

свидетельствует о приемлемой точности стабилизации скорости подачи комбайна при имитации реальных условий его работы.

Список литературы

1. Кондрахин В.П. Моделирование рабочих режимов вынесенной системы перемещения очистного комбайна, оснащенной частотно-регулируемым приводом / В.П. Кондрахин, А.А. Мельник, В.В. Косарев, Н.И. Стадник, А.В. Мезников // Наукові праці ДонНТУ. — 2009. — Випуск 16(142). — С. 141—148.
2. Дубинин С.В. Исследование переходных процессов в двухприводной автоматизированной вынесенной системе подачи очистного комбайна при аварийном заклинивании тяговой цепи / С.В. Дубинин // Наукові праці ДонНТУ. - 2012. - Випуск 23(196). - С. 86-91.
3. Ключев В.И. Теория электропривода / Ключев В.И. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 704 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.
Надійшла до редакції 08.05.2013*

УДК 622.6-52

© В.О. Кондратець, А.М. Мацуй

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ТИСКУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОТОТОЖНЕННЯ РОЗРІДЖЕННЯ ПУЛЬПИ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ПІСКІВ ДВОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Представлені результати досліджень забезпечення адекватності тиску перетворювачів ототожнення розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора.

Представлены результаты исследований по обеспечению адекватности давления преобразователей отождествления разрежения пульпы при измельчении песков двуспирального классификатора.

Presented results of researches of providing of adequacy of pressure of transformers of equation of rarefaction of poulpi at growing shallow of sands of dvospiralnogo classifier.

Вступ. В Україні значна частка залізних руд підлягає збагаченню. Для подрібнення міцних залізних руд в Україні отримали розповсюдження технологічні схеми, де вихідна руда здрібнюється стержневим млином у відкритому циклі, а кульовий млин працює у замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором, з першої спіралі якого надходить мокре вихідне живлення. Продукт другої спіралі створює циркулююче навантаження. За таких умов кульовий млин, який несе основне навантаження, працює без підтримання необхідного для конкретного типу сировини розрідження пульпи, що не забезпечує найбільш ефективне використання молоткових тіл і оптимальну швидкість транспортування рідкого матеріалу вздовж технологічного агрегату. Це приводить до значних збитків в наслідок перевитрати куль, футерівки, електричної енергії та зменшення продуктивності по готовому продукту, які можливо звести до міні-

мального значення автоматичною стабілізацією співвідношення тверде/рідке у кульовому млині у конкретних технологічних ситуаціях.

Робота спрямована на виконання Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженої Законом України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», за напрямком 5.3.1 «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва». Конкретні результати наукових досліджень, що приводяться у даній публікації, отримано в процесі розробки теми “Система комп’ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (0107U005470, 2007р.), яка є складовою планів наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету.

Задачу автоматичної стабілізації розрідження пульпи в основному розв’язували стосовно кульових млинів з циркулюючим навантаженням, що працюють у першій стадії подрібнення вихідної руди, однак знайдені технічні рішення для даної технологічної схеми використати не можливо. Для кульових млинів, які розглядаються, запропоновано лише один пристрій [1]. При тривалій практичній перевірці у промислових умовах було встановлено, що його канал може забиватися сторонніми включеннями, а засоби запобігання цьому відрізняються громіздкістю і значною вартістю. Тривалий час не надходило пропозицій щодо розв’язання даної технічної задачі. Авторами цієї статті встановлено, що різний характер пригнічення коливань по твердому, пульпі і воді, а також зміна у занадто широкому діапазоні часу перехідних процесів і велика тривалість перехідних процесів не дозволяють у якості керуючого діяння використати витрату води, що подається безпосередньо у кульовий млин. Показано, що розрідження пульпи найкраще визначати і стабілізувати у приймальному пристрої завиткового живильника. Найважливішою задачею тут стає знаходження співвідношення тверде/рідке пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника, де здійснюються складні її рухи. Авторами даної публікації запропоновано ефективний підхід визначення співвідношення тверде/рідке у пульпі [2], а також засоби його реалізації [3, 4]. Показано [5], що достатньо високу точність у визначенні співвідношення руда/вода можливо досягти, застосовуючи однакові перетворювачі при вимірюванні як рівня, так і тиску пульпи у донній частині приймального пристрою завиткового живильника. Доведено, що в якості первинних перетворювачів рівня і тиску пульпи необхідно використати відкриті знизу гідростатичні перетворювачі, а вторинних – перетворювачі вимірювальні наднормального тиску САПФИР-22М-ДИ2120 з діапазоном 0-10кПа. Отримана математична залежність наднормального тиску у відкритому знизу гідростатичному перетворювачі від рівня (тиску) пульпи при певних значеннях його конструктивних параметрів, сталих і змінних фізичних констант й густини пульпи, однак задачі конструктивного виконання перетворювачів ототожнення розрідження пульпи і адекватності тиску у первинному і вторинному перетворювачах даного типу за конкретних технологічних умов залишились не розв’язаними.

