XII, XV конференціях молодих вчених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (м. Дніпропетровськ/Дніпро, 15 лист. 2012 р., 6 лист. 2014 р, 26 жовт. 2017 р.), I міжнародній науково-практичній конференції «Горная электротехника – 2014: проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования» (РФ, м. Перм, 27-30 жовт. 2014 р.), Другій, Третій, Четвертій, П'ятій всеукраїнських науково-технічних конференціях студентів, аспірантів і молодих учених «Молодь: наука та інновації» (м. Дніпропетровськ/Дніпро, 02-03 груд. 2014 р, 02-03 груд. 2015 р, 06-07 груд. 2016 р, 28-29 лист. 2017 р.), Шостій, Сьомій, Восьмій всеукраїнських науково-технічних конференціях студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна 2015», «Наукова весна 2016», «Наукова весна» (м. Дніпропетровськ/Дніпро, 01-02 квіт. 2015 р, 06-07 квіт. 2016 р, 26-27 квіт. 2017 р.), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв» (м. Покровськ, 11-12 квіт. 2017 р.), XVI міжнародній науково-технічній конференції «Потурайвські читання» (м. Дніпро, 18-19 січ. 2018 р.), тематичній конференції «Transport Szybowy 2015» (Польща, м. Глівіце, 21-23 вер. 2015 р.), I та II міжнародних науково-технічних Інтернет-конференціях «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (м. Кривий Ріг, 14 груд. 2016 р, 14 груд. 2017 р.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано у 22 друкованих працях, з них 8 самостійних. Статей у наукових спеціалізованих виданнях – 7, у закордонних виданнях – 1. Доповідей та тез доповідей, опублікованих у збірках матеріалів вітчизняних і міжнародних наукових конференцій – 13, патент України на корисну модель – 1.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел зі 222 найменувань. Загальний

обсяг дисертації – 270 сторінок, з них 157 сторінок основного тексту. Дисертація містить 79 рисунків, 5 таблиць. Додатків 3 на 33 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У розділі 1 проведено аналіз попередніх досліджень, науково-технічних робіт в області динаміки шахтного підйому. Досвід експлуатації шахтного підйому показав, що основною причиною наростання горизонтальних коливань посудини, які викликають аварійно небезпечні динамічні навантаження на провідники жорсткого армування на стадії тривалої експлуатації у складних гірничо-геологічних і гірничотехнічних умовах є сукупність кількох технічних факторів:

- значні абсолютні відхилення ниток провідників від вертикалі та їх депланація, що не нормовані в чинній нормативно-технічній документації;
- високий рівень зносу провідників армування і башмаків ковзання підйомних посудин;
- високий рівень корозійного зносу розпорів, який не нормовано на даний час;
- знижена несуча здатність армування одночасно з виробничою потребою роботи підйомів із підвищеними швидкостями, близькими до проектних.

На даний час невивченою є проблема впливу експлуатаційних параметрів систем «посудина-армування», які працюють більше 40-50 років у складних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах, на параметри безпеки, а саме:

- не визначено закономірностей зміни динамічного запасу з кінематичного зачеплення посудини у колії провідників, опорної жорсткості армування та допустимої швидкості підйому за критерієм динамічної стійкості посудини в бічній площині провідників від величини зносу робочих поверхонь і кінематичних зазорів у парах «башмак-провідник» та характеру їх розподілу по глибині стовбура, закономірностей зміни допустимої глибини зіву башмаків ковзання від радіуса заокруглення лобових ребер коробчатих провідників, закономірностей зміни екстремальних навантажень на армування від величини горизонтальних прискорень башмаків ковзання та параметрів підйомної посудини;
- не вдосконалено методів та засобів визначення кінематичних та динамічних параметрів взаємодії підйомних посудин із жорстким армуванням шахтних вертикальних стовбурів під час експлуатації у складних гірничо-геологічних умовах.

Виходячи з наведеного, сформульовані мета, задачі та методи досліджень.

У розділі 2, спираючись на дані експертних обстежень НДІГМ ім. М.М. Федорова та ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України, було проаналізовано експлуатаційні параметри систем «посудина-армування» у сучасних промислових умовах вертикальних стовбурів і розглянуто кінематичну складову взаємодії у системі «посудина-армування». За цими даними стало зрозуміло, що у більшості стовбурів профілі провідників мають знакозмінні викривлення в більшій чи меншій мірі. Абсолютні відхилення від вертикалі осей провідників нерегулярні та іноді досягають навіть 1000 мм при глибині стовбура біля 500 м (при нормованому 125 мм для такої глибини), нерегулярні по глибині стовбурів і відхилення провідників від вертикалі на суміжних ярусах, вони перевищують допустимі

значення до 2,5 разів. Колія провідників також нерегулярна по глибині стовбурів і має звуження до 2 разів від нормованого, а розширення – до 3,7 разів.

Знос робочих поверхонь провідників і напрямних пристроїв визначає надійність кінематичного зв'язку рухомої підйомної посудини з армуванням, міцність і згинальну жорсткість провідників. Проте, у діючій нормативній документації значення допустимого зносу провідників не залежить від особливостей армування, а також від встановленої швидкості руху посудини. Значення зносу розпорів до останнього часу ніяк не було обумовлено жодним із діючих нормативних документів, але й у нових рудних ПБ зазначена величина у 20 % втрати перерізу нічим не обґрунтована. Крім того, не визначено за якими конкретно технічними параметрами треба оцінювати знос. Такими параметрами можуть бути: товщина стінок, площа перетину, моменти інерції, моменти опору розпору або провідника.

Відповідно до традиційної методики контролюються лише товщини стінок та полок металоконструкцій армування. Але в залежності від того, був цей елемент армування закладений у первісному проекті при будівництві стовбура чи його було обрано на заміну проектного при вибірковому ремонті, зміна його пружно-деформаційних властивостей у процесі тривалої експлуатації та вплив на динамічні параметри системи буде характеризуватися головним чином моментами опору. Їх визначення потребує доповнити класичні методики обстеження та розрахунку додатковими операціями, окрім тільки виміру товщини стінок. Особливо це стосується армувань, в яких проектні провідники та розпори замінюються посиленими прямокутними профілями з підвищеною товщиною стінок.

На кінематичну взаємодію в системі «посудина-армування» впливає не тільки стан провідників, але й зазначений у ПБ знос робочих поверхонь напрямних башмаків ковзання та їх розмір (глибина зіву). При двосторонньому розміщенні провідників лобовий знос і глибина зіву напрямних обумовлюють безпечне відхилення ширини колії.

Спираючись на вказане вище та діючи нормативні документи, можна сказати наступне:

- допустимі значення зносів провідників мають визначатися за умовами динамічної і кінематичної взаємодії у системі «посудина-армування»;
- допустимі значення зносів розпірних балок мають визначатися тільки з умови динамічної взаємодії у системі «посудина-армування»;
- допустимі значення зносу напрямних ковзання та відхилення ширини колії можуть визначатися тільки за критерієм кінематичної взаємодії у системі «посудина-армування», за умови відсутності значного динамічного прогину провідників, тобто при проектних значеннях лобових динамічних навантажень.

