

В.І. Самуся, д-р техн. наук, С.С. Ільїна

(Україна, Дніпропетровськ, Національний гірничий університет)

ОСОБЛИВОСТІ ДИНАМІКИ КЛІТІ З ЖОРСТКИМИ І ПРУЖНИМИ НАПРЯМНИМИ НА ДІЛЯНКАХ ЛОКАЛЬНОГО ВИКРИВЛЕННЯ ПРОВІДНИКІВ

Під час руху підйомної посудини по провідникам жорсткого армування, її динамічна реакція на порушення вертикальності їх профілів залежить від багатьох чинників: швидкості руху, маси посудини, зсуву вантажу в посудині від вертикальної осі, пружньо-дисипативних властивостей системи її напрямних пристроїв, кінематичних зазорів в парах «запобіжний башмак – провідник», кроку армування, геометричних параметрів порушення профілів провідників та ін.

Практичний інтерес являє визначення залежності реакції посудини на один і той самий вид порушення від вертикальної швидкості її руху цією ділянкою стовбура за інших рівних умов. Такі дослідження можуть бути проведені шляхом аналізу даних апаратурних вимірювань параметрів взаємодії посудини з армуванням під час динамічних випробувань систем «посудина – армування» з варіацією швидкості руху посудини [1, 2]. Ці дослідження можуть бути проведені і теоретично із застосуванням верифікованих математичних моделей, що використовують як початкові дані реальні параметри діючої підйомної установки (дані профілізації провідників, параметри підйомної посудини, параметри напрямних пристроїв, діаграму швидкості руху посудини по стовбуру) [3, 4].

Теоретичні дослідження мають деяку перевагу над промисловими експериментами, яка полягає в тому, що в них можна виділити окрему зміну параметра, не закамуюфльовану впливом інших чинників, і таким чином позбутися статистичної невизначеності в результатах, яка завжди наявна при промислових вимірюваннях. Для проведення використовуємо математичну модель, наведену в роботі [4]. За базу початкових даних приймаємо підйомну установку кліті одного з рудопідйомних стовбурів України. Параметри системи «посудина – армування», прийняті для розрахунку, наведені нижче.

Маса посудини з вантажем	11661 кг
Маса вантажу у вагонетці	3434 кг
Зсув вантажу від вертикалі посудини	0,6 м
Повна висота посудини	4м
Лобовий момент інерції посудини	23930 кг*м ²
Відстань від центру мас посудини до верхнього пояса	3,3 м
Крок армування	4 м
Модуль Юнга гуми	8500000 Н/м ²
Питомий коефіцієнт дисипації гуми	0,001 с
Приведена до осі ролика сумарна жорсткість напрямної (пружина+гума)	205204 Н/м

Основні напрямні кліті – жорсткі башмаки закритого профілю. Передбачається дообладнання кліті пружними важільними роликівими амортизаторами з пружинно – гумовим буфером для центровки башмаків відносно провідників і виключення тертя ковзання при зсуві вантажу в кліті від її вертикальної осі. Висота підйому 153 м, крок армування 4 м. Розрахункові параметри пружності і дисипації гумових демпферів визначені на базі положень роботи [5].

Робоча швидкість підйому 3 – 5,5 м/с. Для моделювання прийняті параметри фактичної швидкості руху кліті за базовою діаграмою при 6 м/с, одержаної методом осцилографування окружної швидкості підйомної машини. Для решти значень максимальної швидкості руху методом математичного синтезу будувалися діаграми швидкості зі значеннями прискорення під час розгону й уповільнення, які відповідали значенням базової діаграми. Значення часу розгону, уповільнення і рівномірного руху вибиралися з умови прямолінійності шляху руху кліті за діаграмою висоти підйому (рис. 1).

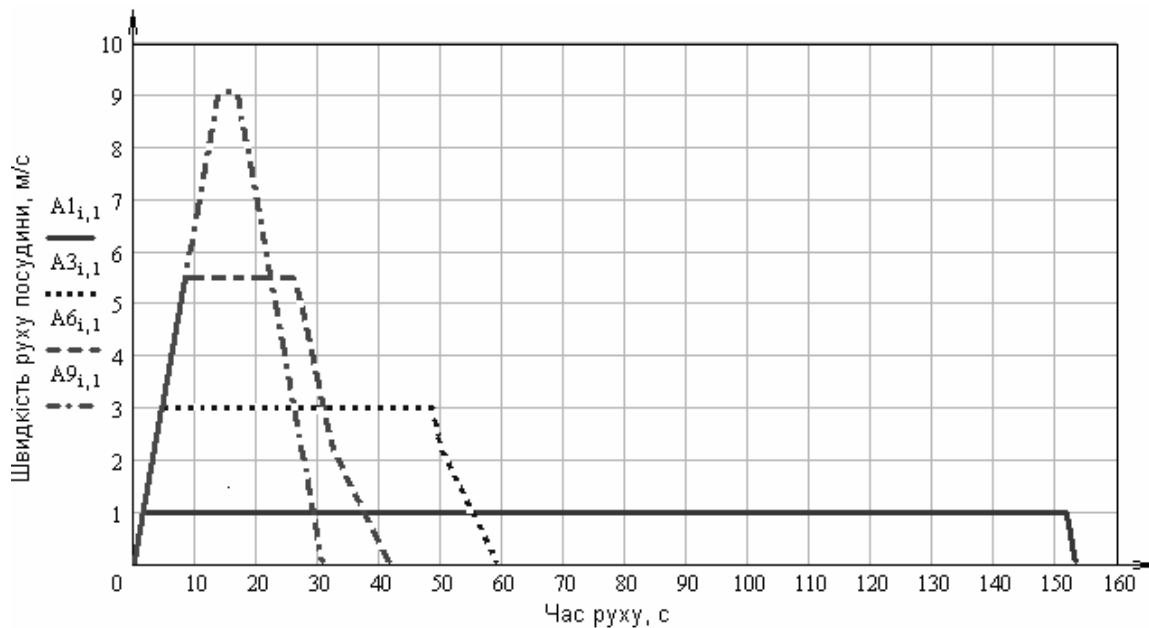


Рис.1. Графік швидкості посудини в циклах руху

Параметри профілізації провідників одержані методом маркшейдерської зйомки і містять фактичні значення за умов даного підйому кліті.

