

## ЧАСТОТНА СУМІСНІСТЬ ПРИВОДНИХ СИСТЕМ З ДИНАМІКОЮ БУРОВИХ ВЕРСТАТІВ

*В.С. Хілов, С.В. Кобилянський,  
Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна*

Наведено результати оцінки експериментальних досліджень ступеня впливу типів приводних систем і бурових установок на рівень вібрації ставу, що виникають при бурінні в гірничо-геологічних умовах Центрального гірничо-збагачувального комбінату.

Сучасна технологія видобутку корисних копалин відкритим способом передбачає використання буро-вибухових робіт. Створення вибухових свердловин здійснюється буровими верстатами [БВ] [1, 2]. До основних проблем відкритого способу розробки відносяться фізичне і моральне старіння бурового обладнання [3, 4]. Тому модернізація обладнання та створення нового покоління бурових БВ є важливими науково-технічними проблемами, на вирішення яких залежить успішне функціонування гірничодобувної промисловості України.

Придбання бурового обладнання в країнах ближнього зарубіжжя вимагає значних інвестицій і не забезпечить збільшення техніко-економічних показників гірничодобувної, машинобудівної та електротехнічної промисловості країн ближнього зарубіжжя оскільки за останні п'ятнадцять – сімнадцять років вони зазнали складний період свого існування, що негативно позначилося на розробці та випуску нового обладнання.

Українські машинобудівні заводи створили бурові установки УСБШ-250А (ВАТ «Криворізький завод гірничого машинобудування», м. Кривий Ріг, Україна) – аналог машини СБШ-250 / 270-32 (виробництва Рудгормаш, м. Воронеж, РФ) і принципово нові машини, розроблених Ново-Краматорським машинобудівним заводом і СБШС-250Н (ТОВ «НКМЗ», м. Краматорськ, Україна) [5, 6].

Порівняльні характеристики створених та існуючих БВ наведені в [7], з якого випливає, що технічні параметри бурових установок нового покоління, розроблені українськими машинобудівниками, відповідають середньому типу, а за енергетичним устаткуванням – важким. Це визначає їхню кращу продуктивність.

Поряд з вдосконаленням механічної частини БВ необхідно модернізувати привідну систему, яка повинна відповідати досягнутому рівню в світовій електротехнічній галузі [8, 9]. Тільки в цьому випадку можна створити конкурентоспроможну гірничу машину в цілому.

З 1997 року колективи співробітників Інституту електроенергетики Національного гірничого університету та ТОВ «ОРКІС» проводять науково-технічні розробки, спрямовані на створення енергоефективних приводних систем для гірничих машин, як нового покоління, так і для тих, що працюють на гірничо-збагачувальних комбінатах України [10-14].

В рамках робіт, проведених у процесі модернізації обладнання, були впроваджені такі унікальні системи приводу змінного струму для бурових установок СБШ-250МН-32, які експлуатуються на Центральному гірничо-збагачувальному комбінаті: тиристорний привід змінного струму із джерелом струмом на реконструйованій буровій установці; транзисторні приводи змінного струму з джерелом напруги на модернізованих бурових установках; транзисторні перетворювачах напруги з джерелом напруги (фірма " Triol Corporation") на унікальній машині СБШС-250Н.

При дослідженні бурового процесу встановлено [15], що істотним фактором, який обмежує швидкість обертання і осьове навантаження на долото є вібрація бурового поставу і усього верстата у цілому. Якщо швидкість обертання інструмента більше за 150 об/хв, вібрація, як за правило, перевищує припустимі норми. Наявність підвищених вібрацій при бурінні на існуючих типах верстатів відзначають багато дослідників [16].

У роботі [17] наведені експериментально отримані дані режимних параметрів у процесі буріння верстатом СБШ-250М. Аналіз показав, що залежності механічної швидкості буріння

і потужності двигуна обертання у функції режимних параметрів за інших рівних умов для гірничо-геологічних умов Криворізького басейну не мають екстремумів і монотонно зростають зі збільшенням частоти обертання долота та осьового навантаження. У діапазоні зміни частоти обертання 80 – 110 об/хв знаходиться максимальне значення моменту опору. Аналізуючи чутливість механічної швидкості буріння до зміни режимних параметрів зроблено висновок, що осьовий тиск має більший ступінь впливу на механічну швидкість, ніж частота обертання долота.

Таким чином, на підставі експериментального визначення показників процесу буріння можна зробити висновок, що для існуючих БВ не є можливим екстремальне регулювання, як пропонується у роботі [18].

Оптимальне регулювання процесу буріння – це регулювання, що спрямоване на досягнення максимально можливої продуктивності, тобто максимально можливої механічної швидкості буріння. Таке ведення процесу руйнування гірничої породи забезпечить найкращі техніко-економічні показники роботи БВ. З ростом значень режимних параметрів пропорційно збільшується механічна швидкість буріння. Однак при цьому одночасно збільшуються низькочастотні динамічні навантаження і вібрація верстата [15].