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є створення конструкції перетворювачів ототожнення розрідження пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника та забезпечення адекватності тиску у первинному і вторинному перетворювачах обраного типу у конкретних технологічних умовах.

Викладення основного матеріалу досліджень. Відкритий знизу гідростатичний (первинний) перетворювач виконано у вигляді вертикально встановленого циліндричного патрубку внутрішнім діаметром 100 мм і висотою 600 мм. Знизу він відкритий для вільного входження пульпи, а зверху закритий і наділений штуцером для з'єднання з вторинним перетворювачем. Його можливо виготовити з титану BT9 або сплаву 12X18H10T. Наднормальний тиск первинного перетворювача, встановленого нижнім відкритим торцем у певній донній відмітці приймального пристрою завиткового живильника, залежить від рівня і густини пульпи. Вплив змінної густини пульпи можливо компенсувати, використавши значення наднормального тиску додаткового ідентичного за параметрами перетворювача, піднятого по вертикалі на незначну величину. Тому система ототожнення технологічного параметра має два ідентичних канали. Первинні перетворювачі необхідно жорстко зв'язати один з одним. Негативний вплив змін температури навколишнього середовища, атмосферного тиску, доданого з рідини або розчиненого у ній повітря доцільно компенсувати періодичним видаленням з пульпи на невеликий проміжок часу первинних перетворювачів. В умовах завиткового живильника переміщення первинних перетворювачів складає близько 0,8 м, тому імпульсні (пневматичні) трубки необхідно виконати у вигляді спіралей, що стискаються або розтягуються відносно напрямних. Тензометричні перетворювачі тиску повітря в електричний сигнал САП-ФІР-22М-ДИ2120 необхідно встановлювати поза завитковим живильником на амортизаційній підкладці, що передбачає певну додаткову довжину імпульсних ліній. Якщо прийняти п'ять витків спіралі діаметром 0,16 м, то загальна довжина кожної імпульсної лінії складе 3 м. Елементи від пульпи до електричного виходу вторинного перетворювача створюють вимірювальний канал.

До складу акустичної системи (рис. 1, а) кожного вимірювального каналу входять порожнини первинного перетворювача 3, імпульсної лінії 2 та вторинного перетворювача 1. У такій системі акустична резонансна частота нижча порівняно з резонансною частотою рухомої частини вторинного перетворювача тиску. За таких умов імпульсна лінія визначає динамічні властивості акустичного каналу в цілому, до складу якого ще входить камера тиску вторинного перетворювача. При пульсаціях пульпи вторинний перетворювач їх буде надійно відтворювати. Однак у акустичному каналі (імпульсній лінії і камері вторинного перетворювача) не повинно виникати амплітудних викривлень і фазового відставання сигналів.