На рис. 2 наведений графік, що відображає фактичне положення провідників відповідно номерам ярусів стовбура в межах сумарного кінематичного зазору

$$2\Delta = 8 \text{ мм.}$$

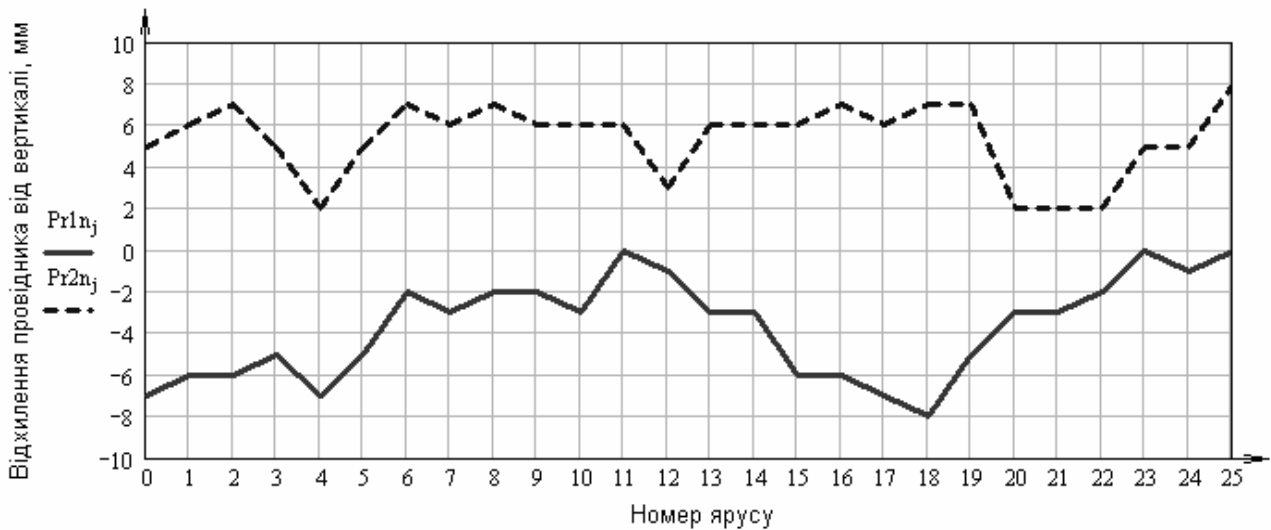


Рис. 2. Криві взаємного положення провідників у межах кінематичного зазору

Профілізація провідників показує, що в середній частині стовбура, в районі ярусів 12 і 22, є дві ділянки провідників з локальними звуженнями колії, на яких сумарний кінематичний зазор між провідниками і башмаками посудини знижується до 4 мм (рис. 3). При цьому протяжність ділянок глибиною стовбура різна. На ярусі 12 різке звуження колії з 8 до 4 мм зосереджено в межах трьох ярусів 10 – 13, а на ярусі 22 ділянка набагато ширша, ніж між ярусами 19 – 25. Слід очікувати, що на другій ділянці посудина буде залучена у більш тривалий і зростаючий ударно – динамічний процес, ніж на першій.

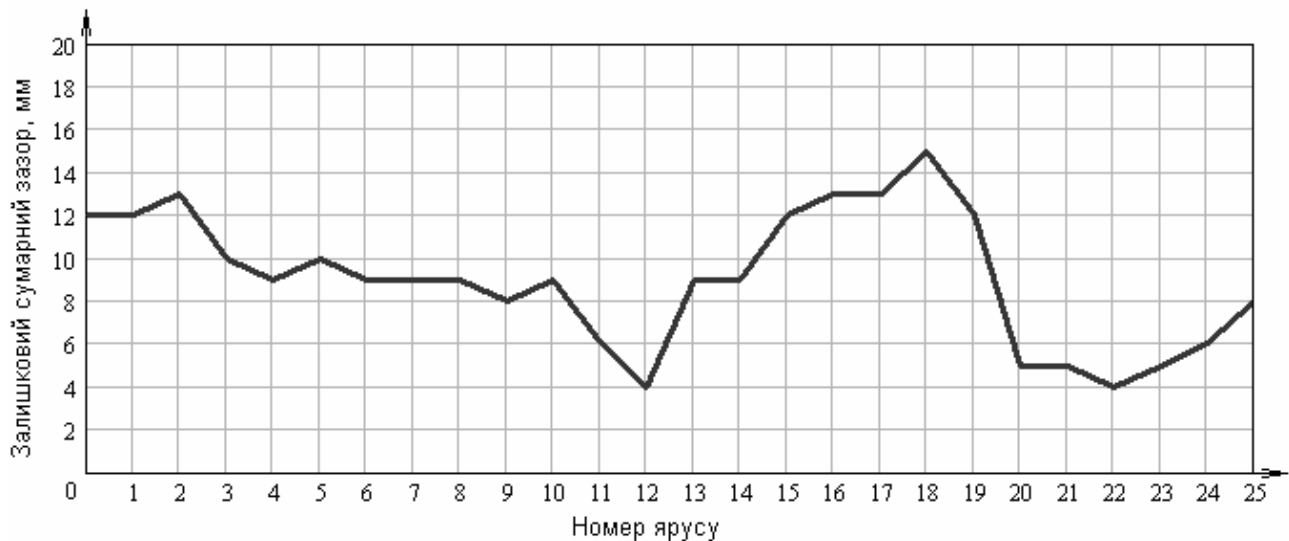


Рис. 3. Крива залишкового сумарного кінематичного зазору між башмаками і провідниками

Динамічне моделювання взаємодії кліті з провідниками проведено з варіацією швидкості руху навантаженої кліті від 1 до 12 м/с для варіанта установки важільних роликів на верхньому і нижньому поясах кліті і без них (для швидкості 12 м/с діаграму швидкості було штучно змінено так, щоб перша ділянка звуження колії була повністю пройдена кліттю на максимальній швидкості). Роликові напрямні забезпечені пружинно – гумовими амортизаторами. Враховувалися дисипативні властивості гумових буферів кожної напрям-

ної. Також враховувався горизонтальний зсув вантажу в кліті, що створює постійне статичне притиснення до провідника лівого верхнього і правого нижнього башмаків з відповідним відходом від своїх провідників.

