

Developed adaptive forecasting model based on a rolling linear regression, allow appointing the time of ice and hoarfrost sediments formation on the transmission line wires in the changing data structures environment. For checking in assessing the reliability were founded the analytical equations of fiducial limits. As a result of benchmarking the average absolute error and mean absolute error in percentage found that forecasts based on a rolling linear regression with error in ≈ 2 times lower than on the basis of linear regression.

The proposed predictive model has sufficient accuracy and reliability for mathematically reasonable development on the basis of ice and hoarfrost sediments on wires overhead transmission lines technical predictive test system.

overhead power lines, wires icing, prediction, time series

Одержано 28.12.15

УДК 681.5.015

В.О. Кондратець, проф., д-р техн. наук, О.М. Сербул, доц., канд. техн. наук
Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна,
E-mail:

Оптимізація точності прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням

Вибір пристроїв вимірювання технологічних параметрів за похибкою можливо подати як задачу оптимізації відповідно методу динамічного програмування у три стадії, у кожній з яких обирається один з засобів. В процесі оптимізації при відносній похибці вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі $\pm 3,0\%$ відносна максимальна похибка прогнозування співвідношення руда/вода склала $1,72\%$ при визначенні витрати руди і води в млин з похибкою $\pm 1,0\%$ порівняно з допустимою $\pm 3,0\%$.

кульовий млин, співвідношення руда/вода, прогнозування, точність, оптимізація

В.А. Кондратец, проф., д-р техн. наук, А.Н. Сербул, доц., канд. техн. наук
Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград, Украина
Оптимизация точности прогнозирования соотношения руда/вода в шаровой мельнице с циркулирующей нагрузкой

Выбор устройств измерения технологических параметров по ошибке возможно представить как задачу оптимизации в соответствии с методом динамического программирования в три стадии, в каждой из которых выбирается одно из средств. В процессе оптимизации при относительной погрешности измерения расхода пульпы в песковом желобе $\pm 3,0\%$ относительная максимальная погрешность прогнозирования соотношения руда/вода составила $1,72\%$ при определении расхода руды и воды в мельницу с погрешностью $\pm 1,0\%$ сравнительно с допустимой $\pm 3,0\%$.

шаровая мельница, соотношение руда/вода, прогнозирование, точность, оптимизация

Постановка проблеми. Металургійна галузь України споживає значну частку сировини, яка отримана в процесах збагачення бідних залізних руд. У збагачувальній галузі для подрібнення руди крупністю $0...25$ мм широко використовують кульові млини, що працюють у замкненому циклі з механічним спіральним класифікатором. На подрібнення руд споживається понад 50% загальних витрат електроенергії, призначеної для отримання кінцевої продукції – концентрату. Крім того, витрачається

значна кількість куль і футеровки. Найкращий вихід готового продукту забезпечують кульові млини за умов підтримання певного співвідношення руда/вода в конкретних технологічних ситуаціях. В наслідок неможливості ефективного ручного регулювання та відсутності автоматичних засобів керування цей параметр не підтримується на заданих рівнях, а кульові млини перевитрачають значну частку електричної енергії, куль і футеровки, що підвищує собівартість залізородних концентратів, знижує їх конкурентоспроможність. Такий стан склався в наслідок того, що відсутні технічні засоби автоматичного прогнозування співвідношення руда/вода у кульовому млині. В той же час це не відповідає вимогам законодавства України щодо впровадження ресурсозберігаючих технологій і, зокрема, Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р., затвердженої наказом міністра промислової політики України № 152 від 25.02.2009 року, в частині гірничо-металургійного комплексу. Конкретно на розв'язання даної задачі спрямована наукова тема "Комп'ютерно інтегрована система автоматичного регулювання співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням" (0105U008334). Враховуючи, що дана стаття присвячена розв'язанню задачі підтримання розрідження пульпи в кульових млинах з циркулюючим навантаженням, її тема є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розв'язанню даної задачі приділяли значну увагу як в Україні, так і закордоном. Запропоновано кілька підходів та систем керування, наприклад [1]. Низька точність, велике транспортне запізнювання та інші причини не дозволили реалізувати розроблені пристрої. Вади, притаманні розробленим пристроям, відсутні у підході прогнозування [2] та способі стабілізації співвідношення руда/вода [3], запропонованих авторами даної статті. Виконано обґрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням [4], здійснено підвищення точності стохастичної системи автоматичного керування розрідженням пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів [5]. Крім того, на результат прогнозування розрідження пульпи у кульовому млині впливає точність вимірювання технологічних параметрів, серед яких об'ємну витрату пульпи у піщовому жолобі не можливо визначити з достатньо високою точністю. В роботі [6] показано, що найкращі результати при прогнозуванні співвідношення руда/вода можливо отримати шляхом оптимізації точнісних характеристик за параметрами, які входять до складу математичної моделі прогнозування [2]. Однак задача досягнення необхідної точності прогнозування співвідношення руда/вода оптимальним підбором точнісних характеристик вимірювальних засобів не розв'язувалася.