Імпульсна лінія є елементом з розподіленими параметрами, однак з достатньою для практики точністю можливо замість дійсних розподілених її параметрів брати еквівалентні зосереджені. До них входять акустична ємність C_a , акустична індуктивність L_a , акустичний опір R_a , частота вільних коливань акустичного каналу ω_0 і степінь заспокоєння h . Аналіз цих залежностей показує, що

акустичні параметри імпульсної лінії визначаються як фізичними, так і конструктивними параметрами. Серед фізичних параметрів можна виокремити густину середовища (повітря) ρ , швидкість розповсюдження звука у повітрі v , динамічну в'язкість середовища η . Фізичні параметри являють собою константи, однак вони змінюються під дією певних факторів, що буде впливати на процес передачі інформації. На процес передачі інформації в акустичному каналі впливають наступні параметри: об'єм камери тиску вторинного перетворювача V , довжина імпульсної лінії l та її радіус r . Об'єм камери тиску V при вибраному типі перетворювача є незмінною величиною, яка складає $11,555 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Незмінною величиною, що визначається технологічними особливостями, слід рахувати і довжину імпульсної лінії l . Тому радіус r імпульсної лінії є єдиним конструктивним параметром, що впливає на властивості акустичного каналу.

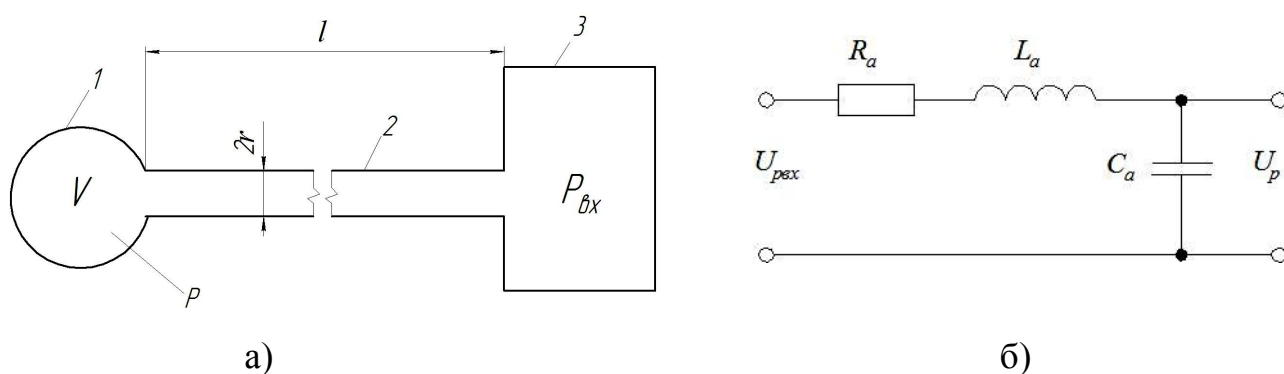


Рис. 1. Акустична система (а) і електричний аналог акустичного каналу (б):
 1 – камера тиску вторинного перетворювача; 2 – імпульсна лінія;
 3 – відкритий знизу гідростатичний (первинний) перетворювач;
 $U_{pвх}$, U_p – напруги, що відповідають тиску $P_{вх}$ і P

Для дослідження властивостей акустичного каналу опишемо його математично, використавши електричний аналог (рис. 1, б). У режимі холостого ходу для акустичного каналу (рис. 1, б) буде справедлива залежність

$$K_U(j\omega) = \frac{U_p(j\omega)}{U_{pвх}(j\omega)} = \frac{-j \frac{1}{\omega C_a}}{R_a + j\omega L_a - j \frac{1}{\omega C_a}}. \quad (1)$$

Поділимо чисельник і знаменник (1) на $-j \frac{1}{\omega C_a}$ і отримаємо

$$K_U(j\omega) = \frac{U_p(j\omega)}{U_{pвх}(j\omega)} = \frac{1}{(1 - \omega^2 L_a C_a) + j\omega R_a C_a}. \quad (2)$$

Вираз (2) відповідає акустичному каналу, тому можливо записати

$$\frac{P(j\omega)}{P_{вх}(j\omega)} = \frac{1}{(1 - \omega^2 L_a C_a) + j\omega R_a C_a}, \quad (3)$$

де ω – колова частота коливань пульпи; R_a – акустичний опір імпульсної лінії, що дорівнює $R_a = 8\eta l / \pi r$; L_a – акустична індуктивність, що дорівнює $L_a = 4l\rho / 3\pi r^{12}$; C_a – акустична ємність, що дорівнює $C_a = V / \rho v^2$.