Для аналізу залежності контактних навантажень на провідники у вибраному діапазоні швидкостей найбільш підходить перша ділянка звуження колії. Нижче наведені графіки переміщень башмаків відносно провідників у межах кінематичних зазорів, а також само графіки контактних навантажень (кН) між кожною напрямною і обома провідниками для вибраних значень максимальної швидкості в розкладці за часом руху в циклі (с).

Кліть обладнана роликівими підпружиненими амортизаторами. Жорсткість амортизаторів підібрана так, щоб при зсуві вантажу в кліті масою 3,5 т на 0,6 м лівий верхній і правий нижній башмаки, пригнані до своїх провідників, не контактували з ними. З рис. 4 видно (прямі лінії), що башмаки від центра колії відхиляються на 3,5 мм (кліть рухається з перекосом, підтискаючись до провідників лівим верхнім і правим нижнім башмаками, які отримують найбільші контактні навантаження). На початку руху відстань від діагональних башмаків до провідників складає до 6 мм на сторону. В середній частині циклу посудина в'їжджає на коротку ділянку звуження колії із сумарним зазором 4 мм. Видно, що обидва діагональні башмаки притискаються до своїх провідників за рахунок додаткового стиснення пружин роликів, а після проходження ділянки знову відходять на колишню відстань від центра колії.

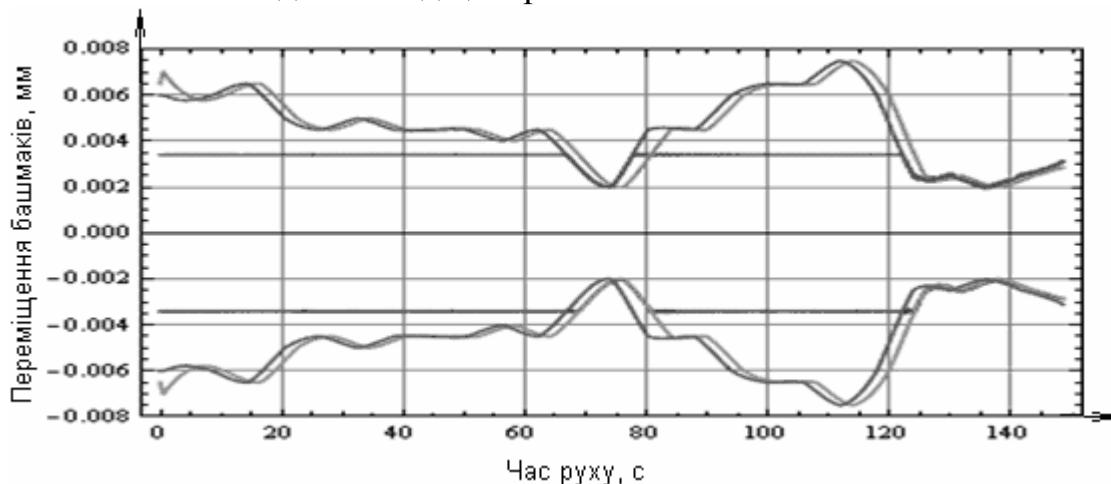


Рис. 4. Криві переміщення башмаків верхнього і нижнього поясів посудини між провідниками у розкладці за часом при швидкості 1 м/с (роликіві амортизатори)

При заході на другу ділянку звуження в нижній частині стовбура кінематична картина притиснення башмаків до провідників повторюється, як на першій ділянці.

Далі наведені результати розрахунків динамічних зусиль між пригнаними башмаками та відповідними провідниками кліті з пружними роликами (рис. 5 – 7) з варіацією швидкості від 1 до 12 м/с.

Розрахунки показують, що при русі ділянкою стовбура із сумарним зазором до 7 мм роликіві напрямні з наведеними вище параметрами жорсткості надійно утримують башмаки від контакту з провідниками і посудина здійснює безударний плавний рух. При вході на ділянки звуження колії виникають додаткові динамічні навантаження. Навантаження на притиснуті башмаки у декілька разів

перевищують суміжні з ними навантаження на протилежних сторонах посудини.

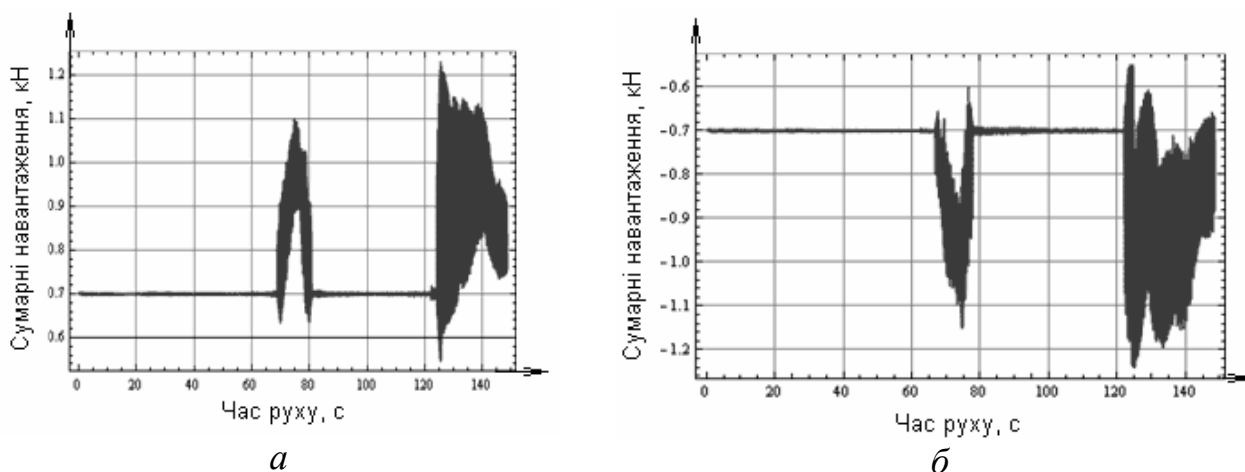


Рис. 5. Графіки сумарних навантажень на ліву верхню (а) і праву нижню (б) напрямні при швидкості 1 м/с (роликові амортизатори та башмаки ковзання)

