

зультатов ее можно будет рекомендовать как диагностический параметр для выявления неравномерности воздушного зазора. В качестве диагностического параметра можно также использовать вибрации. Колебания электромагнитного момента (см. рис. 7) идут с частотой 125 Гц, и при отсутствии иных процессов, идущих в АД с этой частотой, эту вибрационную частоту можно использовать как полезный для диагностики сигнал

Выводы и направление дальнейших исследований. Появление эксцентриситета ротора в АД приводит к значительному возрастанию величин ударного электромагнитного момента при прямом пуске АД в сеть. Это неблагоприятно влияет на двигатель и механизм, снижая срок их службы. Для идентификации факта наличия эксцентриситета ротора можно использовать форму тока статора и частоту вибрации машины. Эти сигналы можно использовать как указатели на возможное наличие изменяющегося зазора АД.

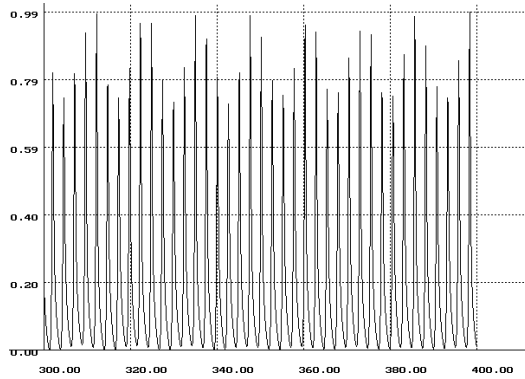


Рис. 7. График электромагнитного момента в установившемся режиме при эксцентриситете ротора 80%

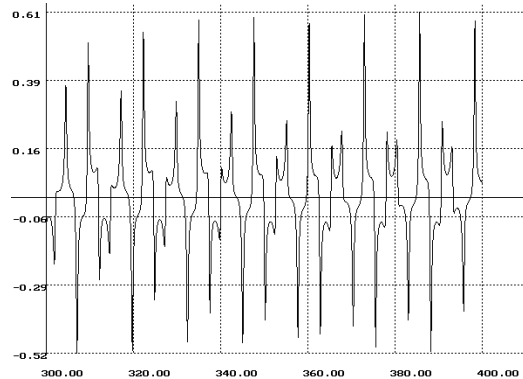


Рис. 8. График тока статора в установившемся режиме при эксцентриситете ротора 80%

Список литературы

1. Рогозин Г.Г., Мироненко И.А. Влияние неравномерности воздушного зазора на электромагнитные параметры и переходные процессы ротора при отключении асинхронных двигателей // Сборник статей кафедры "Общая электротехника". Донецкий государственный технический университет
2. Н. Meshgin-Kelk, J. Milimonfared Electric Machines and Drive Laboratory Department of Electrical Engineering Amirkabir University of Technology Tehran 15914, Iran Зависимость эксцентриситета воздушного зазора АД с КЗ ротором от коэффициента мощности / Перевод на русский: Маруневич А.И.
3. Синельников А.М., Боннет В.В. Математическая модель диагностики асинхронного двигателя в процессе пуска // Научно-практический журнал "Вестник ИрГСХА", 2009, выпуск 36, сентябрь. - С. 109 – 115
4. Соколов М. М., Петров Л. П. Масандилов Л. Б., Ладензон В. А Электромагнитные переходные процессы в асинхронном электроприводе // М. : Энергия, 1967. - 200 с.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.11

УДК 681.542.35

В.О. КОНДРАТЕЦЬ, канд. техн. наук, проф., А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЗРІДЖЕННЯМ ПУЛЬПИ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ПІСКІВ ДВОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Обґрунтовано принцип автоматичного керування розрідженням пульпи при подрібненні піскового продукту з використанням впливу за витратою пісків та змінного задаючого діяння по співвідношенню руда/вода.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Подрібнення міцних залізних руд в Україні здійснюють з використанням технологічної схеми, де кульовий млин подрібнює піски двоспірального класифікатора, працюючи у замкнутому циклі по продукту з другої спіралі. У таких складних технологічних умовах кульовий млин, що несе основне навантаження, працює без підтримання необхідного значення розрідження пульпи. При цьому не забезпечується найбільш ефективно використання молоткових тіл, футерівки, електричної енергії, транспортування рідкого матеріалу, що приводить до значних економічних збитків. Це не узгоджується з вимогами законодавства України про ресурсозберігаючі технології в