Звільнившись від комплексності у знаменнику виразу (3) і відділивши дійсну і уявну частини, отримаємо

$$\frac{P(j\omega)}{P_{ex}(j\omega)} = \frac{(1 - \omega^2 L_a C_a)}{(1 - \omega^2 L_a C_a)^2 + \omega^2 R_a^2 C_a^2} - j \frac{\omega R_a C_a}{(1 - \omega^2 L_a C_a)^2 + \omega^2 R_a^2 C_a^2}. \quad (4)$$

Залежність (4) дозволяє отримати відношення $P(\omega) / P_{ex}(\omega)$ як корінь квадратний з суми квадратів дійсної і уявної частини

$$\left| \frac{P(\omega)}{P_{ex}(\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 L_a C_a)^2 + \omega^2 R_a^2 C_a^2}}. \quad (5)$$

Оскільки тангенс кута між додатнім напрямом дійсної осі і вектором функції (3) при будь-якій коловій частоті є відношенням уявної до дійсної частини виразу (4), фазову частотну характеристику акустичного каналу можливо подати залежністю

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega R_a C_a}{1 - \omega^2 L_a C_a}. \quad (6)$$

Як видно з залежності (5) і (6), передача сигналів по акустичному каналу залежить від колової частоти коливань пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Пульпа у приймальному пристрої завиткового живильника здійснює складні рухи під дією захватних органів і піскового потоку. При проходженні захватного органу у нижній зоні завиткового живильника захоплюється доза пульпи, що визначається її рівнем, і утворюється хвиля. До входження у пульпу іншого захватного органу у приймальному пристрої відбувається перехідний процес з наступними особливостями: створений видаленням об'ємом рідкої суміші кратер заповнюється за рахунок «замикання» матеріалу; створена хвиля певний час рухається уперед і, досягнувши стінки сприйманого пристрою, відбивається від неї під прямим кутом і проходить шлях у зворотному напрямі, втрачаючи амплітуду; відбита хвиля взаємодіє з пісковим потоком класифікатора. Перехідний процес характеризується зміною рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Амплітуда, період і довжина початкових хвиль визначаються рівнем пульпи у приймальному пристрої, тому в різних режимах роботи перехідні процеси сильно відрізняються між собою. При невеликих рівнях пульпи хвиля буде короткою з малою висотою. З підвищенням рівня пульпи довжина утворюваних хвиль зростає при збільшенні висоти. Більш високочастотні хвилі, створювані захватними органами, змішуються з низькочастотними хвилями піскового потоку. Період коливань пульпи від дії піскового потоку класифікатора складає 10...12,5 с, що відповідає коловій

частоті $0,5 \dots 0,63 \text{ с}^{-1}$. Ці коливання мають порівняно малу амплітуду. Значно більшу амплітуду мають коливання, викликані роботою захватних органів завиткового живильника. Їх період складає $0,3 \dots 0,6 \text{ с}$, а колова частота відповідно $20,91 \dots 10,5 \text{ с}^{-1}$. Акустичний канал повинен задовольняти даним умовам.

Адекватність тиску у первинному і вторинному перетворювачах відповідає умовам, коли відношення тиску P у камері 1 до вимірюваного тиску P_{ex} (рис. 1, а) дорівнює одиниці, а зсув фаз між ними – нулю за умов коливальності пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Відношення P/P_{ex} в усталеному та перехідних режимах характеризує точність вимірювання тиску пульпи, а фазове відставання P від P_{ex} – запізнювання в акустичному каналі, яке можливо визначати кутом φ . Найкраще досягати умови $P=P_{\text{ex}}$, тобто $P/P_{\text{ex}}=1$, а фазовий зсув $\varphi=0$, оскільки фазове відставання (запізнювання) також приводить до похибки визначення технологічних параметрів – рівня та тиску пульпи, а, як наслідок, – співвідношення тверде/рідке пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника.