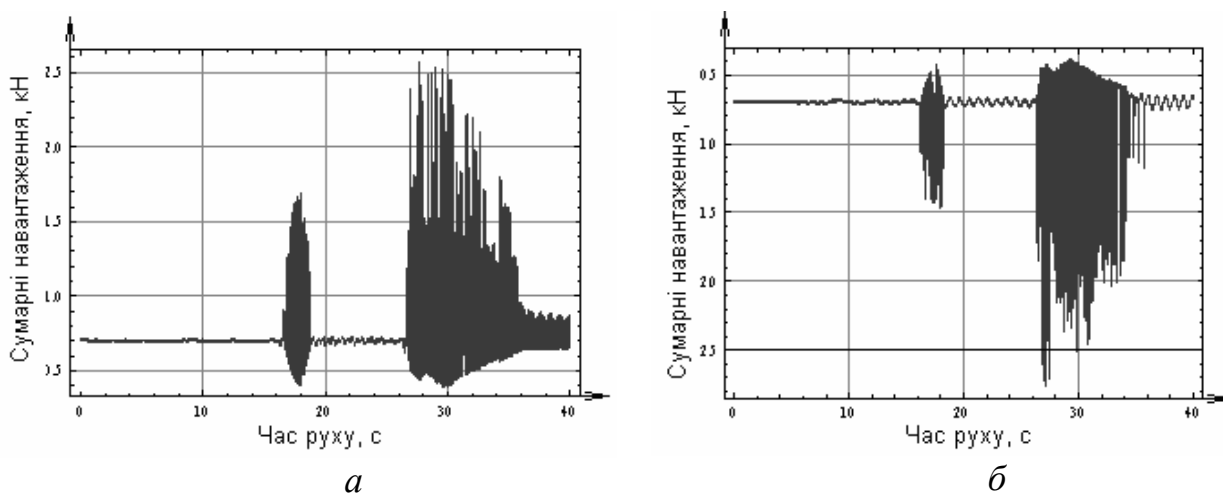


Рис. 6. Графіки сумарних навантажень на ліву верхню (а) і праву нижню (б) напрямні при швидкості 5,5 м/с (роликові амортизатори та башмаки ковзання)

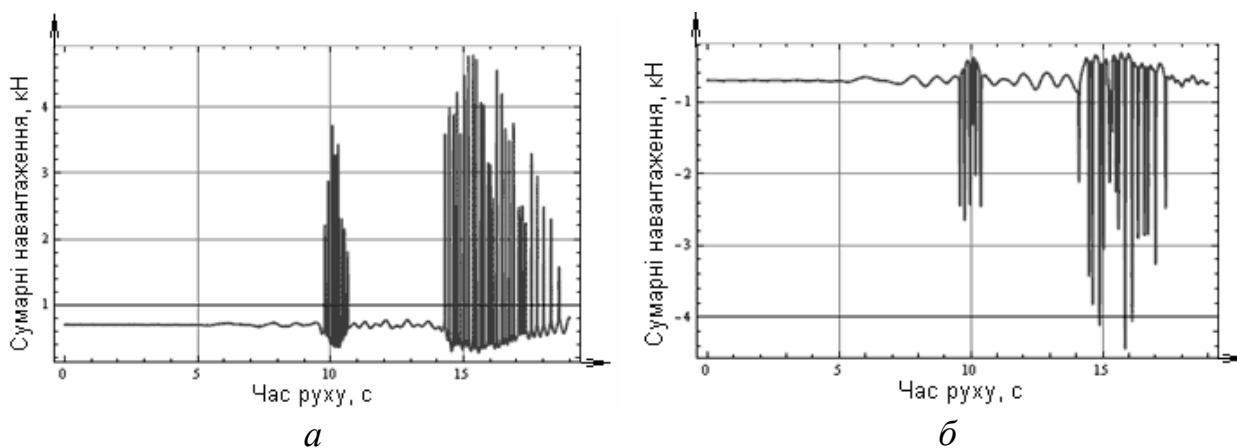


Рис. 7. Графіки сумарних навантажень на ліву верхню (а) і праву нижню (б) напрямні при швидкості 12 м/с (роликові амортизатори та башмаки ковзання)

При швидкості руху 3 м/с після проходження першої короткої ділянки локального звуження колії посудина починає здійснювати малі коливання в

межах зазору, не вступаючи в контакт з провідниками. При вході на другу протяжну ділянку звуження з'являються поштовхи, що супроводжуються відскоком приганного башмака на відстань, більшу, ніж при швидкості 1 м/с.

Нижче наведені криві переміщення башмаків і результати моделювання контактних навантажень на ті самі башмаки при таких самих режимах руху кліті, але без роликів підпружинених напрямних (рис. 8 – 11).