Експериментально встановлено [19], що регулювати рівень вібрації верстата зміною осьового тиску нерационально. Зниження вібрації верстата зменшенням величини осьового тиску призводить до зниження лінійної швидкості проходки свердловини. У той же час швидкість буріння у більшій ступені залежить від зміни осьового тиску, ніж від швидкості обертання долота і, навпаки, динамічні навантаження і вібрація верстата у більшій ступені визначаються швидкістю обертання долота, ніж осьовим тиском. Тому вібрації поставу доцільніше регулювати зміною частоти обертання долота. Швидкість обертання поставу повинна підтримуватися максимальною за припустимого рівня низькочастотних динамічних навантажень (вібрацій).

У роботі [20], пропонується регулювати процес буріння зміною частоти обертання долота за рівнем вібрації верстата при забезпеченні постійного максимального осьового тиску. Величина осьового тиску повинна визначатися властивостями порід, що буряться, а швидкість обертання долота змінюватися відповідно за рівнем вібрації.

Використання вібрації вузлів верстата як параметр керування роботою має ряд істотних недоліків. Параметри вібрації окремих елементів конструкції БВ залежать як від вібрації бурового поставу, так і від автоколивань системи. Останні для кожного елемента конструкції мають різні параметри і умови виникнення, що залежать від жорсткості, маси, місця розташування вузла конструкції та інше. Основне джерело низькочастотних вібрацій і динамічних навантажень, що знижують довговічність вузлів верстата та шарошкового долота, є вібрації бурового поставу. Прояви цих вібрацій через накладення вібрацій від автоколивань при тих самих гірничо-геологічних умовах і режимах буріння для окремих вузлів верстата будуть різними і не мають загальних закономірностей [21].

Експериментальні дослідження низькочастотних динамічних навантажень показали [22], що динамічні навантаження бурового поставу (верстата) і крутильний момент на долоті мають однаковий характер у часі. Також встановлено, що динамічні навантаження змінюються за періодичним законом з частотою в межах від 3 до 6 Гц, пропорційно частоті обертання долота. У цьому випадку коливання струму двигуна обертання обумовлені вимушеними коливаннями у стаціонарній динамічній системі і мають ті ж кутові частоти, що і збурення, але відрізняються за амплітудою і фазою. Тому в якості достовірного (непрямого) параметра, що дозволяє оцінювати рівень низькочастотних динамічних навантажень, у роботі [22] рекомендується використати низькочастотну змінну складову струму двигуна обертання.

Регулювання за непрямим параметром динамічного навантаження, яким є струм двигуна обертання, дозволило створити систему регулювання, вхідний сигнал якої найбільш точно відтворює характер вібрацій бурового поставу [17]. Вібрації БВ подавлялися шляхом введення нелінійного контуру керування у приводі обертання із силовим магнітним

підсилювачем. Система була випробувана на експериментальному верстаті СБШ-250М в умовах Південного ГЗК (м. Кривий Ріг і дозволила підвищити проходку на долото у середньому на 4%.

При впровадженні нових типів швидкодіючих приводних систем на бурових станках із більшими приєднаними масами штанг з'являється проблема їхнього взаємного впливу. Така проблема не є новою. Однак, незважаючи на наявність великої кількості робіт, огляд незначної частини яких наведено вище, дана проблема має високу актуальність і в даний час.

Зараз проблема взаємного впливу динамічних характеристик швидкодіючих транзисторних електроприводів змінного струму і частотних характеристик трансмісії бурових верстатів нового покоління недостатньо вивчена і актуальна. Це пов'язано з впровадженням як бурових верстатів з новими конструктивними рішеннями, так і електроприводів нового покоління, які істотно змінили власні частоти коливань систем електро-гідромеханічної спуско-підйомні операцій і подачі та електромеханічної обертання става.

Експериментальні дослідження в умовах реальних гірничо-геологічних умовах надають достовірні результати роботи обладнання БВ. Натурний експеримент який проводиться у промислових умовах на діючих БВ виявляє об'єктивну оцінку протікання динамічних процесів при створенні вибухових свердловин.

Під час натурних випробувань фіксувалися наступні фактори: коефіцієнт міцності, категорія буріння, трещиноватість породи, вміст води у свердловині та, по можливості, інші фактори, що впливають на процес вібрації бурової установки. Буріння на всіх бурових установках проводилося з однаковим осьовим тиском на шарошковому долоті і за однаковою частотою обертання. У ході дослідження були використані ідентичні за конструкцією шарошкві долота 243-ОКП. Фіксувалися фізико-механічні властивості порід для кожного випробування.

Датчик вібрації був встановлений на траверсі тиску бурильної головки в безпосередній близькості від бурового опорного вузла, а датчики напруги і струму обертального двигуна знаходилися всередині машинного відділення бурової установки в блоці живлення напівпровідниковий перетворювач.