Підставивши у (5) і (6) значення R_a , L_a і C_a , виражені через конструктивні та фізичні параметри, і врахувавши, що степінь заспокоєння дорівнює $h = 2\eta\sqrt{3lV} / \nu\rho r^3\sqrt{\pi}$, а частота вільних коливань акустичного каналу $\omega_0 = r\nu\sqrt{3\pi} / 2\sqrt{lV}$, та зробивши перетворення, отримаємо

$$\left| \frac{P}{P_{\text{ex}}} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + 4h^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}, \quad (7)$$

$$\varphi = -\arctg \left[\frac{2h \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \right]. \quad (8)$$

Аналіз залежностей степені заспокоєння та частоти вільних коливань акустичного каналу від фізичних та конструктивних параметрів показує, що їх можна подати як функції радіуса r імпульсної лінії, у яких коефіцієнти визначаються через прийняті фізичні та конструктивні сталі. Прийmemo середні значення фізичних параметрів $\eta=1,86 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$, $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$, $\nu=340 \text{ м/с}$. За прийнятих умов залежності будуть дорівнювати

$$\omega_0 = 88,619393 \cdot 10^3 r, \text{ с}^{-1} \quad (9)$$

$$h = 5,882353 \cdot 10^{-12} / r^3. \quad (10)$$

Прийmemo колову частоту $\omega=12\text{с}^{-1}$ і будемо задавати різні значення r . Математичне моделювання процесу за формулами (7) і (8) з врахуванням (9) і (10) на персональному комп'ютері дозволило встановити зв'язки між відношенням

тисків і зсувом фази та діаметром імпульсної лінії. Дані математичного моделювання наведені у табл.1. З даних табл.1 витікає, що при діаметрах імпульсної лінії, які більші 0,008 м, фазовий зсув між входним і вихідним сигналами практично не виникає. При діаметрах імпульсної лінії близько 0,002 м невідповідність входного і вихідного тисків складає майже 2 %, що не допустимо по міркуванням точності. За таких умов і фазовий зсув між сигналами є відчутним. З ростом діаметра імпульсної лінії як фазовий зсув, так і невідповідність сигналів зменшуються. При діаметрі імпульсної лінії близько 0,01 м невідповідність тисків складає біля 0,07 %, що допустимо для визначення технологічних параметрів.

Наведені у табл.1 результати моделювання передачі сигналу по акустичному каналу отримані при середній коловій частоті коливань пульпи $\omega=12 \text{ с}^{-1}$. Характерними для завиткового живильника є і частота $\omega=10 \text{ с}^{-1}$, яка відповідає початку більш низькочастотного діапазону, та частоти $\omega=0,5...0,65 \text{ с}^{-1}$, що створюються дією піскового потоку класифікатора. Дослідженнями встановлено, що при частоті $\omega=10 \text{ с}^{-1}$ за тих же незмінних умов невідповідність входного і вихідного тисків зменшується. Ще більше зменшення відбувається при частотах $0,5...0,63 \text{ с}^{-1}$. Такий же характер зміни відбувається і щодо фазового зсуву між даними сигналами при зменшенні частоти колових коливань пульпи, що не входить у суперечність зі знайденими умовами виконання імпульсної лінії.

Таблиця 1

Залежність відношення тиску у вторинному перетворювачі до його входного значення та різниці фаз між ними при різних діаметрах імпульсної лінії і частоті коливань пульпи $\omega=12 \text{ с}^{-1}$.