На рис. 1 схематично зображено посудину у колії провідників (вид зверху) та схему контактування напрямної ковзання з провідником. Наглядно видно, що під час руху по стовбуру на будь-якому ярусі армування можуть виникнути дві аварійно небезпечні ситуації: можливий вихід посудини з напрямних та контактування посудини з армуванням. Умови безпечного руху посудини можна записати як:

$$\Delta L \leq a - \delta_{\text{лоб}} - 2b - c - d - e - r_3, \text{ мм} \quad (1)$$

$$a \leq Pc - \delta_{прлоб} - \delta_{лоб} - z, \text{ мм} \quad (2)$$

де ΔL - граничне розширення колії, мм, a - гранична глибина зіву башмака ковзання, δ_{σ} - знос башмака, мм, $2b$ - сумарний зазор між робочими башмаками ковзання і провідниками при їх установці, мм, d - значення пружного динамічного прогину провідників під дією підйомної посудини, мм, e - значення гарантованого перекриття провідника башмаком ковзання, Pc - відстань від лобової поверхні провідника до розпору або до елемента кріплення вузла провідників, мм, z - зазор за ПБ між башмаком та розпором (елементом кріплення). r_3 - радіус заокруглення провідника, мм.

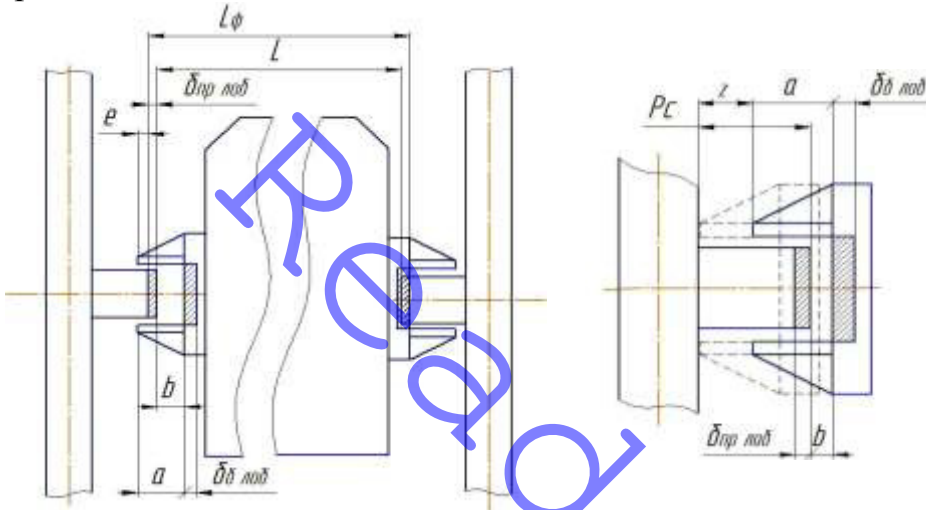
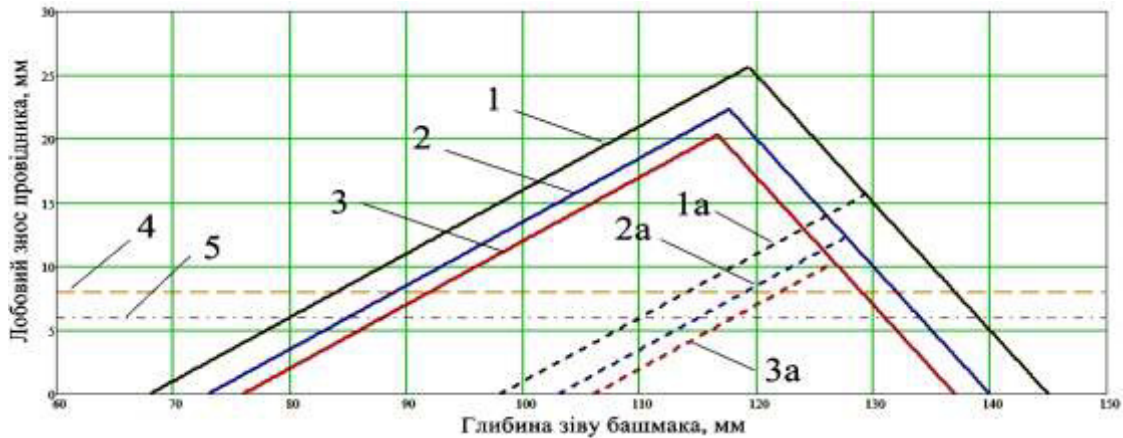


Рисунок 1 – Схема зачеплення підйомної посудини у колії двосторонніх коробчатих провідників та схема контактування напрямної ковзання з коробчатим провідником

Саме глибина жорсткого башмака первісно впливає на можливі значення відхилення ширини колії провідників ΔL , а при константах значень b, c, d, e, z та Pc можна визначити гранично допустиме значення зносу провідників та башмаків, або, навпаки, знайти раціональну глибину башмака ковзання відносно до зносу башмака та провідника. На рис. 2 зображені номограми для визначення глибини зіву направляючих від зносу провідників, побудовані на підставі залежностей (1), (2). Тут зони в клиноподібних фігурах визначають безпечні значення глибини зіву напрямних, при яких допустимі зноси провідників можуть бути найбільшими.

Пунктирними лініями 1а, 2а, 3а графічно означено умову невиходу посудини з колії провідників з урахуванням радіуса заокруглення r_3 (1). За ними видно, що значення радіуса заокруглення лінійно збільшує значення нижньої межі допустимого (граничного) значення глибини зіву башмака a , тобто діапазон глибини зіву башмака зменшується у даному випадку на 30 мм.

Для забезпечення безпечної експлуатації підйому при значенні зіву башмака, визначеного за номограмами рис. 2, необхідно за рахунок технологічних заходів забезпечити мінімальний рівень лобових контактних навантажень. Це може бути досягнуто шляхом послідовного чи одночасного виконання наступних заходів: зниження швидкості підйому, випрямлення профілів провідників, зниження вантажопідйомності посудини, забезпечення максимально ефективної роботи амортизаторів роликів направляючих (для коробчатих провідників).



1 - знос башмака 0 мм; 2 - знос башмака 5 мм; 3 - знос башмака 8 мм; 4 - знос за ПБ для провідників з товщиною стінки 16 мм; 5 - знос за ПБ для провідників з товщиною стінки 12 мм; для провідників з заокругленими ребрами: 1а - знос башмака 0 мм; 2а - знос башмака 5 мм; 3а - знос башмака 8 мм

Рисунок 2 – Номограма для визначення глибини зіву направляючих від зносу коробчатих провідників

Вперше отримані співвідношення для визначення точних значень нижньої і верхньої меж допустимих величин зіву башмаків за критерієм кінематичного зачеплення і неконтактування з розпорами в залежності від величини зносу та геометричних розмірів провідників, а також зносу башмаків ковзання. При цьому величина верхньої межі діапазону лінійно залежить від висоти провідника, а нижня межа зіву лінійно залежить від фактичного розширення колії провідників.

При використанні суцільнокатаних провідників радіус заокруглення r_3 знижує область гарантованого перекриття башмаком провідника, і призводить до зменшення допустимого динамічного прогину провідника, що зменшує допустиму швидкість підйому (при заокругленні 30 мм допустима швидкість знижується на 35 %) та вимагає прийняття додаткових заходів зі згладжування профілів провідників і зниження динамічних навантажень на армування (рис.3).

