

УДК 001.57:681.5.015: 681.542.35

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц., В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д-р техн. наук, проф.,
А.А. АБАШИНА, студентка
Центральноукраїнський національний технічний університет

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ РОБОТИ МЕХАНІЧНОГО ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Мета. Метою даної статті є проведення системного аналізу роботи механічного односпірального класифікатора як керованого об'єкта з тим, щоб намітити шляхи удосконалення керування технологічними процесами в ньому.

Методи дослідження. В роботі використані методи узагальнення результатів попередніх досліджень, аналізу результатів роботи, методи теорії ймовірностей, гідравліки, руху неньютонівських рідин, теорії гідравлічної класифікації, теорії перемішування сипких матеріалів, теорії автоматичного керування, теорії чутливості, випадкових процесів та операторний метод.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в тому, що запропоновано шляхи удосконалення теорії класифікації продуктів в односпіральних класифікаторах, а саме: перегляд основних теоретичних передумов теорії механічних односпіральних класифікаторів; описання динамічної рівноваги між перемішуванням і гравітаційним випадінням часток твердого; розвиток обґрунтування теорії перемішування пульпи; обґрунтування параметрів налагодження односпірального класифікатора; розроблення більш ефективного принципу керування механічним односпіральним класифікатором.

Практична значимість. Полягає в тому, що запропоновано конкретні шляхи удосконалення теорії механічних односпіральних класифікаторів, що дозволить суттєво покращити ефективність їх роботи і зменшити втрати в рудопідготовці в межах першої стадії подрібнення руди.

Результати. Односпіральні класифікатори порівняно з гідроциклонами потребують менше електроенергії, можуть розділяти більш крупний матеріал, відрізняється більш тривалими міжремонтними періодами, однак мають великі габарити, високу вартість. Оскільки це збільшує капітальні витрати на обладнання і будівництво споруд збагачувальних фабрик, намітилася тенденція їх витіснення гідроциклонами. В Україні цю тенденцію реалізувати не можливо враховуючи те, що збагачувальні фабрики експлуатуються давно, нанесені витрати в початковому періоді, а модернізація буде вимагати нових. Тому єдиним раціональним є шлях удосконалення роботи існуючого обладнання. Теоретики і практики розглядали процес розділення подрібненого матеріалу за крупністю на два продукти – злив і піски достатньо спрощено. Згодом в них виділяють окремі зони, отримують передавальні функції і роблять спроби автоматичного керування процесом, однак задовільних результатів не отримують. Встановлення структурних зв'язків між параметрами пульпи в процесі класифікації показало, що вони занадто складні. З одного боку, продуктивність односпірального класифікатора і крупність розділення залежать від площі дзеркала пульпи, швидкості осідання часток твердого максимальної крупності, що направляється у злив, крупності твердого в пульпі, змучувальної дії механізму класифікатора. З іншого боку, швидкість осідання часток твердого визначається в'язкістю пульпи, яка також залежить від крупності твердого і змучувальної дії механізму класифікатора. Крім того, в'язкість пульпи залежить від її густини, вмісту шламів і глиняних компонентів, температури. Видно, що тут має місце невизначеність. Так же виглядають фактори впливу. Для покращення роботи класифікаторів необхідно удосконалювати їх теорію.

Ключові слова: односпіральний класифікатор, аналіз, структурні зв'язки, теорія, шляхи удосконалення.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-8-13