Внутрішній діаметр імпульсної лінії, м	Радіус імпульсної лінії, м	Відношення тисків $ P/P_{\text{вх}} $	Відносна похибка визначення тиску, %	Значення аргументу функції (8)	Фазовий зсув, "
0,002	0,001	1,0186785	1,87	0,001623	-334,73
0,004	0,002	1,0046051	0,46	0,0001	-20,63
0,006	0,003	1,0020440	0,20	0,0000197	-4,06
0,008	0,004	1,0011473	0,12	0,0000062	-1,28
0,010	0,005	1,0007338	0,07	0,0000026	-0,52
0,012	0,006	1,0005095	0,05	0,0000012	-0,25
0,014	0,007	1,0003743	0,04	0,00000066	-0,14
0,016	0,008	1,0002866	0,03	0,00000039	-0,08
0,018	0,009	1,0002264	0,02	0,00000024	-0,05
0,020	0,010	1,0001834	0,02	0,00000016	-0,03
0,022	0,011	1,0001516	0,015	0,00000011	-0,02
0,024	0,012	1,0001273	0,01	0,000000077	0,015

Для остаточного обґрунтування вибору діаметра імпульсної лінії необхідно провести дослідження на можливому найбільшому значенні колової частоти $\omega=21 \text{ с}^{-1}$. Дані математичного моделювання акустичного каналу, виконані

на персональному комп'ютері, приведені на рис.2. На рисунку для порівняння приведена залежність при $\omega=12 \text{ с}^{-1}$. З рис.2 видно, що при збільшенні частоти як амплітудні, так і фазові показники дещо погіршуються, але не суттєво. З ростом діаметра імпульсної лінії і відносна похибка визначення тиску, і фазовий зсув φ між вихідним і вхідним тиском в акустичному каналі зменшуються у розглянутому діапазоні колових частот. При діаметрі імпульсної лінії 0,018 м додаткова похибка вимірювання тиску пульпи складає не більше +0,069%, а фазовий зсув не виникає, що допустимо для даного процесу визначення технологічних параметрів.

Розглянуті результати дослідження отримані при середніх значеннях динамічної в'язкості повітря η , його густини ρ та швидкості розповсюдження звука у повітрі v , які залежать від температури, і, як наслідок, змінюють R_a , L_a , C_a акустичного каналу. Тому при прийнятих конструктивних параметрах акустичного каналу можуть змінити значення похибок, оскільки температура навколишнього середовища в умовах збагачувальних фабрик може змінюватися від +5°C до +40°C. Відповідно залежностям η , ρ і v від температури знаходились акустичні параметри каналу при різних її значеннях. Частота коливань пульпи вибрана сама несприятлива $\omega=21 \text{ с}^{-1}$, а діаметр імпульсної лінії – $d=0,018 \text{ м}$. Результати моделювання, виконані на персональному комп'ютері, приведені в табл. 2.

З даних табл.2 видно, що імпульсна лінія повинна мати внутрішній діаметр 0,018 м, оскільки похибки виникають незначні

Для забезпечення незмінної чутливості акустичної системи необхідно зменшити висоту первинного перетворювача так, щоб компенсувати додатковий об'єм, внесений імпульсною лінією і вторинним перетворювачем тиску.

Забезпечення адекватності тиску первинних і вторинних перетворювачів обох акустичних систем перевірялося у лабораторних умовах на стенді (рис.3). Перетворювачі тиску 2 були укорочені на величину додаткового об'єму, внесеного імпульсними лініями 1 і вторинними перетворювачами.

Таблиця 2

Значення точнісних параметрів акустичної системи при різних температурах навколишнього середовища

Показники	Температура навколишнього середовища, °C		
	5	20	40
Відносне значення відхилення відношення вихідного до вхідного тиску, %	0,072	0,069	0,064
Фазовий зсув між вхідним і вихідним тисками, "	0,072	0,069	0,064