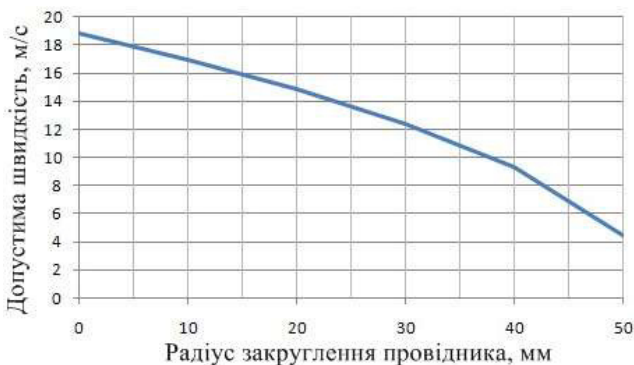


Рисунок 3 – Допустима швидкість руху посудини при різних радіусах заокруглення провідника з наявними розширенням колії 14 мм

Як було показано вище, геометричні параметри системи посудини «башмаки-провідники» мають достатньо великий розкид за своїми значеннями по глибині стовбура, тому отримані залежності треба використовувати для параметрів кожного ярусу, а при визначенні допустимого значення глибини зіву башмаків брати у розрахунок те значення, котре було отримано для ярусу з найбільшою величиною лобового зазору у колії провідників.

Із отриманих результатів випливає, що при обстеженні коробчатих провідників з потовщеними проти проектних стінками і коробчатыми розпорами необхідно окрім параметра «товщина стінки»

заміряти параметр «зовнішній габарит», а допустиме значення несучої здатності визначати за параметром моменту опору, а не тільки за нормованим значенням товщини стінки, як у класичній методиці.

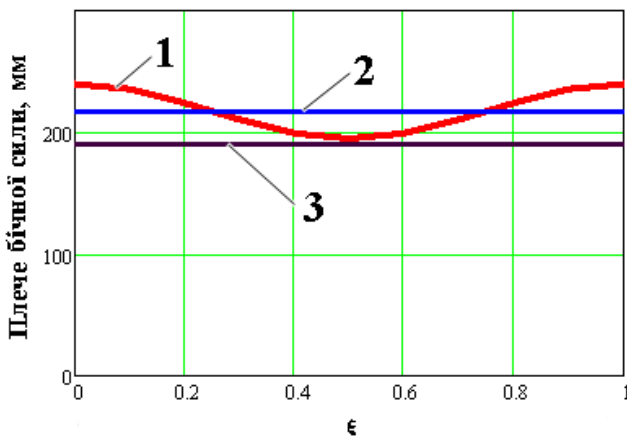
У розділі 3 вивчалось питання динамічної взаємодії у системі «посудина-армування» - вплив геометричних параметрів елементів та стану армування на забезпечення стійкості руху у дорезонансному режимі.

Використання в якості шахтних провідників квадратного прокату з товщиною стінок, що перевищують проектні, в процесі експлуатації вносить істотні зміни в динамічні деформаційно-міцнісні характеристики армування і вимагає проведення спеціальної динамічної оцінки працездатності систем «посудина-армування».

При рівних залишкових товщинах провідники, що мали при установці більшу товщину і встановлені раніше тонких, в силу більшого зносу зовнішніх робочих поверхонь мають менші міцності, ніж ті провідники, які мають спочатку менший розмір при установці. Тривалий час експлуатувати систему з потовщеними провідниками та жорсткими направляючими башмаками нераціонально, так як мінімальна допустима швидкість підйому за всіма критеріями знижується на 15...30 % за рахунок зменшення зовнішніх габаритів провідника

Зазначені у розділі 2 дефекти значно впливають на розмір плеча бічної сили, яка безпосередньо впливає на жорсткість системи «провідник-розпір» у боковій площині. Встановлено, що плече бічної сили може змінюватись у інтервалі - 5...+80 % від нормованого. Характер його зміни є гармонійним, що визначається частотою вимушених лобових коливань посудини. Ця частота дорівнює частоті зустрічі посудини з розпорами $v = V/h$, де V – швидкість підйому, м/с, h – крок армування, м. Так загальний вираз для закону зміни плеча бічної сили у часі буде:

$$h_p = h_{pcp} + \Delta h_{pcp} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot v \cdot t). \quad (3)$$



Відносна координата башмака у прольоті

Рисунок 4 – Графік залежності плеча бічної сили від положення башмака посудини у прольоті між ярусами армування: 1 – змінне плече бічної сили; 2 – середнє значення плеча, 3 – значення плеча за класичною Методикою

Ввівши відносну координату точки проходження башмака у прольоті провідників ξ , де

$$\xi = \frac{V \cdot t}{h} \in [0, 1] \quad (4)$$

отримаємо графік зміни функції плеча бічної сили на інтервалі прольоту між ярусами (рис. 4).

Так як плече бічної сили змінюється за рахунок лобових коливань посудини за гармонійним законом, то для визначення бічної жорсткості у формулу визначення жорсткості треба плече бічної сили задавати як змінну функцію (3):

$$C_{\sigma}(t) = \frac{k \cdot E}{\frac{\left[Pc + \delta_p + \frac{2b}{4} - \frac{a}{2} \right] + \frac{2b}{4} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot t)}{3I_z l} l \left[3a_0 + 3a_0^2 + \frac{a_0(l-a_0)}{lF} + \Phi \right]}, H/m \quad (5)$$

де δ_p – півширина розпору, м; $2b$ – сумарний лобовий зазор, м; a – глибина зіву башмака ковзання, м; E – модуль поздовжньої пружності матеріалу, МПа; I_z – момент інерції поперечного перетину розпору відносно його центральної вертикальної осі, м⁴; l – довжина розпору, м; F – площа поперечного перетину розпору, м²; Φ – величина, що характеризує податливість кріплення провідника до розпору у боковому напрямку, м⁻¹; a_0 – більша відстань від місця кріплення провідника до кінця розпору (кріплення стовбура), м; k – коефіцієнт, що характеризує вплив кріплення розпору на його кінцях.

На рис. 5 наведено графік жорсткості за залежністю (5): 1 – з плечем за формулою (5) з урахуванням зазорів та зіву башмаків, 2 – з плечем за класичною методикою. Графік показує, що розрахункова бічна жорсткість у прольоті в результаті врахування реального зазору і розміру зіву башмака виходить на 50 % менше, ніж при врахуванні плеча бічної сили як константи. При цьому навіть у ярусі бічна жорсткість провідника менше класичної розрахункової на 5 %.



Рисунок 5 – Бічна жорсткість провідника

Недооцінка бічної податливості провідників призводить до того, що під дією бічних динамічних навантажень провідник прогинається значно сильніше, ніж прийнято в розрахунку (у прикладі показано до 1,5 разів). При бічному прогині провідника відбувається додаткове розширення колії також за рахунок суто геометричного ефекту, що в свою чергу знижує запас по зачепленню. Крім того, зростання плеча бічної сили у прольоті викликає додаткове пружне закручування провідника навколо своєї осі, що значно зменшує площу зачеплення з башмаком та ще більше

знижує запас по зачепленню.