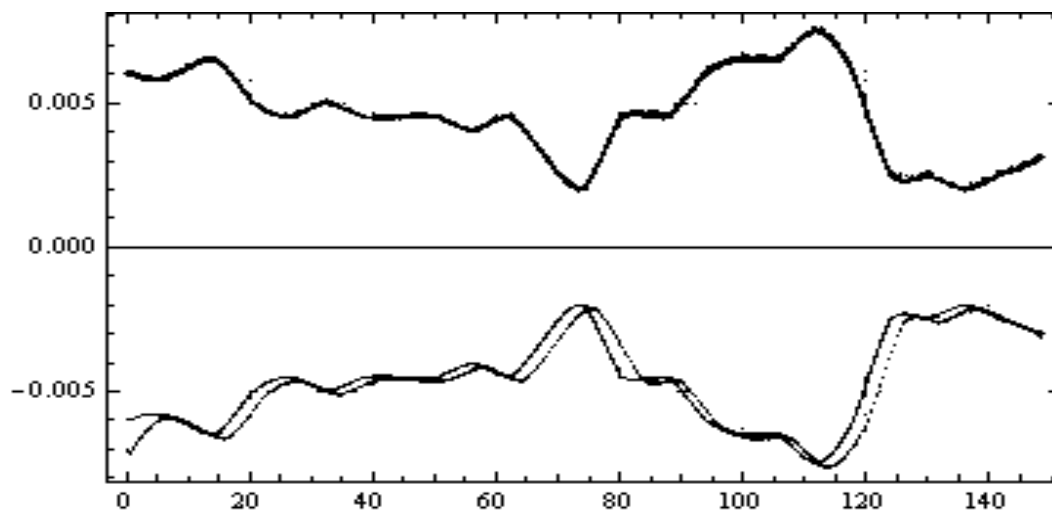


Рис. 8. Криві переміщення башмаків верхнього і нижнього поясів посудини між провідниками у розкладці за часом при швидкості руху 1 м/с (роликові амортизатори відсутні)

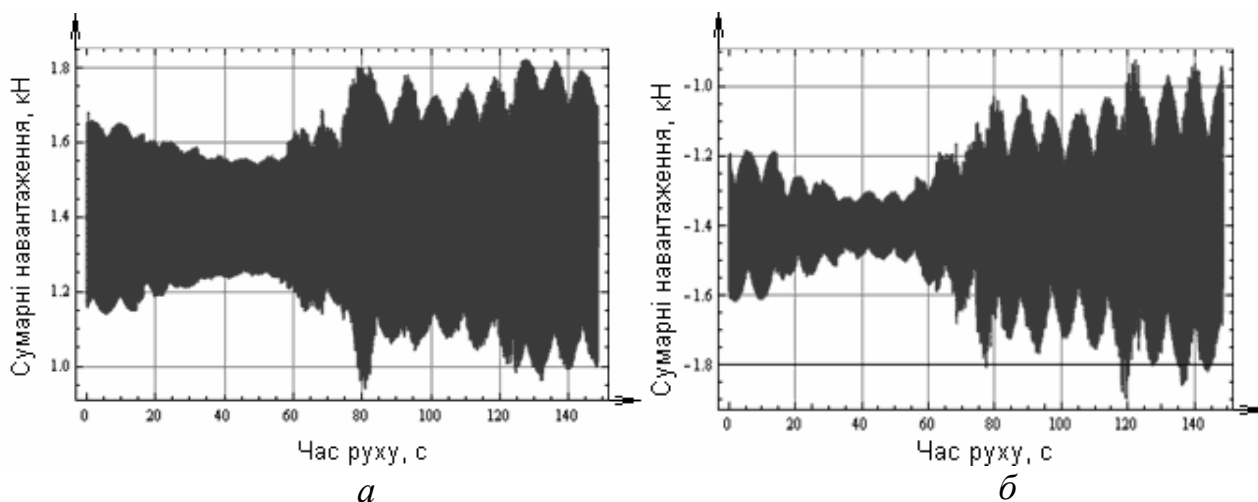


Рис. 9. Графіки сумарних навантажень на ліву верхню (а) і праву нижню (б) напрямні при швидкості 1 м/с (башмаки ковзання)

Значення максимальних контактних навантажень на пригнані напрямні вузли на першій ділянці звуження колії і максимальної швидкості руху кліті зведені в табл. 1.

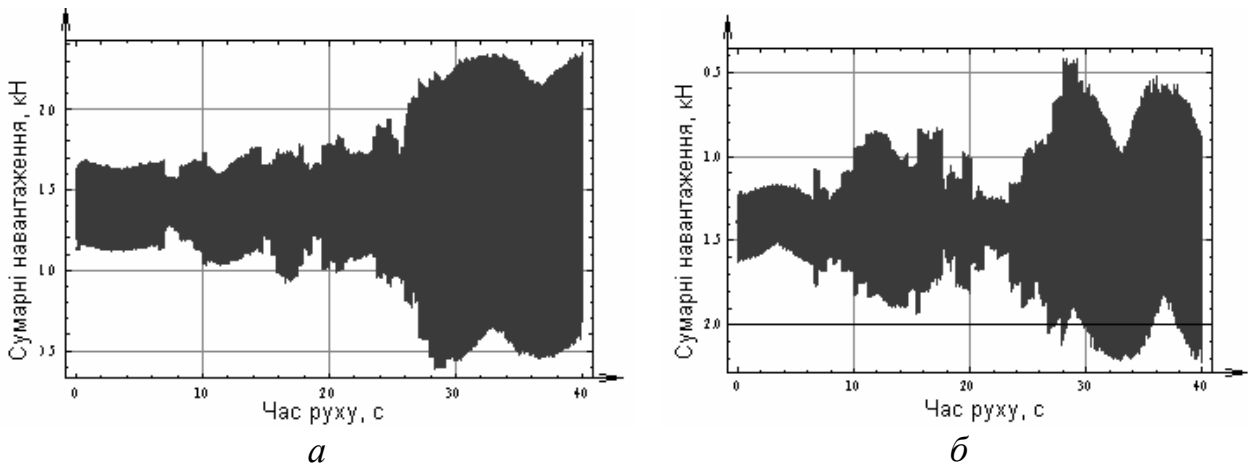


Рис. 10. Графіки сумарних навантажень на ліву верхню (а) і праву нижню (б) напрямні при швидкості 5,5 м/с (башмаки ковзання)