Постановка завдання. Метою даної роботи є пошук найкращого поєднання точності пристроїв вимірювання технологічних параметрів для забезпечення допустимої похибки прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині, що подрібнює вихідну руду з пісками механічного спірального класифікатора.

Виклад основного матеріалу. Прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині з циркулюючим навантаженням визначається рядом параметрів, зокрема, - це вологовміст пісків класифікатора K_w , густина руди δ_p , об'ємна витрата води в піщовий жолоб класифікатора Q_{VBG} , масова витрата руди Q_p і води $Q_{\text{вм}}$ в млин, об'ємна витрата пульпи в піщовому жолобі класифікатора Q_{Vp} . Похибка визначення кожного з цих параметрів впливає на точність ідентифікації співвідношення руда/вода. В процесі прогнозування параметри K_w , δ_p , Q_{VBG} є незмінними і практично не впливають на процес прогнозування. Тому результат прогнозування в основному буде визначатись змінними Q_p , $Q_{\text{вм}}$ і Q_{Vp} . Складність прогнозування полягає в тому, що виміряти об'ємну витрату пульпи у піщовому жолобі класифікатора з достатньо

високою точністю практично не можливо. Найкращі результати можливо отримати, коли одночасно враховується вплив на точність визначення співвідношення руда/вода усіх факторів. Аналіз показав, що для розв'язання даної задачі оптимізації найкраще підходить метод динамічного програмування [7, 8].

Зважаючи на те, що в процесах збагачення похибка інформаційних засобів може бути прийнятою на рівні $\pm 3,0\%$ [9], критерій оптимальності встановимо на рівні $J = \delta_{K(p/\epsilon)}, \% \leq 3,0\%$, де $\delta_{K(p/\epsilon)}$ – відносна похибка прогнозування співвідношення руда/вода в кульовому млині. Подамо критерій оптимальності у вигляді аналітичного виразу. За базове значення співвідношення руда/вода $K_{(p/\epsilon)\epsilon}$ приймемо значення, що знайдене за виразом математичної моделі прогнозування при усіх параметрах, які визначені без похибок, тобто

$$K_{(p/\epsilon)\epsilon} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon}) + Q_{p\epsilon}}{Q_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon})]}, \quad (1)$$

де $A_\epsilon = \delta_p \delta_\epsilon / (\delta_p + k_w \delta_p)$ – сталий коефіцієнт для певної руди;
 δ_ϵ – густина води.

Індекс "ε" означає величину, знайдену без похибки.

При вимірюванні будь-якого з вхідних параметрів будемо вносити похибку. Виміряні з похибкою параметри позначимо Q'_p , $Q'_{\epsilon m}$, Q'_{Vp} . При врахуванні параметра, знайденого з похибкою, будемо мати похибку у визначенні співвідношення руда/вода. Позначимо ці параметри стану відповідно через $K_{(p/\epsilon)p}$, $K_{(p/\epsilon)\epsilon m}$, $K_{(p/\epsilon)Vp}$. З врахуванням введених позначень вирази для певних параметрів стану приймуть наступний вигляд

$$K_{(p/\epsilon)p} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon}) + Q'_p}{Q_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon})]}, \quad (2)$$

$$K_{(p/\epsilon)\epsilon m} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon}) + Q_{p\epsilon}}{Q'_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q_{Vp\epsilon} - Q_{VBG\epsilon})]}, \quad (3)$$

$$K_{(p/\epsilon)Vp} = \frac{A_\epsilon \cdot (Q'_{Vp} - Q_{VBG\epsilon}) + Q_{p\epsilon}}{Q_{\epsilon m\epsilon} + Q_{\epsilon G\epsilon} + K_{W\epsilon} [A_\epsilon \cdot (Q'_{Vp} - Q_{VBG\epsilon})]}. \quad (4)$$