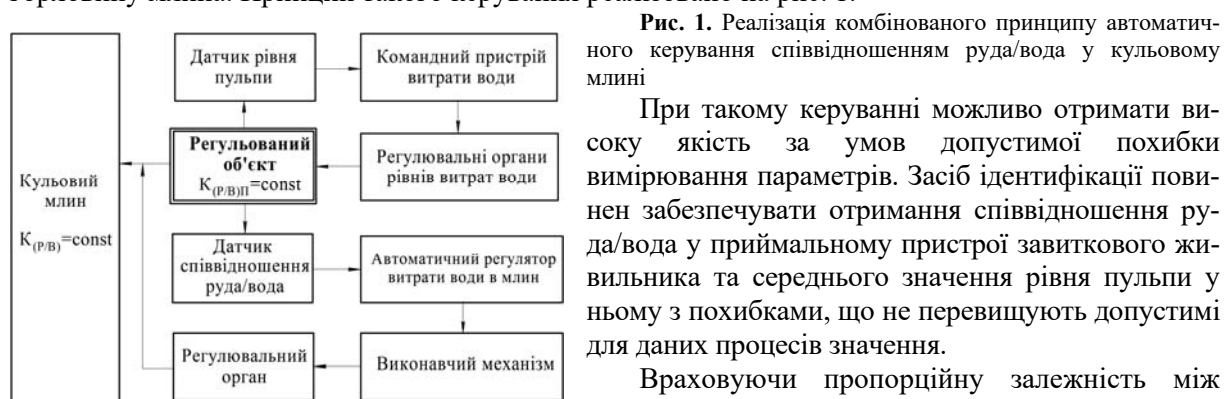
енергетиці, промисловості та, зокрема, в гірничій галузі. Дана публікація спрямована на розв'язання поставленої задачі, тому тема її є актуальною. Матеріали для даної статті отримані при виконанні науково-дослідної роботи “Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора” (державний реєстраційний номер 0107U005470).

Аналіз досліджень та публікацій. Системи автоматичної стабілізації розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням першої стадії подрібнення руди для даного циклу не підходять. Для кульових млинів, що подрібнюють піски класифікатора, запропоновано один пристрій [1], однак його використання ускладнюється можливістю забивання каналу в процесі експлуатації. Авторами даної публікації запропоновано підхід реалізації інформаційного пристрою [2], однак принцип автоматичного керування таким об'єктом ніхто не розробляв.

Постановка завдання. Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування принципу автоматичного керування розрідженням пульпи у кульових млинах, що подрібнюють піски двоспіральних класифікаторів.

Викладення матеріалу та результати. У системі автоматичного керування розрідженням пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора в якості регульованого об'єкта виступає приймальний пристрій завиткового живильника разом з пісковим жолобом класифікуючого апарата. У роботі [3] показано, що здійснити принцип керування за відхиленням співвідношення руда/вода у приймальному пристрої $K_{(P/B)\Pi}$ від заданого значення $K_{(P/B)3}$ у даному об'єкті не можливо.

Враховуючи, що витрата пісків у двоспіральному класифікаторі в часі змінюється занадто повільно і тиск у магістралі подачі води практично не змінюється, можливо організувати змішаний принцип керування процесом. Рівень пульпи в приймальному пристрої завиткового живильника однозначно визначається витратою пісків у пісковому жолобі при певній незмінній подачі води. За цих умов середнє значення рівня пульпи буде однозначно визначати продуктивність по пісках і співвідношення руда/вода. Однак при такому керуванні співвідношення руда/вода буде відповідати заданому значенню лише на початку процесу. При незмінній витраті води і, наприклад, зростанні витрати пісків показник $K_{(P/B)\Pi}$ буде збільшуватись. Це збільшення можна обмежити певним зростанням рівня ΔH_C і $K_{(P/B)\Pi}$ подачею ще однієї додаткової витрати води. Зростання $K_{(P/B)\Pi}$ на $\Delta K_{(P/B)\Pi}$ можливо компенсувати без запізнювання подачею невеликої кількості регульованої води безпосередньо в завантажувальну горловину млина. Принцип такого керування реалізовано на рис. 1.