Тиск контролювався безпосередньо на виході первинних перетворювачів 2 і у кінці імпульсної лінії діаметром 0,018 м. Для контролю тиску використовувалися однакові вторинні перетворювачі. Імітатор приймального пристрою завиткового живильника 3 працював у двох режимах. У першому режимі роботи вимірюване середовище (вода) приймало різні незмінні значення рівня, що створювало певні тиски, які фіксувалися вторинними перетворювачами. У експериментах рівні рідини змінювалися від мінімального до максимального значення. Експерименти проводились при температурах $+5...7^{\circ}\text{C}$, $+20...23^{\circ}\text{C}$, $+35...40^{\circ}\text{C}$. Показання вторинних і первинних перетворювачів повністю співпадали між собою. У другому режимі імітатор приймального пристрою забезпечував коливальні вертикальні рухи вимірюваного середовища відносно середніх значень 150, 300 і 450 мм з частотою 10 с^{-1} , 15 с^{-1} , 20 с^{-1} та 5 с^{-1} . Температурні режими були однаковими. Вторинні перетворювачі забезпечувалися електронними блоками, які визначали середнє значення сигналів. У результаті експериментів встановлено, що показання пристроїв відповідають середнім значенням рівня рідини, результати вимірювання тиску первинними і вторинними перетворювачами практично не відрізнялись між собою. Отже, теоретичні висновки повністю підтверджені експериментально – тиск у первинних перетворювачах відповідає тиску у вторинних перетворювачах.

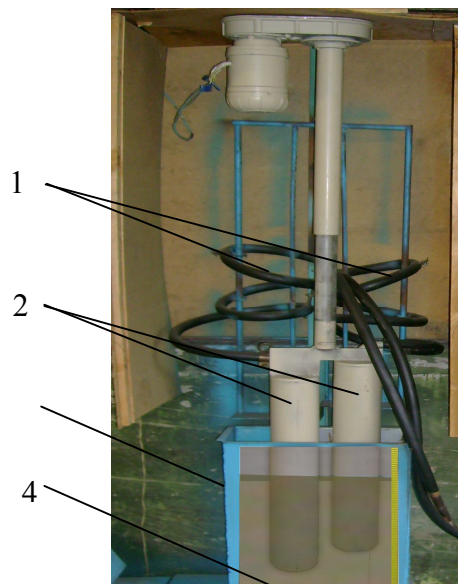


Рис. 3. Стенд для випробування акустичних систем, які використовують при ототожненні розрідження пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника: 1 – імпульсні лінії; 2 – первинні перетворювачі тиску; 3 – імітатор приймального пристрою завиткового живильника; 4 – вимірюване середовище

Таким чином, для вимірювання тиску пульпи при ототожненні її розрідження у приймальному пристрої завиткового живильника необхідно використовувати імпульсні лінії довжиною 3 м, внутрішнім діаметром 0,018 м і вторинні перетворювачі типу САПФИР-22М-ДИ2120. Для незмінності чутливості пер-

винні циліндричні перетворювачі необхідно укоротити, компенсуючи об'єм, доданий імпульсною лінією і камерою вторинного перетворювача. Зміна температури навколишнього середовища у межах $+5^{\circ}\text{C} \dots +40^{\circ}\text{C}$ не порушує адекватності тиску первинних і вторинних перетворювачів. Зроблені теоретичні висновки щодо діаметра імпульсної лінії повністю підтверджені експериментально.

У процесі проведення даних досліджень вперше створена акустична система ототожнення розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора з адекватністю тисків первинних і вторинних перетворювачів у складних технологічних умовах, що дозволяє значно підвищити точність автоматичного керування процесом. Знайдені підходи теоретичного описання і математичного моделювання таких акустичних систем, що дозволяє більш ефективно розробляти акустичні засоби вимірювання та ототожнення параметрів у складних технологічних умовах. Практична значущість проведених досліджень полягає у тому, що отримані конкретні конструктивні параметри акустичної вимірювальної системи, придатні для використання при автоматизації подрібнення пісків двоспірального класифікатора.

Перспективою подальших досліджень є можливість розробки промислового зразка пристрою для ототожнення розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора та створення системи автоматизації процесів керування цим параметром.

Список літератури

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 б 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко (СССР). – 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл. №7.
3. Пат. 87374 С2 Україна, МПК G 01 F 23/00. Спосіб вимірювання рівня рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №200712196; заявл. 05.11.2007; опубл. 10.07.2009, Бюл. №13.
4. Пат. 62133 Україна, МПК G 01 L 7/00. Спосіб вимірювання тиску рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №u201101692; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15.
5. Кондратець В.О. Ідентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2009.- №3.- С. 8-12.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещераковим Л.І.
Надійшла до редакції 08.05.2013*