Осцилограми перехідних кривих струму якоря, частоти обертання, вібраційного зсуву та енергоспоживання тиристорного приводу постійного струму обертання става бурильного машини СБШ-250МН-32 в умовах експлуатації на Центральному гірничо-збагачувальному комбінаті при пуску від задавача інтенсивності та початку буріння на неокисленій магнетитовій руді (коефіцієнт міцності за шкалою М.М. Протод'яконова  $f = 16-17$ ; V категорія буримості; середнє-тріщинуваті породи) наведені на рис. 1.а.

Гармонічний аналіз кривої вібраційного зсуву (рис. 1, б, в) показав, що зі збільшенням частоти обертання бурової штанги амплітудно-частотні характеристики зміщуються пропорційно в напрямку високих частот. Остання обставина вказує на те, що коливання бурильної штанги викликані вимушеними коливаннями через взаємодію бурового інструменту з породою в зоні руйнування.

Осцилограми змін струму статора, швидкості обертання, енергоспоживання асинхронного двигуна з керованим тиристорним джерелом струму при пуску та на початку буріння з використанням системи приводу змінного струму на неокисленій гематито-магнетитовій руді з породою міцністю за шалою М.М.Протод'яконова  $f = 17 -20$ , категорія VI буримості, тиск на став 250 кН в умовах Центрального гірничо-збагачувального комбінату наведені на рис. 1.г. Система обертання приводу з асинхронним двигуном і керованим тиристорним джерелом струму захищена патентами України [23, 24 ].

Ширина смуги пропускання контуру частоти обертання в тиристорному приводі змінного струму становить до 50 рад / с. Внаслідок меншої інерції ротора асинхронного двигуна, порівняно з двигунами постійного струму в приводі змінного струму, амплітуди коливань частоти обертання вала двигуна збільшуються, коли змінюється момент опору на шарошковому долоті. Пульсація струму двигуна становить 25,3%, пульсація частоти обертання вала двигуна - 2,56%.