При такому керуванні можливо отримати високу якість за умов допустимої похибки вимірювання параметрів. Засіб ідентифікації повинен забезпечувати отримання співвідношення руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника та середнього значення рівня пульпи у ньому з похибками, що не перевищують допустимі для даних процесів значення.

Враховуючи пропорційну залежність між об'ємною продуктивністю пульпи у пісковому жолобі класифікатора і її рівнем H_C у приймальному пристрої [4] і використовуючи значення H_C і $K_{P/B}$, можливо здійснити інваріантне управління співвідношенням руда/вода при незмінній об'ємній витраті води в пісковий жолоб $Q_{VBЖ} = \text{const}$ і позбавитись від негативного впливу транспортного запізнювання [5].

Автоматичне керування можливо здійснити так. У початковому режимі при мінімальних витратах пісків можна подавати найменшу, але незмінну, кількість додаткової води у пісковий жолоб. При цьому повна інваріантність забезпеченою не буде, оскільки витрата пісків може змінюватись. При збільшенні витрати пісків відносно мінімального значення $K_{P/B}$ буде збільшуватись, однак буде зростати і середнє значення рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Певне прирощення рівня пульпи ΔH_{Π} відповідає зростанню об'ємної

витрати пульпи на $\Delta Q_{V\Pi\Pi}$ у пісковому жолобі, що відбулося за рахунок зростання витрати пісків. Такий стан об'єкта дозволяє додати певну витрату води у пісковий жолоб $\Delta Q_{VBI} = \text{const}$ для зменшення $K_{P/B}$ ближче до заданого значення. Однак, при подачі $\Delta Q_{VBI} = \text{const}$ ще зросте рівень пульпи у завитковому живильнику. Оскільки в такій технологічній ситуації по значенню H_{Π} подальшу подачу води $\Delta Q_{VBI} = \text{const}$ здійснювати вже не можливо, дозвіл на подачу додаткової витрати води $\Delta Q_{VBI} = \text{const}$ повинен формуватися з врахуванням різниці $\Delta K_{P/B} = \Delta K_{(P/B)\Phi} - \Delta K_{(P/B)3}$ між фактичним і заданим значенням співвідношення руда/вода, яка може бути прийнятою незмінною, тобто $\Delta K_{P/B} = \text{const}$. Такий підхід дозволяє підтримувати розрідження пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника, виключаючи запізнення і забезпечуючи нормальні умови його роботи.

Якщо витрата пісків дещо зменшиться, то $K_{P/B}$ у приймальному пристрої завиткового живильника також зменшиться, тому таке регулювання буде здійснюватися з похибкою в межах $\pm \Delta K_{P/B}$, яка визначає число ступеней подачі додаткової води. Така похибка підтримання $K_{P/B}$ не є кінцевою, її можливо зменшити практично до нуля другим контуром регулювання з подачею невеликої кількості води безпосередньо у завантажувальну горловину кульового млина. У випадку значного зменшення витрати пісків рівень пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника ще буде залишатися значним у наслідок поступання додаткової води, а її розрідження стрімко буде падати, що при певній ситуації створить стан, коли $\Delta K_{P/B}$ змінить знак. Цю ознаку керуючого діяння можна використати для відключення подачі додаткової води. Таким чином можна реалізувати кілька ступеней керування розрідженням пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника.

Фактичне значення співвідношення руда/вода у завитковому живильнику дорівнює

$$K_{(P/B)\Phi} = Q_{vp} \delta_p / Q_{v\Phi} \delta_e, \quad (1)$$

де Q_{vp} , $Q_{v\Phi}$ - відповідно об'ємна витрата руди і води у пульпі; δ_p , δ_e - відповідно густина руди і води.