Дослідження показали, що такі коливання значення плеча бічної сили не суттєво впливають на допустиму швидкість підйому з умови стійкості руху. Зменшення значення допустимої швидкості за цим критерієм не перевищувало 5 %. Проте, подальші розрахунки та експерименти у промислових умовах, що описані у розділі 4, виявили, що збільшення плеча бічної, викликані розширенням колії, відхиленням профілю провідників, механічним та корозійним зносом провідників значно впливає на допустиму швидкість підйому за критерієм міцності у лобовому та бічному напрямках та критерієм з кінематичного зачеплення.

Для подальшої автоматизації дослідницьких розрахунків та ставлячи за мету отримати залежність припустимої швидкості від реальних параметрів армування під час експлуатації виконано логарифмічну інтерполяцію $\lg \sigma_{екв}$ (основний безрозмірний параметр системи «посудина-армування») від співвідношення власної та вимушеної частот коливань $\mu = \omega/v$ для визначення межі зони нестійкості коливань при демультіплікаційному резонансі та отримано аналітичний вираз для залежності $\mu(\lg(\sigma_{екв}))$. Математична обробка даних дає наступний результат:

$$\mu(\lg \sigma_{екв}) = 0.118 \cdot \lg \sigma_{екв} + 0.292. \quad (6)$$

Аналогічно отримано залежність параметру ε_{cp} - середньої жорсткості провідника від параметру $\lg \sigma_{екв}$ - жорсткості розпору:

$$\varepsilon_{cp}(\lg \sigma_{екв}) = 1.847 - 1.147 \cdot \lg \sigma_{екв} + 0.23 \cdot (\lg \sigma_{екв})^2 - 0.016 \cdot (\lg \sigma_{екв})^3. \quad (7)$$

У розділі 4 розроблено математичне забезпечення, орієнтоване на використання в стаціонарному програмно-технічному комплексі, встановленому на підйомній посудині з передаванням даних вимірювань горизонтальних і вертикальних прискорень її точок на сервер механіка підйому, що дозволяє в режимі реального часу оперативно виділяти ділянки стовбура, в яких відбувається систематичне порушення плавності взаємодії посудин з армуванням, розраховувати екстремальні значення динамічних навантажень на провідники, проведено промислові дослідження плавності руху підйомних посудин.

Як впливає з теорії параметричних коливань системи «посудина-армування» професорів Гаркуші М.Г. і Дворнікова В.І. та відповідно до розрахункової схеми, що представлена на рис. 6, рух підйомної посудини в провідниках жорсткого армування описується зв'язаною системою п'яти диференціальних рівнянь (8) зі змінними коефіцієнтами:

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} + C_3(z+a)(x+a\varphi) + C_3(z-b)(x-b\varphi) &= 0; \\ J_{\psi}\ddot{\psi} + [C_1(z+a)(x+a\psi-s\theta) + C_2(z+a)(x+a\psi+s\theta)]a - \\ - [C_1(z-b)(x-b\psi-s\theta) + C_2(z-b)(x-b\psi+s\theta)]b &= 0; \\ m\ddot{y} + C_1(z+a)(y+a\psi-s\theta) + C_2(z+a)(y+a\psi+s\theta) + \\ + C_1(z-b)(y-b\psi-s\theta) + C_2(z-b)(y-b\psi+s\theta) &= 0; \\ J_{\varphi}\ddot{\varphi} + C_3(z+a)(y+a\varphi)a - C_3(z-b)(y-b\varphi)b &= 0; \\ J_{\theta}\ddot{\theta} + [-C_1(z+a)(y+a\psi-s\theta) + C_2(z+a)(y+a\psi+s\theta)]s + \\ + [-C_1(z-b)(y-b\psi-s\theta) + C_2(z-b)(y-b\psi+s\theta)]s &= 0; \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

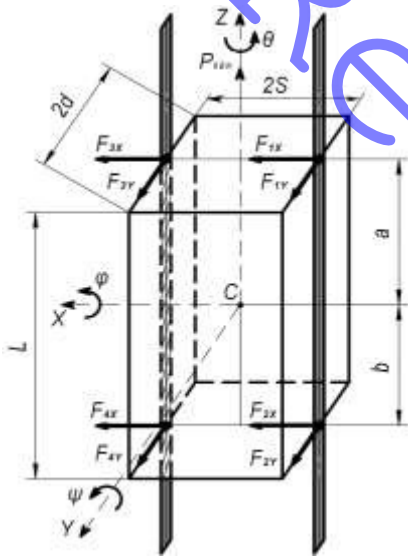
де $z = Vt$, тобто вважається, що посудина рухається у вертикальному напрямку з постійною швидкістю V . В (8) також позначено: x, y - лінійні переміщення центру мас у горизонтальній площині; φ, ψ, θ - кути повороту підйомної посудини навколо центральних осей інерції; m - маса підйомної посудини; $J_{\varphi}, J_{\psi}, J_{\theta}$ - центральні моменти інерції підйомної посудини; $C_1(z), C_2(z)$ - періодичні функції бічної жорсткості відповідно двох ниток провідників; $C_3(z)$ - періодична функція лобової

жорсткості провідників; a , b – відстані до верхніх та нижніх башмаків від центру мас посудини.

Дані рівняння описують миттєвий динамічний стан системи «посудина-армування» в момент лобового контакту башмаків із провідниками. Досить велика кількість параметрів, що входять в систему рівнянь (8), не дозволяють безпосередньо встановити складний взаємозв'язок між ними. Тому аналіз властивостей системи було виконано для деяких окремих випадків, реалізованих у більшості установок, що знаходяться у роботі. Отримано формулу максимально очікуваного прискорення:

$$\left| \max \left(\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2} \right) \right| \frac{h^2}{V^2} = 4 \frac{C_0^p h^2}{mV^2} f(\xi) y_{extr} [1 + k_\varphi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)] , \quad (9)$$

де $f(\xi)$ - періодична функція жорсткості провідника, $k_\varphi^2 = \frac{mL^2}{4J_\varphi}$, $k_\psi^2 = \frac{mL^2}{4J_\psi}$, $L = a + b$, м;
 $\varepsilon = (a - b) / L$ – ексцентриситет посудини.