Абсолютна похибка визначення співвідношення руда/вода буде дорівнювати

$$\Delta K_{p/\epsilon} = [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)p}] + [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)\epsilon m}] + [K_{(p/\epsilon)\epsilon} - K_{(p/\epsilon)Vp}], \quad (5)$$

або

$$\Delta K_{p/\epsilon} = 3K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \sum_{i=1}^3 K_{(p/\epsilon)i}. \quad (6)$$

Відносні похибки визначення співвідношення руда/вода будуть дорівнювати

$$\delta K_{(p/\epsilon)p} = \frac{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \Delta K_{(p/\epsilon)p}}{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

$$\delta K_{(p/\epsilon)\epsilon m} = \frac{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon m}}{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

$$\delta K_{(p/\epsilon)Vp} = \frac{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon} - \Delta K_{(p/\epsilon)Vp}}{\Delta K_{(p/\epsilon)\epsilon}} \cdot 100\%. \quad (9)$$

Відносна похибка визначення співвідношення руда/вода буде мати наступний вигляд

$$\delta K_{(p/\theta)\theta} = \frac{100}{K_{(p/\theta)\theta}} \sqrt{[K_{(p/\theta)\theta} - K_{(p/\theta)p}]^2 + [K_{(p/\theta)\theta} - K_{(p/\theta)\theta\theta}]^2 + [K_{(p/\theta)\theta} - K_{(p/\theta)Vp}]^2}. \quad (10)$$

У виразах (5)...(10) параметри з похибкою відповідно дорівнюють

$$Q'_p = Q_p \pm \frac{Q_p \cdot \Delta Q_p}{100}, \quad (11)$$

$$Q'_{\theta\theta} = Q_{\theta\theta} \pm \frac{Q_{\theta\theta} \cdot \Delta Q_{\theta\theta}}{100}, \quad (12)$$

$$Q'_{Vp} = Q_{Vp} \pm \frac{Q_{Vp} \cdot \Delta Q_{Vp}}{100}. \quad (13)$$

Оскільки рівняння (10) враховує окремі складові похибки прогнозування, то процес можливо розглядати як незалежні три стадії оптимізації, в яких отримують окремі результати в чисельному значенні. Загальний критерій оптимальності буде дорівнювати сумі відповідних показників у кожній стадії, знайдених за виразом (10).

Здійсимо оптимізацію процесу поетапно. Повна математична модель об'єкта оптимізації описується наступним рівнянням

$$K_{p/\theta} = \frac{\delta_p \cdot [(Q_{Vp} - Q_{VBG}) + Q_p] / (1 + K_W \delta_p / \delta_\theta)}{Q_{\theta\theta} + Q_{\theta G} + K_W \delta_p (Q_{Vp} - Q_{VBG}) / (1 + K_W \delta_p / \delta_\theta)}, \quad (14)$$

у якому

$$K_{(p/\theta)z} = const, \quad (15)$$

$$Q_{VBG} = const, \quad (16)$$

$$Q_{cn} = (100 \div 300)\% \cdot Q_p, \quad (17)$$

$$Q_{Vp} = Q_{VBG} + \frac{Q_{cn}}{\delta_T} + K_W \frac{Q_{cn}}{\delta_\theta}, \quad (18)$$

$$\gamma = \delta_\theta \delta_p \cdot \frac{K_{(p/\theta)z} + 1}{\delta_p + K_{(p/\theta)z} \cdot \delta_\theta}, \quad (19)$$

$$Q_{\theta\theta} = \frac{(\delta_p - \gamma)}{(\gamma - \delta_\theta)} \cdot \frac{\delta_\theta}{\delta_p} (Q_p + Q_{cn}), \quad (20)$$

$$Q_{\theta\Sigma} = \frac{Q_{\theta\theta}}{\delta_\theta}, \quad (21)$$

$$Q_{\theta\theta} = Q_{\theta\Sigma} - Q_{VBG} - K_W \cdot \frac{Q_{cn}}{\delta_\theta}, \quad (22)$$

де $K_{(p/\theta)z}$ – задане значення співвідношення руда/вода;

$Q_{\theta\Sigma}$ - сумарна об'ємна витрата води, що поступає до кульового млина;

$Q_{\theta\theta}$ - сумарна масова витрата води, що поступає до кульового млина.