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Залізорудні концентрати, які виробляють в Україні, програють на міжнародному ринку в наслідок дещо завищеної собівартості порівняно з зарубіжними аналогами. Одним з факторів покращення цього показника може бути удосконалення роботи односпірального механічного класифікатора ІКСН-30, який отримав розповсюдження в замкнених циклах подрібнення вихідної руди в перших стадіях рудозбагачувальних фабрик і не забезпечує достатньої ефективності розділення готового та недоподрібненого продуктів, що приводить до значних перевитрат електроенергії і втрати корисних компонентів. Тому на ці невіршені задачі звертається увага в урядових документах, і такі роботи включаються в тематику наукових досліджень навчальних закладів. Прикладом цього є виконання тем «Автоматизація процесів керування розділенням твердого по крупності у механічних спіральних класифікаторах» (0115U003602) і «Моделювання технологічних процесів у механічних спіральних класифікаторах з метою вдосконалення математичних моделей» (0115U003962) в Центральноукраїнському національному технічному університеті.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідженням механічних односпіральних класифікаторів вчені займаються давно. Великий внесок в результати таких досліджень зробили Грінман І.Г., Козін В.В., Кочура С.В., Кошарський Б.Д., Купін А.І., Марюта О.М., Моркун В.С., Порку-

ян О.В., Тихонов О.М., Троп А.Е., А.Дж. Лінч, Дж. А. Хербст та інші. Серед останніх досліджень в Україні слід відмітити роботи [1-5]. Не дивлячись на великий обсяг проведених досліджень, системний аналіз роботи односпірального класифікатора як керованого об'єкта ніхто не здійснював. Тому він гальмує розвиток систем автоматичного керування першими стадіями подрібнення-класифікації вихідної руди на збагачувальних фабриках.

Постановка завдання. Метою роботи є проведення системного аналізу роботи механічного односпірального класифікатора як керованого об'єкта з тим, щоб намітити шляхи удосконалення керування технологічними процесами в ньому.

Викладення матеріалу та результати. В односпіральному класифікаторі практично не передбачене тонке розділення твердого за крупністю. В той же час у односпіральному класифікаторі виокремлюють зони, показані на рис.1 – прошарок постелі 1, накопичення осівших пісків 2, часток твердого, зважених дією механізму 3, та зони пульсацій, що рухається до зливного порога і створює горизонтальний потік 4 [6]. Імовірність попадання часток твердого в той чи інший шар з горизонтального турбулентного потоку визначається їх швидкістю відносно рідкого середовища. Більш крупні та/або щільні частки в нижній шар потоку попадають з більшою імовірністю [7]. Крім того, розрізняють перемішування пульпи в трьох наступних зонах (рис.1): зона А, що характеризується малою глибиною й інтенсивним перемішуванням пульпи; зона В – зона класифікації зерен при незначній інтенсивності перемішування; зона С з висхідними потоками [8]. В односпіральних класифікаторах також відмічаються великі запізнювання [9]. Раніше [10] вони приводилися більш конкретно. Час запізнювання зв'язку густина зливу – піски не перебільшує 1...2 хв., крупність руди – піски досягає 20...25 хв., а при більших циркулюючих навантаженнях – 35...40 хв. Перехідні процеси відрізняються значною тривалістю. Перехідний процес при зміні густини пульпи і подачі прирощення кількості води, що подається в класифікатор, триває більше години [11].

Продуктивність односпірального класифікатора і крупність розділення (рис.2) визначаються в основному площею дзеркала пульпи в технологічному агрегаті та швидкістю осідання часток твердого максимальної крупності, що направляються у злив. Швидкість осідання часток твердого залежить від густини пульпи в зоні класифікації. Чим гущіша пульпа, тим більша її в'язкість і тим менша швидкість осідання часток даного розміру. Тому густина зливу класифікатора, зв'язана з густиною пульпи в зоні класифікації, слугує головним фактором для оперативного регулювання роботи цих агрегатів [6]. Зміною подачі води в класифікатор можливо регулювати густину пульпи в злив. У звичайних умовах роботи варіюванням подачі води у ванну класифікатора можливо змінювати і крупність твердого в злив. Однак при сильному розрідженні зливу добавка води може викликати зворотний ефект – укрупнення твердого в наслідок зростання несучої швидкості потоку. На результати класифікації, крім того, впливають характеристики руди, особливо вміст глиняних компонентів, які збільшують в'язкість пульпи і зменшують швидкість осідання часток твердого. На цей процес також позначається змучувальна дія механізму класифікатора та температура пульпи, яка може змінюватись у достатньо широких межах як в наслідок сезонних особливостей, так і нагрівання пульпи в кульових млинах при подрібненні руди. Відповідно даним фабрики «Сілвер Белл» (штат Арізона), при проходженні через кульовий млин пульпа отримує 8091,8 ккал теплоти за хвилину, а приріст температури коливається від 3,7 до 5,6 °С. Встановлено, що у випадку більш твердої руди і збільшення циркулюючого навантаження, величина приростання температури пульпи дещо зменшується [10].