Об'ємна витрата пульпи

$$Q_{v\Pi} = Q_{vp} + Q_{v\Phi}, \quad Q_{v\Pi} = kH_C. \quad (2)$$

Різниця між заданим і фактичним значенням співвідношення руда/вода дорівнює

$$\Delta K'_{P/B} = K_{(P/B)3} - (Q_{vp} \delta_p / Q_{v\Phi} \delta_e), \quad (3)$$

звідки витрата води у пульпі

$$Q_{v\Phi} = \frac{\delta_p}{\delta_e} \cdot \frac{Q_{vp}}{(K_{(P/B)3} - \Delta K'_{P/B})}. \quad (4)$$

У рівнянні (4) об'ємну витрату руди можна подати

$$Q_{vp} = Q_{v\Pi} - Q_{v\Phi} = kH_C - Q_{v\Phi}. \quad (5)$$

Підставимо в (4) рівняння (5) і після перетворення отримаємо

$$Q_{v\Phi} = \frac{\delta_p kH_C}{\delta_e (K_{(P/B)3} - \Delta K'_{P/B}) - \delta_p}. \quad (6)$$

З виразу (6) видно, що для визначення витрати води у пісковому жолобі необхідно знати рівень пульпи H_C у приймальному пристрої завиткового живильника і фактичне значення співвідношення руда/вода або $\Delta K'_{P/B} = K_{(P/B)3} - K_{(P/B)\Phi}$. Процес будемо вести так, щоб $K_{(P/B)\Phi}$ було більшим $K_{(P/B)3}$, тоді $\Delta K'_{P/B}$ завжди буде мати від'ємний знак. Тоді залежність (6) прийме вигляд, що визначає фактичну витрату води у пульпі

$$Q_{v\Phi} = \delta_p kH_C / \delta_e (K_{(P/B)3} + \Delta K'_{P/B}) - \delta_p, \quad (7)$$

де $\Delta K'_{P/B}$ - повна поточна різниця заданого і фактичного значення показника, ідентифікованого у приймальному пристрої завиткового живильника, яка є функцією часу.

Повна об'ємна витрата води у пульпі буде при $\Delta K'_{P/B} = 0$, тобто

$$Q_{v\Phi\Sigma} = \frac{\delta_p kH_C}{\delta_e K_{(P/B)3} - \delta_p}. \quad (8)$$

Витрата доданої води у пульпу для забезпечення заданого значення $K_{(P/B)3}$ буде дорівнювати

$$Q_{v\Phi} = Q_{v\Phi\Sigma} - Q_{v\Phi\Pi}. \quad (9)$$

Залежності (7), (8) і (9) дозволяють організувати систему автоматичного керування витрати доданої води у кульовий млин для забезпечення заданого співвідношення руда/вода $K_{(P/B)з}$ на його вході. По відомому значенню рівня пульпи H_C у приймальному пристрої завиткового живильника за залежністю (8) визначаємо повну витрату води у пульпі (при $K_{(P/B)з}$) $Q_{вп\Sigma}$. За відомими в ту ж мить часу H_C і $K_{(P/B)ф}$ за формулою (7) визначаємо фактичну витрату води у пульпі $Q_{впф}$. Різниця цих значень у дану мить часу може слугувати завданням на автоматичне керування витратою води у завантажувальну горловину кульового млина

$$Q_{(vвв)з} = Q_{вп\Sigma} - Q_{впф} \quad (10)$$

Отже, система автоматичного керування співвідношенням руда/вода у кульовому млині, що подрібнює піски класифікатора, повинна містити два контури – контур інваріантного регулювання розрідження пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника і контур автоматичного регулювання подачі води у горловину кульового млина. Функціональна схема автоматичного регулювання співвідношення руда/вода у кульовому млині показана на рис. 2.