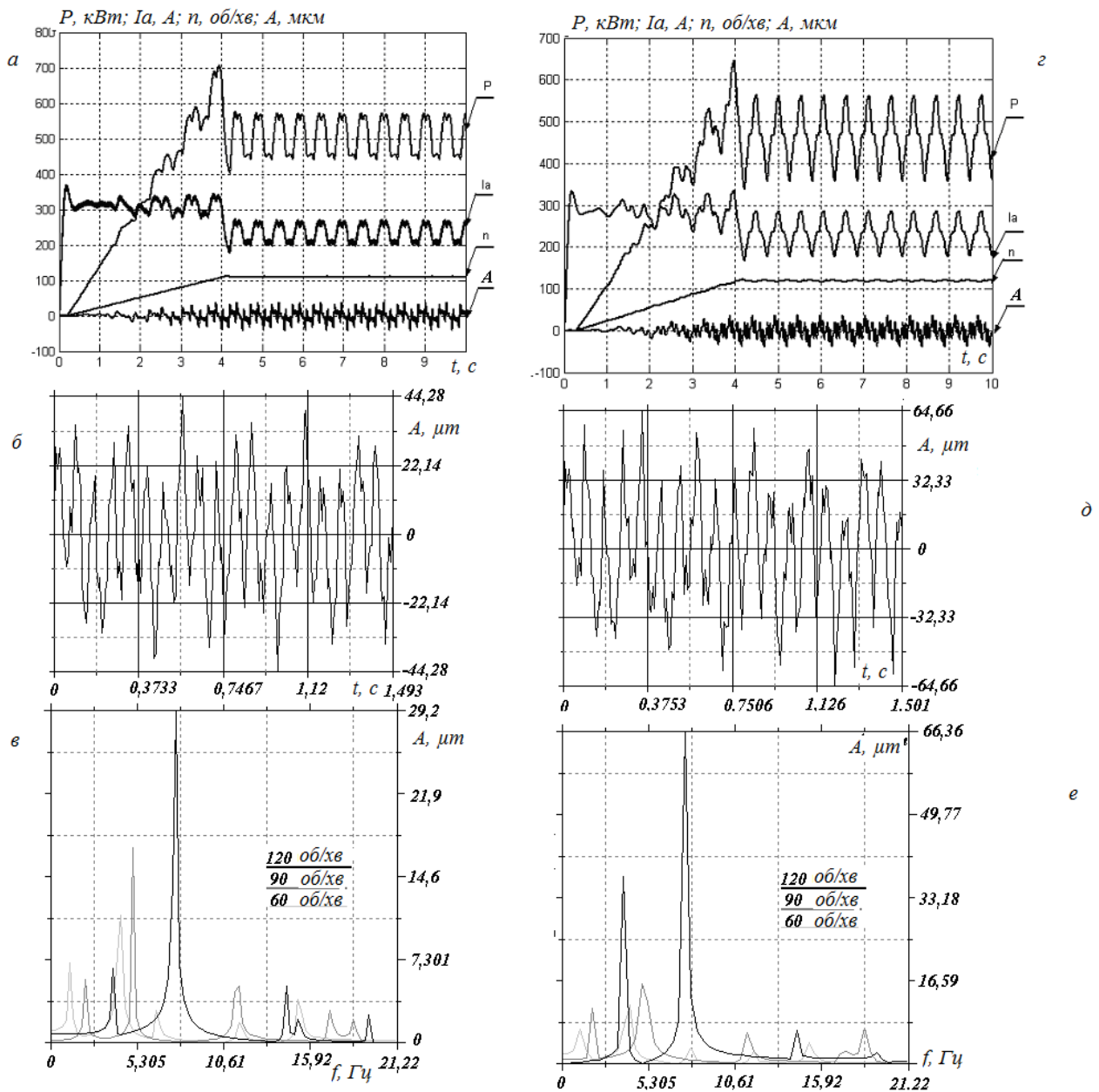


Рис.1. Осцилограми перехідних процесів (а, з), вібраційного зсуву натискної траверси бурильної головки на частоті 60 об / хв (б, д) і спектрів амплітудно-частотної характеристики коливань (в, е) бурової установки СБШ-250МН-32 32 при пуску і початку буріння з тиристорним приводом постійного струму (а, б, в) та з тиристорним приводом змінного струму (з, д, е) при осьовому тиску 250 кН, буріння двома бурильними штангами: Р - споживана потужність, кВт; Ia - струм якоря, А; n - частота обертання, об / хв; А – віброзсув, мкм; t - поточний час, с; А – вібраційний зсув, мкм; f - частота коливань, Гц

Частотний аналіз кривої вібраційного зсуву при бурінні системою приводу за схемою регульованого джерела струму - асинхронного двигуна (рис. 1, д, е) показує, що закономірність, що виникає при бурінні з використанням тиристорного приводу постійного струму, також виконується, коли використовується тиристорний привід змінного струму.