Дані рівняння описують блок прогнозування співвідношення руда/вода стосовно усіх його параметрів, об'єднаних залежністю (14). При зміні витрати руди Q_p автоматично приймають певні значення Q_{vp} і Q_{em} . Рівняння (15)...(22) дозволяють відшукувати Q_{vp} і Q_{em} , які встановлюються в циклі подрібнення руди.

Оптимізація першої стадії зводиться до вибору засобу вимірювання витрати руди, що поступає до кульового млина. Її можливо здійснити з врахуванням конкретного режиму роботи циклу подрібнення вихідної руди. Найбільш імовірним чи типовим можливо рахувати режим роботи при наступних значеннях параметрів: $Q_p = 240$ т/год; $K_{(p/в)з} = 4,3$; $K_w = 0,12$; $\delta_p = 3,3$ т/м³; $\delta_g = 1,0$ т/м³; $Q_{VBG} = 24,3$ т/год; $Q_{cn} = 125\%$ Q_p . При прийнятих значеннях параметрів визначимо $K_{(p/в)p}$. Раніше визначимо $Q_{vpe} = 151,21$ м³/год, об'ємна витрата води у кульовий млин $Q_{vp} = 65,28$ м³/год. Дані розрахунків заносимо до табл. 1.

З даних табл. 1 слідує, що при збільшенні похибки вимірювання витрати руди в кульовий млин виникає похибка у визначенні співвідношення руда/вода, але вона менша за величиною похибки вимірювання. Базова величина тут буде при похибці вимірювання, що дорівнює нулю (табл. 1). Найкращі результати будуть отримані при максимально зменшеній похибці вимірювання. Конвеєрні ваги можуть забезпечити похибку вимірювання витрати руди на рівні одного відсотка. Тому приймемо для вимірювання витрати руди конвеєрні ваги класу $\pm 1,0$. При цьому критерій оптимальності в першій стадії оптимізації складе $\Delta K_{p/в} = 0,02$.

Таблиця 1 – Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання витрати руди $Q_p = 240$ т/год

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, т/год	0	±1,2	±2,4	±3,6	±4,8	±6,0	±7,2	±8,4	±9,6	±10,8	±12,0
Найменше значення витрати $Q_{p \min}$, т/год	240	238,8	237,6	236,4	235,2	234,0	232,8	231,6	230,4	229,2	228,0
Найбільше значення витрати $Q_{p \max}$, т/год	240	241,2	242,4	243,6	244,8	246,0	247,2	248,4	249,6	250,8	252,0
Значення $K_{p/в}$ для $Q_{p \min}$	4,3	4,291	4,281	4,271	4,262	4,252	4,243	4,233	4,224	4,214	4,204
Значення $K_{p/в}$ для $Q_{p \max}$	4,3	4,31	4,319	4,329	4,338	4,348	4,357	4,367	4,377	4,386	4,396
Відхилення $K_{p/в}$	0	0,01	0,02	0,03	0,038	0,048	0,057	0,067	0,077	0,086	0,096

Оптимізацію другої стадії проведемо стосовно вимірювання витрати води в кульовий млин. Дані розрахунків наведемо в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання витрати води при $Q_p = 240$ т/год

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, м ³ /год	0	±0,3264	±0,6528	±0,9792	±1,3056	±1,632	±1,9584	±2,2848	±2,6112	±2,9376	±3,264
Найменше значення витрати $Q_{вм\ min}$, м ³ /год	65,28	64,954	64,672	64,301	63,974	63,648	63,322	62,995	62,669	62,342	62,013
Найбільше значення витрати $Q_{вм\ max}$, м ³ /год	65,28	65,606	65,933	66,259	66,586	66,912	67,238	67,565	67,891	68,218	68,544
Значення $K_{p/v}$ для $Q_{вм\ min}$	4,3	4,311	4,321	4,334	4,345	4,357	4,368	4,38	4,391	4,403	4,415
Значення $K_{p/v}$ для $Q_{вм\ max}$	4,3	4,289	4,278	4,267	4,256	4,245	4,234	4,223	4,212	4,202	4,191
Відхилення $K_{p/v}$	0	0,011	0,021	0,034	0,045	0,057	0,068	0,08	0,091	0,103	0,115

З даних таблиці видно, що при зростанні похибки вимірювання витрати води похибка визначення співвідношення руда/вода також зростає. У даному випадку, як і для визначення витрати руди, зміна $K_{p/v}$ відбувається у меншій мірі порівняно з похибкою вимірювання витрати води. Зміна критерію оптимальності на другій стадії відбувається на $\Delta K_{p/v} = 0,021$ для витратоміра з похибкою вимірювання $\pm 1,0$ %.