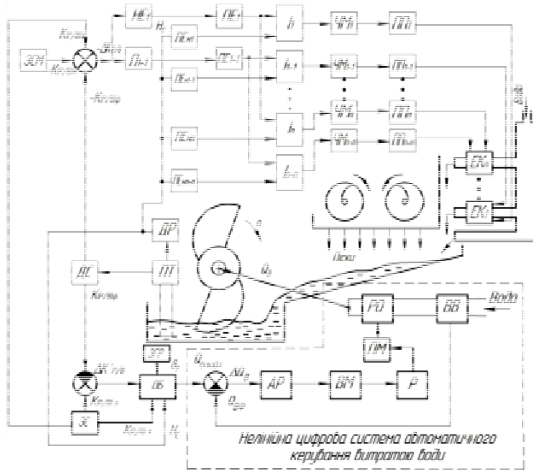


Рис. 2. Функціональна схема системи автоматичного керування співвідношенням руда/вода у кульовому млині, що подрібнює піски класифікатора: ЗСМ - задавач співвідношення руда/вода, що забезпечується на вході кульового млина; НЕ1...НЕп - логічні елементи «НЕ»; П1-1...Пп-п - амплітудні підсилювачі; ПЕ1...ПЕп, ПЕ1-1...ПЕп-п, ПЕН1, ПЕН1-1 - порогові елементи; І1...Іп, І1-1...Іп-п - логічні елементи «І»; ЧМ1...ЧМп, ЧМ1-1...ЧМп-п - чекаючі мультівібратори; ПП1...ППп, ПП1-1...ППп-п - підсилювачі потужності; ЕК1...ЕКп - електромагнітні клапани; ЗС - задавач співвідношення; ДС - датчик співвідношення руда/вода в приймальному пристрої завиткового живильника; ДР - датчик рівня пульпи; ПТ - перетворювачі тиску; ЗГР - задавач густини руди; ОБ - обчислювальний блок; АР - автоматичний регулятор; ВМ - виконавчий механізм; Р - редуктор; ПМ - перетворювальний механізм; РО - регулювальний орган; ВВ - витратомір води

На підставі аналізу режимів інваріантного управління розрідженням пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника кульового млина МШР 4,0×5,0 виконано математичне моделювання процесу. Параметри моделювання процесу подачі додаткової води у пісковий жолоб класифікатора при зміні витрати пісків наведені у табл.1.

З даних табл. 1 видно, що для забезпечення автоматичного інваріантного керування співвідношенням руда/вода у приймальному пристрої завиткового живильника необхідно у пісковий жолоб класифікатора подавати воду вихідним каналом та за допомогою п'яти автоматично керованих додаткових каналів. Вихідний канал повинен забезпечувати незмінну продуктивність 82,1 м³/год, а додаткові канали відповідно - 11,3;12,9;14,7;16,7;19,0 м³/год. Витрата води через магістраль подачі її у кульовий млин змінюється у межах 3,85...26,4 м³/год. Ця витрата води автоматично регулюється відповідно задаючому діянню, яке автоматично формується і змінюється у межах, що відповідають кожному окремому засобу подачі рідини у пісковий жолоб класифікатора. Алгоритмічна схема цифрового формування сигналу у контурі автоматичного керування витратою води у кульовий млин показана на рис. 3. Цей алгоритм доцільно реалізувати цифровими засобами системи автоматичного керування співвідношенням руда/вода у кульовому млині, що подрібнює піски класифікатора, зокрема, обчислювальним блоком ОБ (2) з залученням даних $K_{(P/B)з}$, H_C , δ_P , $\Delta K'_{(P/B)з}$.

Таблиця 1

Параметри моделювання процесу подачі додаткової води у пісковий жолоб класифікатора при зміні витрати пісків						
Витрата пісків, т/год	Витрата пісків, м ³ /год	Засоби подачі води у пісковий жолоб класифікатора	Витрата води через окремі засіб подачі, м ³ /год	Сумарна витрата води у пісковий жолоб, м ³ /год	Витрата води у кульовий млин, м ³ /год	
					min	max
238,0	72,2	Вихідний канал	82,1	82,1	3,85	13,8
271,0	82,1	1-й додатковий канал	11,3	93,4	4,37	15,7
308,4	93,4	2-й додатковий канал	12,9	106,3	5,0	17,9
350,9	106,3	3-й додатковий канал	14,7	121,0	5,7	20,4
399,3	121,0	4-й додатковий канал	16,7	137,7	6,4	23,2
454,4	137,7	5-й додатковий канал	19,0	156,7	7,4	26,4

Для подачі додаткової води у пісковий жолоб класифікатора слід застосувати патрубки з вказаною в табл. 1 пропускною здатністю і з вентилями для регулювання витрати і електромагнітними клапанами з фіксуванням положення для перекривання магістралі.