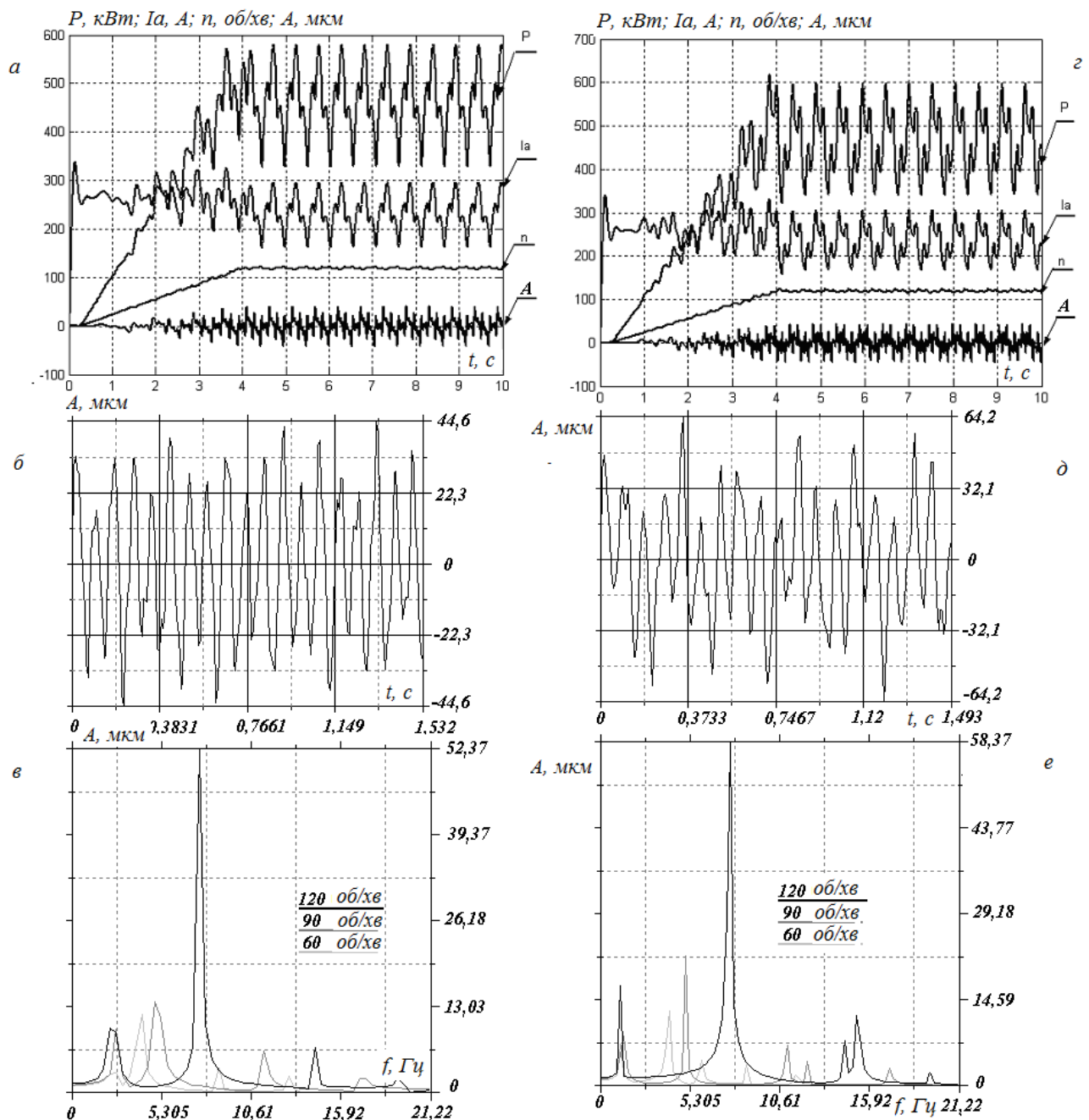


Рис.2. Осцилограми перехідних процесів (а, з), вібраційного зсуву натискної траверси бурильної головки на частоті 60 об / хв (б, д) і спектрів амплітудно-частотної характеристики коливань (е, е) бурової установки СБШ-250МН-32 при пуску і початку буріння з транзисторним приводом змінного струму при осьовому тиску 240 кН, буріння трьома бурильними штангами (а, б, в) та з транзисторним приводом змінного струму при осьовому тиску 250 кН, буріння трьома бурильними штангами (з, д, е) при осьовому тиску 250 кН, буріння трьома бурильними штангами: Р - споживана потужність, кВт;  $I_a$  - струм якоря, А; n - частота обертання, об / хв; А – віброзсув, мкм; t - поточний час, с; А – вібраційний зсув, мкм; f - частота коливань, Гц

Використання транзисторного частотно-керованого приводу на машині СБШ-250МН-32 призводить до посилення високочастотних компонентів у вібраційній кривій. Осцилограми перехідних процесів наведені на рис. 2, а (буріння на окислених мартиито-гематитових рудах: коефіцієнт міцності за шкалою М.М.Протодьяконова 13-15; відстань між тріщинами 0,2-0,3

м; осьовий тиск 240 кН), з якої випливає, що розширення смуги пропускання контуру швидкості обертання до 200 рад/с і зменшення моменту інерції ротора призводить до збільшення амплітуди коливання частоти обертання в порівнянні з тиристорними двигунами постійного і змінного струму. Пульсації струму двигуна становлять 25,6%, пульсації частоти обертання вала двигуна - 3,51%.

З амплітудно-частотної характеристики зміщення коливань, які показані на рис. 2, з, д, виходить, що при використанні одного і того ж типу бурової установки (СБШ-250МН-32), закономірність, що сталася під час буріння з тиристорними приводними системами, зберігається і при переході на транзисторний привід - вібрації викликаються також змушеними коливаннями бурового ставу. Відмінність полягає в значеннях амплітуд коливань.

Осцилограми роботи транзисторної приводної системи обертання (АІН-ШІМ-АД) бурового постау верстата СБШС-250Н наведені на Рис.2, б (буріння по вилугуванню окисленим мартит-гематитовим роговиком: коефіцієнт міцності за шкалою М.М. Протодьяконова – 13-15; категорія свердлування за шкалою Центрального ГЗК – ІV; дуже тріщинуваті, відстань між тріщинами 0,2-0,3 м; осьовий тиск на постав 250 кН), з яких виходить, що збільшення смуги пропускання контуру частоти обертання до значення 200 рад/с і зниження власних частот коливань постау призводить до збільшення амплітуди коливань частоти обертання вала двигуна. Пульсації струму двигуна складають 27,1%, пульсації частоти обертання вала двигуна - 3.02%.

В амплітудно-частотних характеристиках при бурінні трьома штангами (рис.2, з, д) з'являються пікові значення на частотах 1,02 і 2,36 1 / с. При зміні частоти обертання постау ці частоти не змінюють своїх значень. Цю закономірність можна пояснити впливом власних частот коливань самого постау на віброзсув.

Із порівнянь результатів гармонічного аналізу кривих вібрацій виходить, що при бурінні гірничих порід з близькими за своїми фізико-механічними властивостями при однакових режимних параметрах амплітуди вібрації бурового постау у верстатів СБШС-250Н з транзисторним приводом змінного струму вищі, ніж у верстатів СБШ-250МН-32 з тиристорним приводом постійного струму.

Зі збільшенням контактної міцності порід, які буряться, відмінність у показниках вібрації верстатів із приводними системами постійного і змінного струмів стають більш явними.

Результати кількісного гармонічного аналізу залежностей параметрів вібрації бурових установок від приводних систем зведені в таблиці 1.