Оптимізація третьої стадії буде стосуватись вибору витратоміра пульпи у пісковому жолобі. Виконаємо також розрахунки при зміні витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора. Дані розрахунків занесемо до табл. 3.

Таблиця 3 – Значення співвідношення руда/вода в кульовому млині при зміні похибки вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі класифікатора при $Q_p = 240$ т/год

Відносна похибка вимірювання, %	0	±0,5	±1,0	±1,5	±2,0	±2,5	±3,0	±3,5	±4,0	±4,5	±5,0
Абсолютне відхилення витрати, м ³ /год	0	±0,7561	±1,5121	±2,2682	±3,0242	±3,7803	±4,5363	±5,2924	±6,0484	±6,8045	±7,5605
Найменше значення витрати $Q_{vp\ min}$, м ³ /год	151,21	150,454	149,698	148,942	148,186	147,43	146,674	145,918	145,162	144,406	143,65
Найбільше значення витрати $Q_{vp\ max}$, м ³ /год	151,21	151,966	152,722	153,478	154,234	154,99	155,746	156,502	157,258	158,015	158,771

Продовження таблиці 3

Значення $K_{p/v}$ для $Q_{Vp\ min}$	4,3	4,293	4,286	4,279	4,272	4,265	4,258	4,251	4,244	4,237	4,23
Значення $K_{p/v}$ для $Q_{Vp\ max}$	4,3	4,307	4,314	4,321	4,327	4,334	4,341	4,348	4,354	4,361	4,368
Відхилення $K_{p/v}$	0	0,007	0,014	0,021	0,027	0,034	0,041	0,048	0,054	0,061	0,068

Аналіз даних табл. 3 показує, що у цьому випадку спостерігаються аналогічні встановленим раніше тенденції зміни величини. Різниця полягає лише в тому, що відсутні точні засоби вимірювання витрати пульпи у пісковому жолобі. Витратомір пульпи у пісковому жолобі забезпечує похибку вимірювання, яка не нижче $\pm 3,0\%$. В зв'язку з цим на даній стадії оптимізації критерій оптимальності збільшується на саму значну величину, яка становить $\Delta K_{p/v} = 0,041 \dots 0,068$. Сумарне значення критерію оптимальності складає ще більшу величину. Відносна максимальна помилка визначення співвідношення руда/вода дорівнює 0,0739, або 1,72 % порівняно з базовою величиною, що не перевищує його граничне значення $\pm 3,0\%$.

Висновки. Таким чином, завдяки оптимізації процесу прогнозування співвідношення руда/вода на вході кульового млина за рахунок найкращого вибору за похибкою існуючих інформаційних засобів вдалося досягти при порівняно низькій точності вимірювання об'ємної витрати пульпи в пісковому жолобі класифікатора достатньо високої точності визначення $K_{p/v}$. Відносна максимальна похибка прогнозування співвідношення руда/вода складає 1,72 %, що не перевищує її граничного значення $\pm 3,0\%$.

Проведені дослідження відкривають перспективу розробки блока прогнозування співвідношення руда/вода з високими технічними характеристиками при порівняно низькій точності вимірювання технологічних параметрів.