$F_{i,xy}$ – зусилля взаємодії башмаків з провідниками,
 φ , ψ , θ – кути повороту підйомної посудини навколо центральних осей інерції,
 $P_{кан}$ – сила натягнення канату,
 C – центр мас посудини
 Рисунок 6 – Розрахункова схема взаємодії підйомної посудини з провідниками

На підставі (9) отримано вирази для розрахунку екстремальних навантажень на провідники відповідно у бічній та лобовій площинах, що закладено у математичне забезпечення стаціонарної системи моніторингу плавності підйомних посудин:

$$F_{extr} = \left| \max \left(\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2} \right) \right| \frac{m}{4[1 + k_\varphi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]}$$

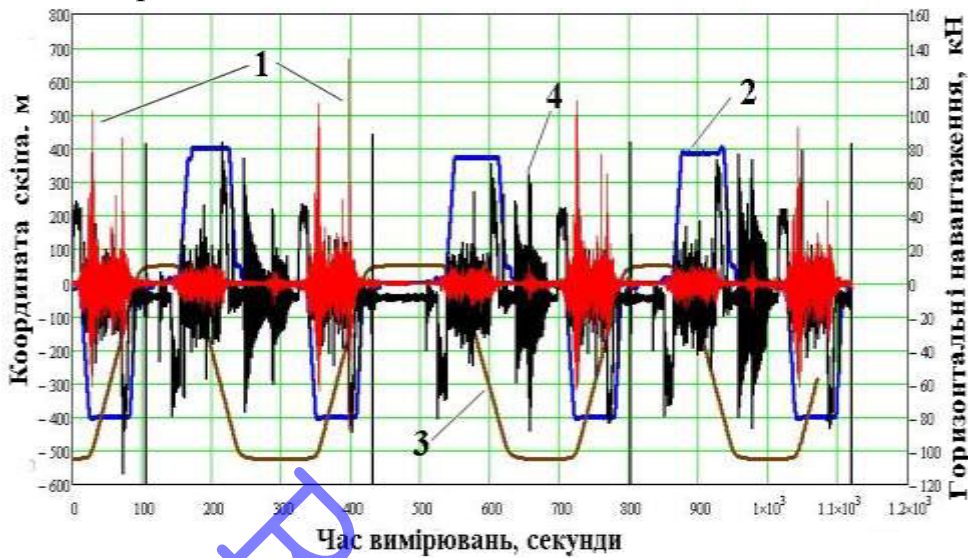
$$F_{extr} = \left| \max \left(\frac{d^2 x_{extr}}{dt^2} \right) \right| \frac{m}{2[1 + k_\psi^2 |\varepsilon| (1 + |\varepsilon|)]} \quad (10)$$

а $\frac{d^2 y_{extr}}{dt^2}$, $\frac{d^2 x_{extr}}{dt^2}$ – максимальні значення прискорення, виміряні апаратурою на корпусі направляючого башмака, м/с².

Експериментальні випробування використання отриманих результатів проведено при моніторингу плавності руху підйомних посудин в умовах скіпового вугільного підйому ВСП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ ім. ГЕРОЇВ КОСМОСУ» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАД-ВУГІЛЛЯ» на базі зразка вимірювального модуля з контролером прискорень. Приклад отриманих даних після обробки наведений на рис. 7.

З проведених вимірювань можна констатувати, що у східному відділенні загальний рівень динамічних навантажень до 25 кН (одиначні пікові до 100...130 кН). Пікові навантаження поєднуються за місцем з ділянками початку розгону і уповільнення скіпа. У формуванні таких великих сплесків провідну роль відіграють занадто різкі переходи на діаграмі швидкості посудини та підвищений

рівень зміщення горизонтального центру мас посудини від осі канатів через значний розбаланс натягів канатів багатоканатної машини.



1 - горизонтальні навантаження, кН;
2 - діаграма швидкості підйому, м/с; 3 - координата скіпа в стовбурі, м;
4 - вертикальні прискорення скіпа, м/с²
Рисунок 7 – Поєднані графіки динамічних параметрів руху скіпа

Усунення виявлених дефектів зможуть збільшити виробничу потужність підйомного комплексу за рахунок збільшення швидкості посудин та/або їх вантажопідйомності.

Шляхом чисельних експериментів з урахуванням періодичності функцій жорсткості армування були встановлені залежності допустимої швидкості підйому від величини контактних зусиль між посудиною та армуванням. Допустимі швидкості за фактором міцності в лобовій та бічній площинах провідників зменшуються при зростанні амплітуди динамічного зусилля зі сторони підйомної посудини за зворотною логарифмічною залежністю. Амплітуда пружного прогину провідника у лобовій площині збільшується пропорційно зростанню діючого динамічного зусилля за лінійною залежністю. Встановлені залежності контактних зусиль та прогинів провідників від величини вертикального ексцентриситету посудини, що описується поліномом другого порядку.

Усунення виявлених дефектів під час капітальних та поточних ремонтних робіт у стовбурі зможуть збільшити виробничу потужність підйомного комплексу за рахунок збільшення швидкості посудини та/або її вантажопідйомності.

У розділі 5 реалізовано отримані результати попередніх матеріалів дисертаційної роботи.

Обґрунтовано принципову схему автоматизованої інформаційної системи безперервного контролю плавності руху підйомних посудин (рис. 8), що базується на технічному забезпеченні, яке включає комплект вибухозахищеного контролера прискорень з блютуз-каналом передачі даних, систему комутації з сервером механіка підйому, що з'єднаний з інформаційними блоками підйомної машини. В програмному забезпеченні сервера встановлено, розроблене у розділі 4, математичне забезпечення. Такий комплекс є основою для створення інформаційно-експертної системи контролю безпеки експлуатації шахтних підйомних установок.

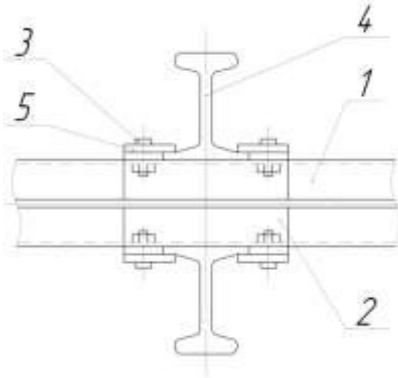
Розроблені та реалізовані: «Методика розрахунку екстремальних навантажень на жорстке армування вертикальних шахтних стовбурів під час експлуатації» та «Технічні вимоги щодо створення програмно-апаратного комплексу безперервного

контролю динамічних параметрів плавності руху підйомних посудин в вертикальних шахтних стовбурах з жорстким армуванням», розрахунок безпечного значення зносу провідників від геометричних параметрів системи «башмак-провідник» у «Методиці експертного обстеження жорстких армувань вертикальних шахтних стовбурів».



Рисунок 8 – Функціонально-структурна схема програмного забезпечення системи безперервного контролю плавності руху посудин

Обґрунтовано конструкцію вузла кріплення рейкових провідників (рис. 9), що дасть змогу збільшити допустимий лобовий знос провідників та/або розширення колії, підвищити допустиму швидкість підйому.



1 – розпірна балка, 2 – металева конструкція з отворами, 3 – елементи кріплення, 4 – рейковий провідник, 5 – пласка затискна пластина

Рисунок 9 – Вузол кріплення рейкових провідників до розпірної балки

Економічний ефект в умовах скіпового стовбура ВП «Шахта ім. Д.Ф. Мельникова» ПАТ «Лисичанськвугілля» завдяки контролю плавності руху посудин за розробленою методикою становитиме 552347 грн., що складається з вартості скіпів і трудовитрат на їх заміну.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішено актуальне наукове завдання важливого прикладного значення, що полягає у встановленні закономірностей зміни динамічного запасу з кінематичного зачеплення посудини у колії провідників, опорної жорсткості армування та

допустимої швидкості підйому за критерієм динамічної стійкості посудини в бічній площині провідників від величини зносу робочих поверхонь і кінематичних зазорів у парах «башмак-провідник» та їх фактичного розподілу по глибині стовбура, закономірностей зміни допустимої глибини зіву башмаків ковзання від радіуса заокруглення лобових ребер коробчатих провідників, закономірностей зміни екстремальних навантажень на армування від величини горизонтальних прискорень башмаків ковзання та параметрів підйомної посудини; розробці на цій основі методів визначення допустимої глибини зіву башмаків ковзання підйомної посудини та визначення екстремальних навантажень у системах «посудина-армування», що дозволило отримати економічний ефект у сумі 550 тис. грн. за рахунок збільшення часу експлуатації скіпів на вугільному підйомі ВП «Шахта ім. Д.Ф. Мельникова» ПАТ «Лисичанськвугілля», що має суттєве значення для підвищення безпеки експлуатації шахтних підйомних установок, які працюють у складних гірничо-геологічних умовах у вертикальних стовбурах з порушеною геометрією при урахуванні фактичних параметрів систем «посудина-армування».