Аналізуючи експериментальні дані, отримані в гірничо-геологічних умовах Центрального гірничо-переробного комбінату, можна зробити наступні узагальнення:

Таблиця 1. Кількісні характеристики величини пульсацій в залежності від типів обертальних електроприводів і бурових установок

Типи приводів обертання постау і бурових верстатів	Розмах пульсацій в період буріння, %	
	частоти обертання двигуна (поставу)	струму двигуна
Тиристорний привід постійного струму, верстат СБШ-250МН-32	0,51	28,4
Тиристорний привід змінного струму АІС-АД, верстат СБШ-250МН-32	2,56	25,3
Транзисторний привід змінного струму АІН-АД, верстат СБШ-250МН-32	3,51	25,6
Транзисторний привід змінного струму АІН-АД, верстат СБШС-250Н	3,02	27,1

- збільшення швидкості обертання долота призводить до збільшення частоти і амплітуди коливань бурової штанги;
- осьовий тиск на буровій штанзі практично не впливає на значення частот вимушених коливань;
- при збільшенні глибини буріння амплітуди вібрації збільшуються внаслідок зменшення жорсткості трансмісії (оскільки при збільшенні глибини свердловини робочі частоти обертання стають меншими).

У буровому верстаті СБШС-250Н з'явилася нова закономірність з транзисторним приводом змінного струму: при збільшенні частоти обертання бурового долота неприпустимі амплітуди коливань бурової штанги з'являються на частотах нижчих, ніж у бурового верстату СБШ-250МН-32 з приводом постійного струму.

Фактори, що викликають вібрацію бурового ставу при руйнуванні гірничої породи, можна розділити на два класи:

- зовнішні збурення, що виникають від взаємодії шарошки з поверхнею вибою та удару штанги у процесі буріння об внутрішню поверхню свердловини;
- внутрішні збурення, що виникають через власні коливання бурових штанг.

Перші фактори обумовлені ударними впливами як на шарошкове долото, так і на буровий постав. Ці впливи призводять до виникнення низько- і високочастотних коливань. Взаємодія штанг із поверхнею пробуреної свердловини викликає коливання з частотою, що дорівнює частоті обертання поставу. Збільшення останньої призводить до відповідного зростання частоти збурення. За умови абсолютно рівного вертикального розташування бурового поставу і гладкої внутрішньої поверхні свердловини ці збурення відсутні.

Взаємодія тришарошкового долота з поверхнею вибою призводить до генерування впливів збурення з потроєною частотою відносно до частоти обертання поставу. Через піддатливість канатно-полістпавної системи на вибої утворюється хвилеподібна поверхня. При наявності цілком жорсткої системи подачі долота на вибій поверхня вибою була би практично рівною і перекочування долота не викликало би такого роду збурення. Занурювання штирів озброєння в гірничу породу викликає високочастотні коливання з малими амплітудами.

Другий фактор викликається динамічними властивостями бурового поставу, причому власні частоти коливань змінюються у залежності від кількості нагвинчених штанг на постав і не залежать від частоти обертання долота. Зі збільшенням частоти обертання поставу верстатів СБШ-250МН-32, поза залежністю від типу приводної системи, пропорційно збільшуються частоти вимушених коливань поставу. У спектрах амплітудно-частотних характеристик вібрацій крім першої гармоніки виділяються гармоніки, частота яких кратна трьом стосовно частоти обертання поставу. Ця закономірність виявляється поза залежністю від частоти обертання. Останнє свідчить про те, що у приводних системах верстатів СБШ-250МН-32 постав піддається вимушеним коливанням і власні коливання в досліджуваному діапазоні частот обертання та тиску на постав не впливають.

У спектрах амплітудно-частотних характеристик вібрацій поставу верстата СБШС-250Н з'являється гармоніка на частоті  $f=15,92$  Гц, що не залежить від частоти обертання. Інші гармонічні складові підкоряються тим же закономірностям, що характерні, і для бурового верстата СБШ-250МН-32. Поява гармоніки коливань поставу, що не залежить від його частоти обертання, свідчить про прояв внутрішньої динаміки поставу в процесі буріння. Таким чином, у бурових верстатах СБШС-250Н при розробці приводних систем необхідно враховувати і власні частоти коливань бурового поставу.

На частоті обертання 120 об/хв спостерігається зближення власних і вимушених коливань поставу, тобто останній працює у режимі, близькому до механічного резонансу, що негативно позначається на довговічності вузлів і бурового верстата в цілому.

Зараз змонтовані на бурових верстатах електроприводи загальнопромислового призначення, на яких перевіряється працездатність прийнятих до експлуатації енергозберігаючих приводних систем. На наступних етапах впровадження необхідно враховувати специфіку роботи бурового верстата. Створення об'єктно-орієнтованих електроприводів вимагає аналізу та обліку технологічних факторів, що не приймаються до уваги при розробці загальнопромислового електроустаткування універсального призначення.