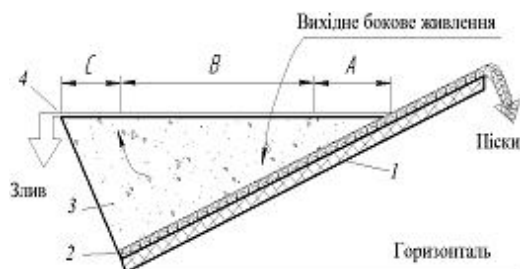


Рис.1. Характерні зони механічного односпірального класифікатора: А – зона інтенсивного перемішування; В – зона класифікації; С – зона висхідних потоків; 1 – постіль класифікатора; 2 – піски; 3 – зависло-рухомі у воді частки твердого; 4 – шар з найбільш дрібними фракціями твердого

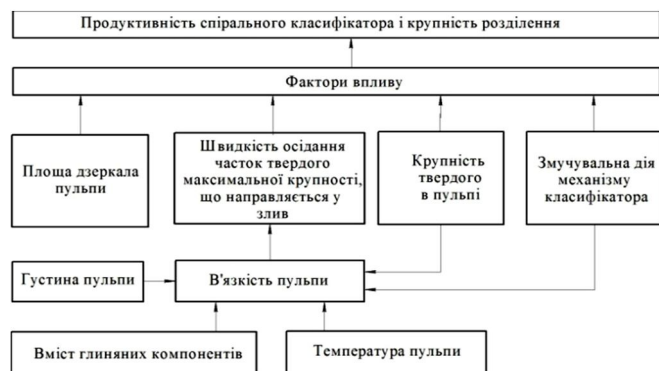


Рис.2. Структурні зв'язки між параметрами пульпи в процесі класифікації

На рис.2 прослідковується складність зв'язків між параметрами пульпи в процесі класифікації і можлива непередбачуваність результату при подачі додаткової води у ванну класифікатора.

У класифікаторі вхідний продукт розділяється на два – готовий продукт у зливів і піски (рис.3). Головними факторами, що впливають на готовий продукт є крупність зливу, вміст тонкодисперсних фракцій, густина вихідного матеріалу і тип руди або суміші руд. Головними факторами, які визначають циркулююче навантаження, є продуктивність за живленням, крупність, твердість руди та вміст твердого у зливів класифікатора.

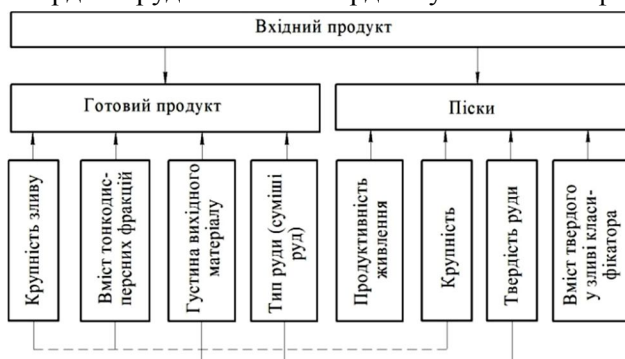


Рис.3. Структура факторів впливу при розділенні вхідного продукту на готовий і піски в механічному односпіральному класифікаторі

Як видно з рис.3, зв'язки між факторами впливу складні. Залежність між циркулюючим навантаженням і густиною зливу класифікатора виражена дуже різко: зміна на 1% вмісту твердого в зливів змінює піськове навантаження на 12...18% [10]. Зафіксовані й інші дані. Експериментально встановлено, що зміна густини зливу класифікатора на 1%