В процесі виконання дисертаційної роботи отримано наступні наукові та практичні результати:

1. Аналіз науково-технічних робіт в області динаміки шахтного підйому та досвід експлуатації показав, що невивченою залишалась проблема впливу експлуатаційних параметрів систем «посудина-армування», які працюють більше 40-50 років у складних гірничотехнічних і гірничо-геологічних умовах, на допустиму швидкість підйому за критеріями динамічної стійкості, міцності і кінематичного зачеплення при значних відхиленнях робочих параметрів від проектних значень, що характерно для переважної більшості вітчизняних стовбурів на даний час.

2. Для армувань із коробчатими провідниками, що мають заокруглення ребер, мінімально допустима глибина зіву башмака ковзання підйомної посудини за критерієм зачеплення лінійно зростає пропорційно величині радіуса заокруглення до 35-40 %, при цьому, максимально допустима за критерієм кінематичного зачеплення швидкість руху посудини знижується у зворотній логарифмічній залежності до 30 % зі зростанням сумарного лобового кінематичного зазору між провідниками та башмаками з 15 мм до 30 мм при параметрах діючих систем «посудина-армування». Вперше встановлено:

- верхня межа зіву башмаків прямо пропорційно залежить від висоти провідника, а нижня межа зіву лінійно залежить від фактичного розширення колії провідників. Допустимі швидкості підйому за критеріями динамічної стійкості у лобовій та бічній площинах лінійно зменшуються пропорційно зростанню кінематичних зазорів у системі «посудина-армування» та зносу поперечних перетинів провідників;
- зростання кінематичних зазорів за рахунок зміни лобового зазору у парі «башмак-провідник» призводить до зниження бічної жорсткості розпорів у зворотно квадратичній залежності, що обумовлено зміною значення плеча бічної сили, максимальне відхилення значення плеча бічної сили може змінюватись у інтервалі -5...+80 % від нормованого та за гармонійним законом за рахунок лобових коливань посудини, при експлуатації системи з

потовщеними провідниками та жорсткими направляючими башмаками мінімальна допустима швидкість підйому знижується на 15...30 % за рахунок зменшення зовнішніх габаритів провідника;

- допустимий динамічний прогин провідників у площині їх колії лінійно залежить від значення радіуса заокруглення лобових ребер провідників у зворотній залежності, так, при наявності заокруглення 30 мм допустима швидкість знижується на 35 %

3. Під час руху підйомної посудини екстремальні контактні зусилля в парах «башмак-провідник» прямо пропорційні максимальним прискоренням башмаків і зворотно пропорційні добутку відповідних мультиплікаторів частот її власних коливань, величині вертикального ексцентриситету посудини та кількості башмаків, що одночасно контактують із провідниками у відповідній площині армування, та можуть перевищувати розрахункові навантаження у стаціонарному режимі руху у два - три рази. Вперше встановлено очікуване значення максимально можливих лобових та бічних горизонтальних прискорень башмаків посудини за усередненими параметрами армування (функція жорсткості, крок) та підйомної посудини (інерційні, геометричні, конструктивні), швидкості підйому.

4. Під час тривалої роботи підйомних установок у складних гірничо-геологічних умовах на окремих ділянках армування відбувається порушення регулярного характеру розподілу експлуатаційних параметрів систем «посудина-армування» по глибині стовбурів і кінематичних параметрів роботи підйомних машин (зноси елементів армування, викривлення профілю провідників, знос та глибина зіву башмаків посудини, динамічний прогин провідників, перетин провідників та наявність заокруглення на їх ребрах, плече бічної сили, діаграма швидкості), що викликає на них збудження динамічних режимів взаємодії посудин з армуванням нестационарного характеру з аварійно-небезпечними амплітудами навантажень.

5. Обґрунтовано принципову схему автоматизованої інформаційної системи безперервного контролю плавності руху підйомних посудин та розроблено математичне забезпечення, орієнтоване на використання в стаціонарному програмно-технічному комплексі, яке є основою для створення комплексної інформаційно-експертної системи контролю безпеки експлуатації шахтних підйомних установок, що включають розрахунки контактних зусиль у кінематичних парах «башмак-провідник» за отриманими в дисертаційній роботі залежностями, а також синхронізовані з ними значення миттєвої вертикальної швидкості та координати положення посудини в стовбурі.

6. Обґрунтовано конструкцію вузла кріплення рейкових провідників, що дає змогу збільшити допустимий лобовий знос провідників та/або розширення колії, підвищити безпечну швидкість підйому, зменшити трудомісткість процесу кріплення провідників та час на обслуговування і ремонт армування, захищену патентом України.

7. За результатами досліджень розроблені нормативно-методичні документи: «Методика експертного обстеження жорстких армувань вертикальних шахтних стовбурів», «Методика розрахунку екстремальних навантажень на жорстке армування вертикальних стовбурів під час експлуатації», «Технічні вимоги щодо

створення програмно-апаратного комплексу безперервного контролю динамічних параметрів плавності руху підйомних посудин в вертикальних шахтних стовбурах з жорстким армуванням», «Вимоги до системи моніторингу та управління ризиками при експлуатації глибоких стовбурів шахт і копалень України», що впроваджені у роботу провідних інститутів з питань проектування та діагностики систем «посудина-армування»: ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України та філії ПАТ «НДІГМ ім. М.М. Федорова» у м. Києві.

8. За результатами дисертаційної роботи та розробленими за ними методиками було проведено обстеження жорстких армувань, розроблені заходи з їх ремонту та подальшої експлуатації у стовбурах ПрАТ «Запорізький ЗРК», ВСП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ ім. ГЕРОІВ КОСМОСУ» ПрАТ «ДТЕК ПАВЛОГРАДВУГІЛЛЯ». Також результати дисертації були використані під час обстеження та розробки заходів з ремонту жорсткого армування ВП «Шахта ім. Д.Ф. Мельникова» ПАТ «Лисичанськвугілля», а також під час проектування жорсткого армування вентиляційного стовбура №3 ПАТ «Шахтоуправління «Покровське» із суцільнокатаного металевого профілю, що має заокруглення на ребрах. Результати роботи використані у Національному гірничому університеті «Дніпровська політехніка» при викладанні дисциплін «Шахтній підйом» та «Діагностика гірничого обладнання».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Соломенцев К.А., Коржук А.В., Василькевич В.И. Перспективные направления проектирования жестких армировок вертикальных стволов шахт // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: зб. наук. праць. Донецьк, 2010-2011. №.104-105. С. 41-52.