У результаті аналізу стану шарошкового способу буріння підричних свердловин і проведених експериментальних досліджень шляхів удосконалювання приводних систем бурових верстатів, упроваджених за рекомендаціями і при участі авторів на відкритих гірничих роботах України, встановлено:

1. Зараз одна з основних проблем відкритого способу видобутку корисних копалин на кар'єрах України – це фізичне і моральне старіння гірничого устаткування, зокрема БВ. Тому модернізація існуючого парку і створення нового покоління БВ є важливою науково-прикладною проблемою, від успішного вирішення якої залежить конкурентоспроможність вітчизняного гірничорудного виробництва на світовому ринку.

2. Створенням вітчизняних верстатів шарошкового буріння займаються колективи спеціальних конструкторських бюро інститутів ВАТ “Ново-Краматорський машинобудівний завод” (м. Краматорськ), ВАТ “КриворіжНІПрудмаш”, ВАТ “Криворізький завод гірничого машинобудування” (м. Кривий Ріг), які удосконалюють механічне і гідравлічне устаткування БВ, але продовжують використовувати традиційні тиристорні приводні системи з двигунами постійного струму.

3. Поряд з удосконалюванням гідромеханічного устаткування БВ необхідно покращувати і приводні системи, які повинні відповідати досягнутому рівню у світовій електротехнічній промисловості. Тільки в цьому випадку можна створити конкурентоспроможний буровий верстат у цілому.

4. У загальнопромислових приводних системах спостерігається стійка тенденція – впровадження частотно-керованих короткозамкнених асинхронних двигунів з використанням автономних інверторів напруги або струму.

5. У рамках проведеної роботи Дніпровським технологічним університетом разом з ТОВ "ОРКІС" у процесі модернізації електроустаткування БВ впроваджені унікальні приводні системи змінного струму для верстатів шарошкового буріння СБШ-250МН-32, що знаходяться в експлуатації на Центральному ГЗК з 1999 року. Надбано досвід промислового використання транзисторного привода змінного струму в умовах експлуатації на відкритих гірничих роботах з підвищеним рівнем вібрацій, наявністю струмопровідного пилю, різким перепадом температур, тощо.

6. Зміна типу приводної системи і параметрів БВ призвели до зміни умов роботи електромеханічної системи:

– розмах пульсацій частоти обертання у період буріння для приводних систем змінного струму на верстаті нового покоління СБШС-250Н досягає 3,02%, що більше, ніж для приводів постійного (0,51%), змінного (2,56%) струмів на бурових верстатах СБШ-250МН-32;

– розмах пульсацій частоти обертання у період буріння для приводних систем змінного струму верстатів СБШ-250МН-32 при живленні двигуна від АІН-ШІМ досягає 3,51%, що більше, ніж при підключенні двигуна до автономного джерела струму – не перевищує 2,56%;

– смуга пропускання зовнішнього контуру регулювання транзисторного привода змінного струму (до 200 рад/с) більше смуги пропускання аналогічних контурів тиристорних приводів постійного і змінного струмів (до 50 рад/с);

– транзисторна приводна система змінного струму при живленні двигуна від АІН-ШІМ у БВ нового покоління СБШС-250Н слабкіше подавляє коливання в зовнішньому контурі регулювання частоти обертання (пульсація 3,02%), ніж тиристорна система постійного струму (пульсація 0,51%) у верстатах СБШ-250МН-32;

– розмах пульсацій струму і крутильного моменту у період буріння для приводів постійного (28,1%) і змінного струмів (25,3%) БВ модернізованих (СБШ-250МН-32 – 25,6%) та нового покоління (СБШС-250Н – 27,1%), практично однаковий.

Подяка. Автори вважають своїм приємним обов'язком висловити вдячність усім, хто сприяв реалізації цього проекту. Цей проект був би неможливий без підтримки інженерного корпусу та управління Ново-Краматорського машинобудівного заводу, Центрального гірничозбагачувального комбінату, ТОВ «ОРКІС».