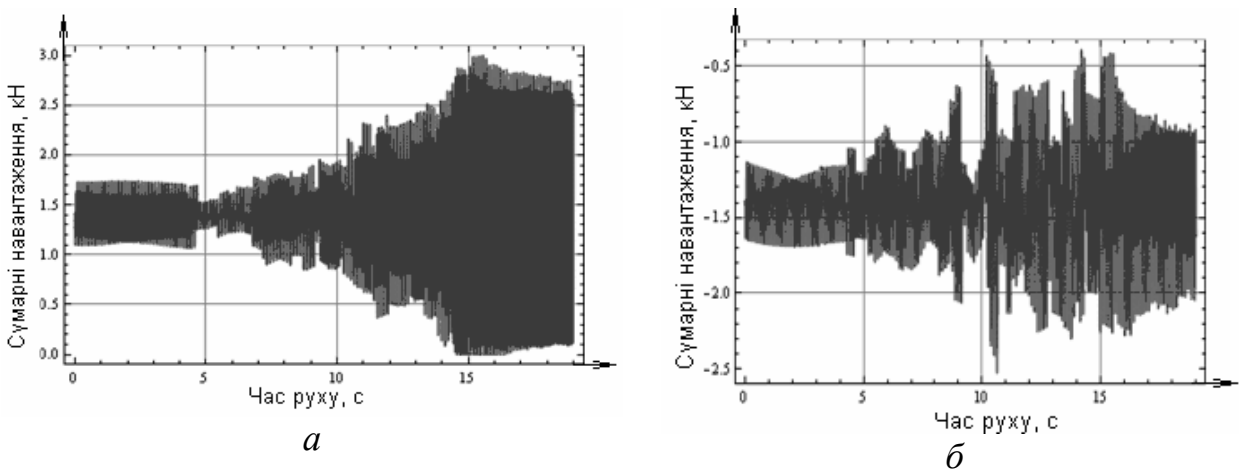


Рис. 11. Графіки сумарних навантажень на ліву верхню (а) і праву нижню (б) напрямні при швидкості 12 м/с (башмаки ковзання)

Таблиця 1

Максимальні навантаження на першій ділянці звуження колії

Максимальні контактні навантаження, кН	Швидкість руху на ділянці між ярусами 1 – 13, м/с					
	1	3	5.5	7	9	12
FR1	1,1	1,35	1,7	2,4	2,9	3,7
FR4	1,12	1,45	1,5	2,1	2,7	2,65
	Роликові напрямні відсутні					
FR1	1,7	1,64	1,6	2,1	2,4	2,0
FR4	1,8	1,8	1,8	3,0	3,0	2,5

Аналіз графіків динамічних параметрів взаємодії кліті з провідниками за відсутності роликових напрямних виявив, що пригнані башмаки ковзають по своїх провідниках практично без відриву від їх робочих поверхонь. При цьому через пружність армування та знакозмінність профілів провідників сила взаємодії має коливальний характер з більш високою частотою, ніж при установці роликів.

Характерною особливістю руху є те, що на ділянках розширення колії, що мають місто відразу за ділянкою звуження, навантаження не падають, а навпаки,

зростають за рахунок розгойдування посудини, що одержала додаткову енергію на ділянці, яка звужується, не погашену дисипацією. У цьому випадку, чим більше сумарний зазор на ділянці, тим більші контактні навантаження на відміну від руху з центрувальними роликками, при якому картина повністю протилежна.

У той же час, через те, що фактичний зсув провідників від вертикалі на кроці армування в даному стовбурі достатньо малий, то максимальні значення контактних навантажень при ковзанні по провідниках притиснутих напрямних вузлів до 5,5 м/с залишаються практично постійними (1,6 – 1,8 кН). Потім вони починають зростати зі збільшенням швидкості посудини до 12 м/с (1,7 – 3,0 кН). І при проходженні ділянки звуження на підвищених швидкостях навантаження виявляються менше тих, які з'являються за наявності центруючих роликків (2,7 – 3,7 кН), і збільшуються пропорційно зростанню швидкості.

З'являється, здавалося б, несподіваний ефект, який полягає в тому, що пружні роликоопори замість зниження контактних навантажень, навпаки, призводять до їх зростання.

Проте об'єктивність такого явища в даному випадку добре простежується з порівняння траєкторій руху башмаків між провідниками на рис. 4 (з роликками) і рис. 8 (без роликків). У даному прикладі під час руху без роликків за наявності в посудині масивного вантажу в 3,5 т, зміщеного від його вертикальної осі на 0,6 м, притиснуті башмаки весь час ковзають провідниками з високочастотною вібрацією практично без відскоків, створюючи навантаження близько 1,9 кН по всій глибині стовбура. А за наявності пружних роликоопор, жорсткість яких у даному прикладі вибрана такою, щоб гарантовано відвести башмак від провідника на рівній ділянці стовбура, відведений від провідника роликком на попередній ділянці башмак врізається в нахилений провідник на ділянці звуження. Оскільки звуження в даному прикладі більше, ніж відстань, на яку роликоопора може відвести башмак від провідника, то виходить різке зіткнення башмака з ділянкою набігання на нахилений провідник. При цьому виникають великі ударні навантаження, що збільшуються із зростанням швидкості зіткнення, пропорційної вертикальної швидкості руху посудини.

Здатність ролика відцентрувати положення провідника між башмаками при наїзді на локальне викривлення звуження залежить від співвідношення між силою інерції посудини, зведеної до точки контакту, і силою опори амортизатора, яка є сумою сили пружності і сили дисипативного опору блока. У свою чергу, сила опору задається локальною крутизною профілю на ділянці набігання ролика на викривлення, тобто є швидкістю зсуву поверхні провідника назустріч робочій грані башмака, яка залежить від швидкості вертикального руху посудини. Тому при менших швидкостях спуску/підйому і, відповідно, менших швидкостях горизонтального зближення поверхонь башмака і провідника, сили пружності блока встигають додати хоча і мале, але достатнє прискорення башмаку, щоб той відвів посудину від контакту з провідником.

При великих швидкостях викривлення з'являється на шляху вертикального прямолінійного руху посудини дуже швидко і, якщо центруюча сила блока не зростає пропорційно прискоренню зближення, то башмак не встигає відвести

посудину і відбувається зіткнення робочих поверхонь башмака і провідника. Прискорення зближення буде при цьому зворотно пропорційно до маси посудини (її моменту інерції).