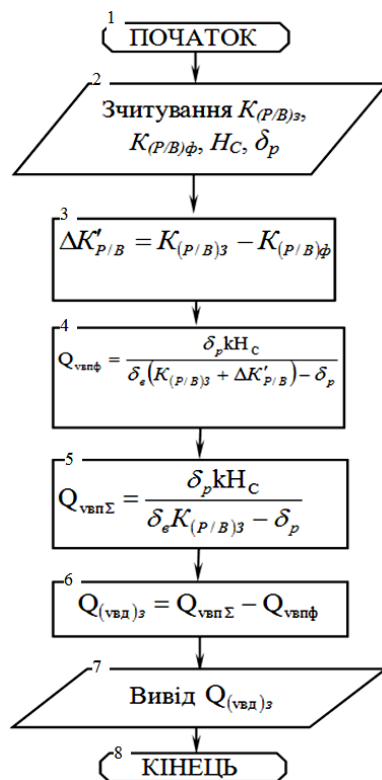


Рис. 3. Алгоритмічна схема визначення витрати доданої води $Q_{(V/D)z}$, що виступає змінним задаючим діянням нелінійної цифрової системи автоматичного керування витратою води у кульовий млин

Для подачі води у кульовий млин слід застосувати магістраль, що включає відрізок трубопроводу, регульовальний клапан з таким же стандартним умовним діаметром та магнітно-індуктивним витратоміром 8045. Компоновка вузлів кульового млина дозволяє здійснити подачу різниці води у завантажувальну горловину млина за схемою: вихідний патрубок - регульовальний орган - проміжний патрубок - витратомір води - магістраль. Тоді довжина проміжного патрубка буде самою короткою - сім діаметрів трубопроводу. Розрахунки показують, що для забезпечення нормального функціонування системи автоматичного керування подачею води у кульовий млин умовний діаметр регульовального органа повинен дорівнювати 50 мм. Такий же умовний діаметр повинні мати вихідний і проміжний патрубки та витратомір води і магістраль.

Аналіз показав, що найбільш ефективною для даних умов керування подачею води у кульовий млин буде релейна система з ідеалізованим релейним елементом. Такий релейний елемент можливо реалізувати на контролері. Він спрацьовує і відпускає практично при однаковому сигналі на вході та може спрацьовувати при занадто низьких рівнях сигналу $\pm \Delta Q_B$.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Таким чином, враховуючи особливість регульованого об'єкта, що полягає у пропорційній залежності між об'ємною продуктивністю пульпи у пісковому жолобі класифікатора і її рівнем у приймальному пристрої завиткового живильника та повільності зміни витрати пісків у двоспіральному класифікаторі і практичній незмінності тиску у магістралі подачі води, обґрунтовано принцип автоматичного керування розрідженням пульпи при подрібненні піскового продукту. Відповідно даному принципу керування автоматична система повинна вміщувати контури інваріантного регулювання розрідження пульпи у приймальному пристрої у функції витрати пісків, блок формування змінного задаючого діяння та релейний регулятор витрати води безпосередньо у кульовий млин з ідеалізованим релейним елементом. За умов допустимої похибки визначення рівня пульпи та співвідношення руда/вода таке автоматичне керування забезпечує високу якість стабілізації регульованого параметра.

Дані дослідження відкривають перспективу створення системи автоматичного керування розрідженням пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора.

Список літератури

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В03В 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. Декларацийний пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / **Кондратец В.О., Мацуї А.М.**; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
 3. **Кондратец В.О.** Особливості інформаційного забезпечення завиткового живильника як керованого об'єкта / **В.О. Кондратец, А.М. Мацуї** // Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць.- 2011.- Вип. 28.- С. 200-204.
 4. **Кондратец В.О.** Дослідження умов ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора / **В.О. Кондратец, А.М. Мацуї** // Академический вестник.- 2007.- №19.- С. 44-49.
 5. **Кондратец В.О.** Теоретичне дослідження завиткового живильника по каналу продуктивності / **В.О. Кондратец, О.М. Сербул, А.М. Мацуї** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ.- 2005.- №16.- С. 260-265.
- Рукопис подано до редакції 21.03.11