## Список літератури

1. Колосов В.А. Современное состояние и перспективы развития предприятий по добыче и переработке железорудного и флюсового сырья в Украине. / В.А.Колосов, В.П. Воловик, Н.И. Дядечкин. // Горный журнал. – 2000. – №6. – С. 162–164.
2. Бызов В.Ф. Потенциал недр Украины. / В.Ф. Бызов, И.С. Паранько, В.Д. Евтехов. // Горный журнал. – 2000. – №6. – С. 138–140.
3. Сторчак С.О. Перспективи розвитку гірничорудної промисловості України. / С.О. Сторчак. // Матеріали міжнар. Конф. “Форум гірників-2005”. – Том 4. –2005. – С. 99–106.
4. Колосов В.А. Состояние и перспективы развития сырьевой базы горно-металлургического комплекса Украины. / В.А. Колосов, Н.И. Дядечкин. // Горный журнал. – 2005. – №2. – С. 10–13.
5. Панков В.А. Создание и производство новых машин на НКМЗ для горнодобывающей промышленности. / В.А. Панков. // Горный журнал. – 2005. – №2. – С. 92–94.
6. Калашников О.Ю. Формирование технической политики АО "НКМЗ" в области производства горного оборудования. / О.Ю. Калашников, В.А. Дзержинский. // Зб. наук. праць НГА. – 2002. – №13, том 2. – С. 146–152.
7. Хілов В.С. Системи керування автоматизованими електроприводами кар’єрних верстатів шарошкового буріння: монографія / В.С.Хілов. – Д.: Національний гірничий університет, 2013. – 256 с.
8. Кихтенко В.Д. Буровые станки среднего типа / В.Д. Кихтенко., Ю.А. Мучинский. // Тези доп. на Між нар. наук.-техн. конф. "Перспективи розвитку гірничорудної, вугільнодобувної й збагачувальної галузей промисловості". – Краматорськ: вид-во НКМЗ. – 2001. – С. 35.
9. Страбыкин Н.Н. Состояние и пути совершенствования буровой техники нового поколения для карьеров Сибири и Северо-востока России. / Н.Н. Страбыкин, А.Е. Беляев. // Горные машины и автоматика. – 2003. – №4. – С. 5–9.
10. Khilov V.S. A solution to the problem of frequency compatibility between drive system and dynamic parameters of drilling rings. Energy Efficiency Impotent of Geotechnical Systems. – 2013. – p. 93-103.
11. Хілов В.С. Дослідження динаміко-інформаційних характеристик зовнішнього контуру привода пересування бурового поставу. Науковий вісник НГУ, 2012. №2.– с.92-97.
12. Хілов В.С. Дослідження інформаційно-аналітичних властивостей електромеханічної системи при нелінійній корекції за завданням потужності. Науковий вісник НГУ, 2012. №2.– с.92-97.
13. Кожевников А.А. Экспериментальные исследования технологи бурения с импульсным вращением инструмента. / А.А.Кожевников, В.С.Хилов В.С., А.П.Бельчицкий, А.А.Борисевич. // Науковий вісник НГУ, - 2012. -№6 – с. 86-91.
14. Пивняк Г.Г. Управление приводом вращения става шарошечного бурения на основе асимптотического идентификатора состояния. / Г.Г. Пивняк, А.С. Бешта, В.С. Хилов. // Электротехника. – 2004. – №6. – С. 23–26.
15. Регулирование и управление режимами бурения взрывных скважин. / [Терехов Н.И., Авраамов И.С, Гаврилов П.Д., и др.]. – Л.: Недра, 1980. – 223 с.
16. Вибрация и надежность работы станков шарошечного бурения. / [Суханов А.Ф., Кутузов Б.Н., Катанов Б.А. и др.]. – М.: Недра, 1969 – 126 с.
17. Мусарский В. Э. Исследование бурения взрывных скважин шарошечными станками и разработка регулятора их производительности: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.172 “Горные машины” / В.Э. Мусарский – Кривой Рог, 1971. – 23 с.
18. Волков А. А., Шостак В. Ф. Экстремальное управление буровыми машинами вращательного действия. / А.А. Волков, В.Ф. Шостак. // Изв. вузов. Горный журнал. – 1966. – № 3. – С. 26–31.
19. Кутузов Б.Н. Взрывное и механическое разрушение горных пород. / Б.Н. Кутузов. – М.: Недра, 1973. – 312 с.
20. Кутузов Б.Н. Исследование интенсивности вибрации и шума на станках шарошечного бурения. / Б.Н. Кутузов, В.П. Чугунов, Р.Г. Шмидт. // Сб. цветная металлургия", ЦНИИЦветмет – 1967. – №6(29) – С. 45–53.
21. Кутузов Б.Н. Пути повышения технико-экономических показателей работы станков шарошечного бурения на открытых работах. / Б.Н. Кутузов, Р.Г. Шмидт. // Горный журнал – 1965.– №3 – С. 94-99.
22. Кутузов Б.Н. Процесс динамического взаимодействия инструмента с породой. / Б.Н. Кутузов, Г.М. Крюков, В.П. Тарасенко. – М.: МГИ, 1969. – 98 с.
23. Пат. 42249А, Україна, МКИ E21B44/00. "Електропривод бурового механізму". / О.І. Дмітрієнко, В.А. Оселедько, В.М. Кириченко, І.І. Епштейн, М.В. Найдьонов, Я.С. Балтер, А.О. Семикін, В.М. Ропало, В.С. Хілов. – №2000127019; заявлено 07.12.2000; опуб. 15.10.2001. Бюл.№9, 2001.
24. Пат. 61548, Україна, МКИ E21B45/00. "Спосіб керування процесом буріння" / В.С. Хілов; заявник і патентовласник Національний гірничий університет – №2003021777; заявлено 28.02.2003; опуб. 17.11.2003. Бюл. №11, 2003.