Якщо посудина легка, а жорсткість роликоопори достатньо велика, то сили пружності блока легко відведуть його від контакту з башмаком, і навпаки. А оскільки провідники обмежують переміщення посудини з двох сторін, то пройшовши центр колії і відхилившись до протилежного провідника, посудина почне зближуватися з ним. З тієї сторони на нього знову почне діяти зустрічна центруюча сила. Якщо посудина легка, а зазор достатньо великий, то вона зможе не підпустити башмак до поверхні протилежного провідника, оскільки у легкої посудини сила інерції мала.

Якщо зазор малий, то сила пружності може не зрости до потрібної величини на шляху зближення в зазору, оскільки вона пропорційна величині стиснення пружини – амплітуді коливання – і тоді відбудеться зіткнення робочих поверхонь башмака і протилежного провідника. У системі «посудина – армування» виникне ударно–циклічний режим, загасаючий у часі, поки знов не з’являться аналогічні умови для його виникнення.

Аналіз картини поведінки посудини між двома ділянками звуження колії з пружними роликооперами, що володіють дисипацією енергії і руху тільки з жорсткими башмаками, виявив, що в даному прикладі вони якісно відрізняються один від одного. Порівнюючи, наприклад, рис. 7 і 11, відповідні навантаженням на швидкості 12 м/с, бачимо, що за наявності роликів ударні навантаження мають низькочастотний характер, після проходження ділянки звуження вони різко падають з величини 3,7 кН до свого стаціонарного значенню близько 0,7 кН, а потім знову на другій ділянці звуження зростають до 4,7 кН і загасають до її кінця.

При роботі кліті тільки на жорстких башмаках, після попадання на першу ділянку звуження коливання постійно зростають аж до відриву раніше пригномого лівого верхнього башмака від провідника (на 15-й секунді контактне зусилля FR1 при коливаннях періодично падає до нуля) через відсутність ефективного розсіювання енергії в системі. Кліть починає розгойдуватися зі значною частотою, що визначається жорсткістю армування.

Можна порівняти, якщо за наявності роликоопор при проходженні першої ділянки на швидкості 12 м/с за 1,1 секунду кліть зробила 6–8 зіткнень з провідниками, причому характер навантажень був гармонійним загасаючим, то при роботі на башмаках за цей же час зіткнень відбулося в два рази більше. Зіткнення мали більш хаотичний характер і вони продовжувалися безперервно зі зростаючою амплітудою навантажень уже після проходження цієї ділянки.

Графіки зміни максимальних навантажень на провідники від швидкості руху за наявності і відсутності центруючих пружних напрямних зображені на рис. 12. Точками показані результати розрахунку при дискретних значеннях швидкості, взятих з табл. 2, безперервні криві – результати апроксимації експоненціальної регресійної кривої.

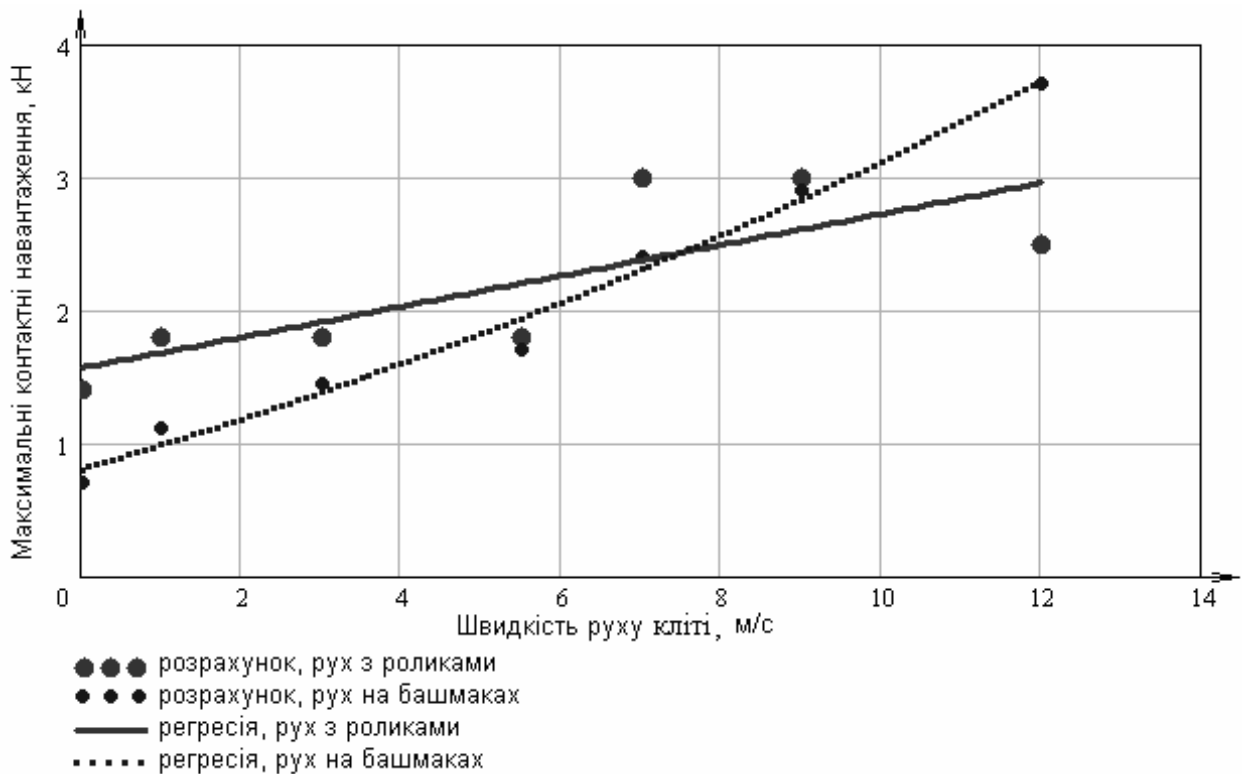


Рис. 12. Залежність максимальних навантажень на провідники від швидкості руху посудини на першій локальній ділянці звуження колії провідників між ярусами 11 – 13

Як бачимо на рис. 12, за наявності пружних роликів максимальні навантаження плавно наростають і закон зростання добре описується слабо нелінійною кривою, близькою до прямої. Під час руху тільки з жорсткими башмаками максимальні навантаження так само зростали із збільшенням швидкості, але зростання мало швидше ступеневий характер, зберігаючи значення до 2 кН при швидкостях до 6 м/с і стрибком зросли до 3 кН на наступному інтервалі швидкості. Середні значення так само вписуються в лінійну залежність.