викликає зміну кількості циркулюючих пісків до 30% [11]. З розглянутого видно, що керування розділенням за крупністю в механічному односпіральному класифікаторі є достатньо складною задачею. На це вказує і ряд авторів [12]. Традиційно регулюють густину пульпи у зливів класифікатора подачею води у його ванну [13]. Стабілізація циркулюючого навантаження має додатковий технологічний зміст. Відомо [14], що оптимальні умови подрібнення в кульових млинах забезпечуються при циркуляційному навантаженні, яке дорівнює відношенню середньої крупності вихідної руди і пісків. Однак спосіб стабілізації крупності в зливів шляхом регулювання циркулюючого навантаження відрізняється низькою чутливістю щодо густини пульпи в цій технологічній точці. Тому певний ефект в цьому може бути досягнутий лише за умов стійкої характеристики продуктів подрібнення відносно крупності [13]. Регулювання подачі води в класифікатор відносно густини пульпи у зливів має деякий зміст – дещо покращує злив [15]. Однак регулювання кількості води, що подається у класифікатор, не може стабілізувати замкнений цикл млин-класифікатор, оскільки управління здійснюється з великим транспортним запізнюванням, а зміна гранулометричного складу пульпи на вході носить стохастичний характер [9]. Крім цього треба враховувати, що при магнітному збагаченні руд зі змінною крупністю вкраплення магнетиту регулювання густини зливу є неефективним, оскільки не забезпечує оптимізацію крупності подрібнення руди [16]. Для покращення роботи односпіральних класифікаторів рекомендують два керуючих впливи, наприклад, стабілізацію додатковою водою та незалежне перемішування, однак це вступає в протиріччя, оскільки в таких технологічних агрегатах на початку здійснюється вибір інтенсивності перемішування та висоти порога [16]. Враховуючи це, ще в 1964 році пропонують вводити деякі прості зміни в конструкцію механічних спіральних класифікаторів [15], однак тривалий час така робота не здійснюється. Лише в останні роки зроблені спроби таких удосконалень. Наприклад, в Гірничому віснику Узбекистану №2 за 2013 рік сказано наступне: «Підвищення продуктивності і якості роботи спіральних класифікаторів досягається простим і діючим способом, перевіреним багаторічною практикою, – борти класифікатора нарощуються, розпочинаючи зі зливної течки на 2/3 довжини, на висоту 250...300 мм, а зливні пороги нарощуються на 150...200 мм. Результатом стає збільшення робочого об'єму класифікатора, заспокоєння пульпи в зоні розвантаження і відповідно покращення процесу та результатів класифікації [17]. Ще один приклад. Крайні показники подрібнення і класифікації досягнуті при збільшенні висоти зливного порога класифікатора на 250 мм. Масова частка класу крупності менше 0,045 мм у зливів класифікатора підвищувалася з 46,7% при базовому варіанті до 51,9% при висоті порога, збільшеній на 250 мм. Ефективність класифікації односпірального класифікатора при цьому зросла з 43,54% до 51,21%. Питома продуктивність рудного млина відповідно класу крупності менше 0,045 мм збільшилась з 0,66 т/м³·г при базовому рівні порога до 0,76 т/м³·г при збільшеній на 250 мм висоті порога. Вміст шламів, які не піддаються флотації, крупністю до 0,010 мм в зливів класифікатора знизився з 18,16% до 14,07%. Витрата електроенергії рудного млина на 1 т готового продукту