Список літератури

1. А.с. 1563757 СССР, МКИ В02С 25/00. Способ регулирования соотношения расходов потоков твердой и жидкой фаз в загрузке мельницы /Г.Г. Кононенко, В.В. Дядюра, В.Г. Дейнега, Ю.М. Кайгородцев (СССР). - № 4459214/23-33; заявл. 21.06.88; опубл. 15.09.90, Бюл. № 18.
2. Кондратец В.О. Идентификация соотношения руда/вода на входе кульового млина /В.О. Кондратец, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2006. – Вип. 17. – С. 265-272.
3. Пат. 59644 Україна, МКВ 7 В 03 б 11/00, В 02 с 25/00. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням /Кондратец В.О., Сербул О.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. – № 2002118758; заявл. 15.11.02; опубл. 15.04.05, Бюл. № 4.
4. Кондратец В.О. Обгрунтування системи комп'ютерної ідентифікації та регулювання розрідження пульпи у кульових млинах з циркулюючим навантаженням /В.О. Кондратец, О.М. Сербул //Вісник Криворізького нац. ун-ту: зб. наук. праць. – 2013. – Вип. 34. – С. 45-50.
5. Кондратец В.О. Підвищення точності стохастичної САР розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням фільтруванням сигналів /В.О. Кондратец, О.М. Сербул //Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2010. – Вип. 23. – С. 78-84.
6. Сербул О.М. Обгрунтування підходу підвищення точності ідентифікації співвідношення руда/вода в кульових млинах з циркулюючим навантаженням /О.М. Сербул, В.О. Кондратец // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2009. – Вип. 22. – С. 24-28.
7. Дегтярев Ю.И. Исследование операций /Дегтярев Ю.И. – М.: Высшая школа, 1986. – 320 с.
8. Вентцель Е.С. Исследование операций /Вентцель Е.С. – М.: Высшая школа, 2001. – 208 с.

9. Автоматический контроль и регулирование технологических процессов на железорудных обогатительных фабриках / [Гончаров Ю.Г., Давидкович А.С., Гейзенблейзен Б.Е., Гуленко Г.В.]. – М.: Недра, 1968. – 227 с.

Vasily Kondratets, Prof., DSc., Alexander Serbul, Assos. Prof., PhD tech. sci.

Kirovograd national technical university, Kirovohrad, Ukraine

Optimization of forecasting accuracy ratio ore/water in a ball mill with a circulating load

The purpose of the article is a search for the best combination of precision instruments for the margin of error prediction liquefaction.

The ratio of the ore/water predict possible in accordance with this algorithm on the measured parameters - ore and water consumption in a ball mill, a volume flow of ore and water in a ball mill, a volume flow of sand in sand classifier chute. The measurement error of each parameter introduces an error in the final result. The task is complicated by the fact that the volumetric flow of sand in the sand chute accurately measure is not possible, which significantly reduces the result of forecasting where the measurement error or most approximates the boundary permissible value of $\pm 3,0\%$ for the ratio of ore/water. Selection device for measuring process parameters of error may be represented as the optimization problem by the method of dynamic programming in three stages, each of which selects one means.

In the process of optimizing the relative error of flow measurement in sand chute $\pm 3,0\%$, the maximum relative error of prediction ratio of ore / water amounted to 1.72% as determined by the flow of ore and water in the mill with an accuracy of $\pm 1,0\%$ compared with the allowable $\pm 3\ 0\%$.

ball mill, the ratio of ore/water, forecasting, accuracy, optimization

Одержано 08.10.15

УДК 621.311.1: 621.316.37

А.І. Котиш, доц., канд. техн. наук, П.Г. Плешков, проф., канд. техн. наук,

А.Ю. Орлович, проф., канд. техн. наук, О.І. Сіріков, доц., канд. техн. наук

Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, Україна,

E-mail: akotysh@gmail.com

А.В. Некрасов, доц., канд. техн. наук

Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук, Україна

Розробка та експериментальне дослідження фіксатора коротких замикань для повітряних електричних мереж напругою 110 – 150 кВ

На основі аналізу схеми нормального режиму мережі 150 кВ ПАТ «Кіровоградобленерго» встановлено, що існує ряд підстанцій, де встановлення фіксаторів короткого замикання просто необхідно. Вибрано оптимальний варіант конструкції фіксатора короткого замикання, розроблено його кінематичну схему, визначено зв'язки між переміщеннями частин механізму приладу та виконано його силовий розрахунок. Розроблено конструкцію фіксатора короткого замикання, виконано його розрахунок магнітної системи, що дозволило побудувати вебер-амперні та тягові характеристики приладу. Проведено експериментальні дослідження та лабораторні випробування фіксатора короткого замикання. В результаті чого визначено пороги спрацьовування пристрою в функції струму та часу, побудовано його характеристики. Експериментом підтверджено повну придатність приладу для роботи в реальних умовах.

лінія електропередач, коротке замикання, електрична мережа, фіксатор, ізоляція

© А.І. Котиш, П.Г. Плешков, А.Ю. Орлович, О.І. Сіріков, А.В. Некрасов, 2016