2. Василькевич В.И., Стрельченко А.А., Жалилов А.Ш. Усовершенствование конструкции коробчатого проводника для подъемного сосуда вертикальных шахтных стволов // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных стационарных установок: зб. наук. праць. Донецьк, 2012-2013. №106-107. С. 120-122.

3. Василькевич В.И. Перспективы перехода действующих вертикальных шахтных подъемов с рельсовых проводников на проводники коробчатые // Геотехническая механика: межвед: сб-к. науч. тр. Днепропетровск, 2012. Вып.103. С. 63-74.

4. Ильин С.Р., Соломенцев К.А., Василькевич В.И. Влияние износа направляющих устройств на динамическую устойчивость системы подъемный сосуд-жесткая армировка // Уголь Украины. Киев., 2014. №8 (692). С. 26-31.

5. Ильин С.Р., Соломенцев К.А., Василькевич В.И. Анализ влияния формы сечения коробчатых проводников жесткой армировки шахтных стволов на допустимую скорость движения подъемных сосудов // Геотехническая механика: межвед. сб-к. науч. тр. Днепропетровск, 2015. Вып.120. С. 265-275.

6. Василькевич В.И., Дворников В.И., Ильин С.Р. Определение экстремальных значений динамических нагрузок на армировку шахтных стволов //

Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. Днепропетровск, 2016. Вып.126. С.71-80.

7. Василькевич В.И. Анализ эксплуатационных параметров систем «сосуд-армировка» в условиях действующих угольных стволов // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. Днепр, 2017. Вып.136. С.173-182.

У зарубіжних виданнях:

8. Ильин С.Р., Василькевич В.И. Анализ влияния геометрических параметров коробчатых проводников на динамические деформационно-прочностные характеристики армировки в условиях износа. Часть 2 // Горное оборудование и электромеханика. Пермь (РФ), 2014. №10. С. 15-22.

Патенти:

9. Вузол кріплення рейкового провідника до розстрільної балки: пат. 80310 Україна.; МПК (2013.01) E21D 7/00. № и 201212897 / Соломенцев К.А., Василькевич В.І., Ігнатков О.Ю.; заявл. 13.11.2012; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10. 4 с.

Які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Ильин С.Р., Василькевич В.И., Дубинин М.В. Проблемы зацепления предохранительных башмаков шахтных подъемных сосудов с цельнокатаными коробчатыми проводниками жесткой армировки стволов // Зб. наук. праць за результатами всеукр. наук.-практ. конф. присвяч. 50-ти річчю каф. електромеханіки і автоматики Індустріального інституту ДВНЗ ДонНТУ «Сучасні аспекти механізації та автоматизації енергоємних виробництв», 11-12 квіт. 2017р., Покровськ, 2017. С. 60-68.

11. Василькевич В.І. Розробка математичного забезпечення програмно-апаратних комплексів безперервного експрес моніторингу динамічного стану систем «посудина-армування» // Зб. наук. праць (бюл.№12/1) XVII міжнар. наук.-техніч. конф. «Виробництво та експлуатація сталевих канатів – проблеми та рішення», 29 трав.-01 чер. 2018р., Одеса, 2018. С.5-17.

12. Василькевич В.И. Кинематические и параметрические аспекты динамического взаимодействия подъемных сосудов с жесткой армировкой стволов при использовании проводников коробчатого сечения с утолщенными стенками // Зб. наук. праць (бюл.№12) XVII міжнар. наук.-техніч. конф. «Виробництво та експлуатація сталевих канатів – проблеми та рішення», 29 трав.-01 чер. 2018р., Одеса, 2018. С.10-14.

13. Ильин С.Р., Радченко В.К., Соломенцев К.А., Василькевич В.И., Дубинин М.В. Влияние толщины стенок трубчатых коробчатых проводников, устанавливаемых при ремонтах армировки, и их износа на допустимую скорость подъема по динамическим критериям // Зб. наук. праць (бюл.№12) XVII міжнар. наук.-техніч. конф. «Виробництво та експлуатація сталевих канатів – проблеми та рішення», 29 трав.-01 чер. 2018р., Одеса, 2018. С. 15-32.

14. Василькевич В.И., Ильин С.Р. Анализ влияния геометрических параметров коробчатых проводников на динамические деформационно-прочностные характеристики армировки в условиях износа // Зб. праць 2-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації». Том 3.

Секція 4 «Гірнича механіка», 02-03 груд. 2014р., Дніпропетровськ: НГУ, 2014. С. 10-11.

15. Василькевич В.И., Дворников В.И., Ильин С.Р. Критериальный анализ допустимых параметров систем «сосуд-армирование» в дорезонансных режимах динамического взаимодействия // Зб. праць 3-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації». Т.4. «Гірнича механіка», 02-03 груд. 2015р., Дніпропетровськ: НГУ, 2015. С. 7-9.

16. Василькевич В.И., Ильин С.Р. Анализ применения цельнокатаных коробчатых проводников армировки шахтных стволов // Зб. праць VI-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих учених «НАУКОВА ВЕСНА 2015». Т.4. «Гірнича механіка», 01-02 квіт. 2015р. Дніпропетровськ: НГУ, 2015. С. 8-9.

17. Василькевич В.И. Проблема применения цельнокатанных проводников из условия обеспечения проектной скорости подъема // Матеріали міжнар. наук.-техніч. Інтернет-конф. «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», 14 груд. 2016р. Кривий Ріг: ДВНЗ Криворізький національний університет, 2016. С.273.

18. Василькевич В.И. Комплексный анализ влияния параметров армировки и ее элементов на допустимую скорость движения сосудов // Зб. праць 4-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації». Т.4. «Гірнича механіка», 06-07 груд. 2016р. Дніпро: НГУ, 2016. С. 2-3.

19. Василькевич В.И. Влияние зазоров в кинематических парах «башмак - проводник» на критериальное значение допустимой скорости подъема в шахтных подъемных установках с машинами барабанного типа // Зб. праць VII-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих учених «НАУКОВА ВЕСНА 2016», 06-07 квіт. 2016р. Дніпропетровськ: НГУ, 2016. С. 61-62.

20. Василькевич В.И. Увеличение производительности шахтных подъемных установок путем реконструирования жесткой армировки шахт // Зб. праць VIII-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих учених «НАУКОВА ВЕСНА». Т.4 «Гірнича механіка», 26-27 квіт. 2017р. Дніпро: НГУ, 2017. С. 24-25.

21. Василькевич В.И., Ильин С.Р. Випробування системи безперервного контролю плавності руху підйомних посудин в умовах вугільного скіпового підйому // Матеріали II-ї міжнар. наук.-техніч. Інтернет-конф. «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», 14 груд. 2017р. Кривий Ріг: ДВНЗ Криворізький національний університет, 2017. С.317-318. URL: <http://knu.edu.ua/nauka>.

22. Василькевич В.И., Ильин С.Р. Экспериментальные исследования динамики системы «подъемная машина – канаты – скип – армировка» подъемной установки в промышленных условиях // Зб. праць 5-ї Всеукр. наук.-техніч. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації». Т.4. «Гірнича механіка», 28-29 лист. 2017р. Дніпро: НГУ, 2017. С. 4-5.