Слід зазначити, що апаратурні вимірювання динамічних навантажень в стовбурах з порушеною через зсув гірських порід геометрією, на ділянках інтенсивної ударно–циклічної взаємодії посудин з армуванням так само показують, що середні навантаження лінійно зростають зі швидкістю підйому, а зростання максимальних носить характер, близький до ступеневого.

Здавалося б достатньо збільшити жорсткість роликкоопор і центрування башмаків відбудеться саме по собі при будь-яких викривленнях провідників. Проте, при цьому виникнуть настільки великі контактні навантаження між роликом і провідником, що вони зможуть зруйнувати робочу поверхню гумового катка, вузли його кріплення до посудини (монтажні болти, важелі, шліцьові з'єднання), викликати вигинисту деформацію корпусу посудини між його верхнім і нижнім поясами з появою тріщин або навіть створити такі великі сили тертя між роликом і провідником, що посудина почне заклинювати в стовбурі (це неодноразово спостерігається на практиці під час експлуатації підйомних посудин з напрямними типу НКП, які мають саме таку велику жорсткість, у разі значних порушень прямолінійності провідників, рис. 13).

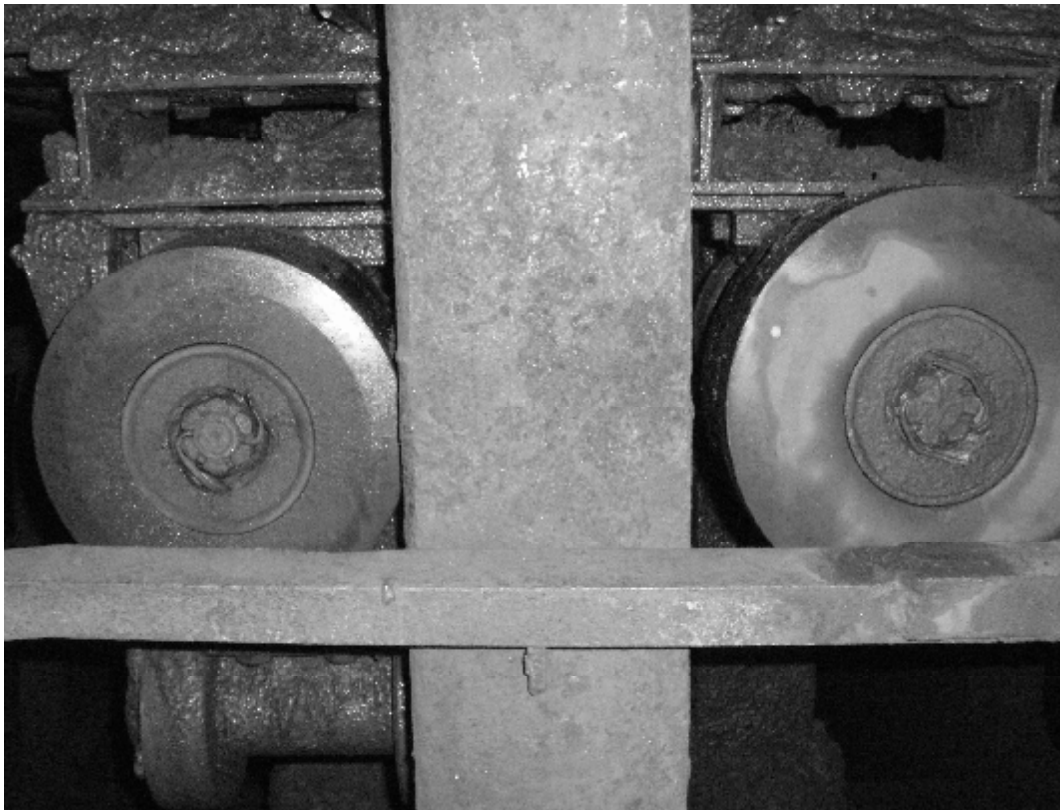


Рис. 13. Робочий варіант закріплення напрямних типу НКП з початковим кінематичним зазором між роликом та провідником

З наведених результатів випливає, що для ефективного центрування посудини в провідниках на ділянках з місцевими викривленнями профілів провідників параметри жорсткості і дисипативного опору повинні знаходитися в певних межах, які визначаються співвідношеннями між усіма параметрами системи, у тому числі інерційними параметрами посудини, параметрами викривленості профілів провідників і швидкістю спуску/підйому.

Список літератури

1. Гавруцкий А.Е., Мусиенко В.Д., Осадчая Л.С. Исследование горизонтальных нагрузок на армировку в скиповом стволе ЗЖРК №1 // Шахтное строительство. – 1991. – №7. – С. 13–15.
2. Манец И.Г., Грядущий Б.А., Левит В.В. Техническое обслуживание и ремонт шахтных стволов. – Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008. – 596 с.
3. Дворников В.И., Кърцелин Е.Р. Теоретические основы динамики шахтного подъемного комплекса. – София: М-во образования, науки и технологии Болгарии, 1997. – 363 с.
4. Ільїна С.С. Математична модель динаміки системи «посудина-армування» неврівноваженої підйомної установки з пружно-дисипативними роликівими напрямними // Гірн. електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 83. – С. 126–136.
5. Потураев В.Н., Франчук В.П., Червоненко А.Г. Вибрационные транспортирующие машины. М.: Машиностроение, 1964. – 272 с.