Особистий внесок здобувача в роботи опубліковані у співавторстві. Узагальнення теоретичних та експериментальних досліджень заснованих на застосуванні системного аналізу науково-технічних літературних джерел з проектування жорстких армувань вертикальних стовбурів [1] та з конструкції елементів жорсткого армування [2, 16], розрахунки з динамічної та кінематичної взаємодії у системі «посудина-армування» з урахуванням типу та конструкції

провідників, величини зносу провідників та розпорів, конструктивних особливостей армування, у тому числі кроку армування, типу напрямних посудини тощо [4, 5, 6, 8, 10, 13, 14, 15, 16], обґрунтування принципової схеми АІС безперервного контролю плавності руху підйомних посудин та розробка математичного забезпечення, орієнтованого на використання в стаціонарному програмно-технічному комплексі, встановленому на підйомній посудині та пульті керування підйомною машиною [6, 15, 21, 22], обґрунтування конструкції кріплення провідників за умови кінематичної взаємодії у системі «посудина-армування» [9].

АНОТАЦІЯ

Василькевич В.І. «Розробка та обґрунтування методів та засобів визначення та оцінки динамічних параметрів систем «посудина-армування» шахтних вертикальних стовбурів» - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.06 - Гірничі машини. – Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро, філія ПАТ «Науково-дослідний інститут гірничої механіки ім. М.М. Федорова» у м. Києві, 2018.

Проведено дослідження сучасного стану жорсткого армування вертикальних стовбурів шахт. Отримано співвідношення для визначення точних значень нижньої і верхньої меж допустимих величин зіва башмаків за критерієм кінематичного зачеплення й обґрунтовано конструкцію вузла кріплення рейкових провідників.

Встановлено залежності допустимої швидкості підйому за кінематичними та динамічними складовими процесу взаємодії всередині системи «посудина-армування» від стану армування та параметрів підйомної посудини.

Обґрунтовано принципову схему автоматизованої інформаційної системи безперервного контролю плавності руху підйомних посудин та розроблено математичне забезпечення, орієнтоване на використання в стаціонарному програмно-технічному комплексі, яке є основою для створення комплексної інформаційно-експертної системи контролю безпеки експлуатації шахтних підйомних установок.

Розроблені нормативно-методичні документи: «Методика експертного обстеження жорстких армувань вертикальних шахтних стовбурів», «Методика розрахунку екстремальних навантажень на жорстке армування вертикальних стовбурів під час експлуатації», «Технічні вимоги щодо створення програмно-апаратного комплексу безперервного контролю динамічних параметрів плавності руху підйомних посудин в вертикальних шахтних стовбурах з жорстким армуванням», «Вимоги до системи моніторингу та управління ризиками при експлуатації глибоких стовбурів шахт і копалень України».

Ключові слова: шахтний підйом, вертикальний стовбур, жорстке армування, підйомна посудина, система «посудина-армування», плавність руху посудини.

АННОТАЦИЯ

Василькевич В.И. «Разработка и обоснование методов и средств определения и оценки динамических параметров систем «сосуд-армирование» шахтных вертикальных стволов» - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.06 - Горные машины. – Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины, Днепр, филиал ПАО «Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М. Федорова» в г. Киеве, 2018.

Проведено исследование современного состояния жестких армировок вертикальных стволов шахт. Получены соотношения для определения точных значений нижней и верхней границ допустимых величин зева башмаков по критерию кинематического зацепления и обоснована конструкция узла крепления рельсовых проводников.

Установлены зависимости допустимой скорости подъема по кинематическим и динамическим составляющими процесса взаимодействия системы «сосуд-армировка» от состояния армировки и параметров подъемного сосуда.

Обоснована принципиальная схема автоматизированной информационной системы непрерывного контроля плавности движения подъемных сосудов и разработано математическое обеспечение для использования в стационарном программно-техническом комплексе, который является основой для создания комплексной информационно-экспертной системы контроля безопасности эксплуатации шахтных подъемных установок.

Разработаны нормативно-методические документы: «Методика экспертного обследования жестких армировок вертикальных шахтных стволов», «Методика расчета экстремальных нагрузок на жесткую армировку вертикальных стволов при эксплуатации», «Технические требования по созданию программно-аппаратного комплекса непрерывного контроля динамических параметров плавности движения подъемных сосудов в вертикальных шахтных стволах с жесткой армировкой», «Требования к системе мониторинга и управления рисками при эксплуатации глубоких стволов шахт и рудников Украины».

Ключевые слова: шахтный подъем, вертикальный ствол, жесткая армировка, подъемный сосуд, система «сосуд-армировка», плавность движения сосуда.

ANNOTATION

Vasylykevych V.I. "Development and justification of methods and means of determination and estimation of dynamic parameters of "vessel-reinforcement" systems of vertical mine shafts" - Manuscript.

Thesis for a degree of a candidate of technical sciences (PhD), specialty - 05.05.06 "Mining machines" (133 Industrial machinery engineering). – M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under The National Academy of Sciences of Ukraine, Dnipro, affiliate of Scientific Research Institute of Mining Mechanics named by M.M. Fedorov, Kyiv, 2018.

The research was conducted to study the current state of the systems of the vertical shaft "lifting vessel - rigid reinforcement". Ratios for determination of exact values of the lower and top borders of admissible sizes of a pharynx of shoe by criterion of kinematic gearing, and reasonably a design of an attachment unit of rail conductors with executions of a reinforcement are received. Dependences of admissible speed of increase on kinematic and dynamic components of process of interaction of the vessel-reinforcement

system from a condition of reinforcement and parameters of a lifting vessel are determined.

The schema of the automated information system for continuous monitoring of the smoothness of movement of the lifting vessels was justified and also mathematical software for use in the stationary software and hardware complex, which is the basis for the creation of an integrated information and expert system for monitoring the safety of operation of mine hoisting installations, was devised.

Normative and methodological documents were developed, such as "Methods of expert examination of rigid reinforcements of vertical shafts", "Methods for calculating extreme loads on rigid reinforcement of vertical shafts during operation", "Technical requirements for creating a hardware-software complex for continuous monitoring of dynamic parameters of lifting smoothness vessels in vertical shafts with rigid reinforcement ", "Requirements for a risk monitoring and control system during operation shafts and mines of Ukraine. "

Key words: mine hoisting, vertical shaft, rigid reinforcement, lifting vessel, system "vessel-reinforcement", smoothness of vessel movement.

ВАСИЛЬКЕВИЧ ВІКТОР ІВАНОВИЧ

РОЗРОБКА ТА ОБІРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТА
ОЦІНКИ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ «ПОСУДИНА-АРМУВАННЯ»
ШАХТНИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТОВБУРІВ

(Автореферат)

Підписано до друку 16.04.2019 р.
Гарнітура Times. Друк різнографічний.
Папір офсетний. 1,08 умов. друк. арк.
Тираж 100 прим. Зам. №237
Друк ТОВ "БАРВІКС"
Свідоцтво про внесення до державного реєстру
№24 від 25.07.2000 р.
49005, м. Дніпро, вул. Сімферопольська, 21