зменшилася з 28,5 до 24,7 кВт/г [18]. Як видно, знайдені навіпамацки підходи дають вагомі результати. Ще однією вагомою задачею, яка потребує розв'язання, стало попадання крупних зерен у злив односпірального класифікатора. Це можливо при збільшенні частоти обертання спіралі, коли інтенсифікується перемішування пульпи і в злив потрапляє більш крупний матеріал [19]. Крім того, турбулентність рудної пульпи, що створюється рухомою спіраллю, приводить до скаламучування осілих на дно корпусу часток і підвищення швидкості потоку зливу в центральній і правій частинах зливного порога класифікатора. У зв'язку з цим некондиційні за крупністю і масовою часткою заліза мінеральні зерна – піски потрапляють у злив, знижуючи ефективність класифікації [20]. Крім цього ефект укрупнення часток твердого у зливі класифікатора може виникнути при сильному розрідженні зливу в наслідок збільшення несучої швидкості потоку [11]. Прийом позбавлення укрупнення зливу односпірального класифікатора також знайдено навіпамацки каскадним збільшенням висоти окремих зон зливного порога. При цьому збільшилися циркуляційне навантаження від 231,8 до 265,5%, питома продуктивність млина за класом крупності менше 0,071 мм від 1,61 до 1,73 т/м³·г; ефективність класифікації від 35,5% до 54,8% [20]. Знову отримані відчутні результати. Як видно, технологічне регулювання односпіральним класифікатором в ручному режимі є достатньо складною задачею і має порівняно невисокі показники навіть у випадку досвідчених операторів. Тому паралельно проводились роботи з розробки автоматичних засобів керування. Визначалися передаточні функції односпірального класифікатора. Передатна функція спільного класифікатора як відношення зображення за Лапласом зміни густини зливу до зображення за Лапласом зміни витрати води в його ванну дорівнює [21]

$$W(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1} - \frac{k_2}{T_2 p + 1}, \quad (1)$$

де k_1, k_2 – коефіцієнти передачі; T_1, T_2 – сталі часу.

Перехідний процес відповідно густині зливу визначається співвідношеннями k_1 і k_2 , а також T_1 і T_2 . Оскільки, очевидно, що $T_1 < T_2$, то спочатку густина зростає при збільшенні витрати води і лише потім спадає завдяки тому, що $k_2 > k_1$.

Передатна функція класифікатора в каналі «витрата води в класифікатор – об'ємна витрата зливу» має наступне значення [22]

$$W(p) = \frac{1}{T_{кл} p + 1}, \quad (2)$$

де $T_{кл}$ – стала часу класифікатора в цьому каналі, що залежить від гідравлічних властивостей керованого об'єкта.

Встановлено [22, 23], що механічний односпіральний класифікатор є нелінійним керованим об'єктом, однак до нього використовувалися лінійні підходи і принцип керування за відхиленням, не дивлячись на великі запізнювання та сталі часу. Системи автоматичного керування механічним односпіральним класифікатором створювалися на базі датчиків крупності зливу, однак, враховуючи тісний кореляційний зв'язок гранулометричного складу і густини, замість датчиків крупності використовували засоби контролю густини [13]. Враховуючи недосконалість таких систем керування, отримували низьку якість відділення готового продукту від крупного та низьку ефективність класифікації.

Такий стан справ склався в наслідок незадовільності теорії класифікації в механічних односпіральних класифікаторах. Відома теорія механічних класифікаторів, запропонована на початку 60-х років минулого століття Олевським В.А., занадто проста. Відповідно їй розділення часток твердого за крупністю пояснюється різною швидкістю їх падіння в пульпі. Дрібні частки твердого не встигають випасти нижче рівня зливу і виносяться течією, а крупні випадають на дно. В роботі [24] також вказується, що розділення матеріалу вздовж вертикалі ванни класифікатора відбувається не в однакових умовах. Верхня частина пульпи більш розріджена, а в її нижній частині відбувається масове стиснене осадження мінеральних зерен. Тому теорія розділення зерен відповідно швидкості вільного падіння не може повністю пояснити процес класифікації. За цілим рядом причин ця теорія виявляється зовсім незадовільною [15]. Висновки, які слідують з неї часто вступають у протиріччя з експериментальними даними. Наприклад, згідно теорії розділення часток твердого за крупністю повинно бути різким, в той час як фактично воно є розмитим. Відповідно теорії повинна зростати крупність у зливі при збільшенні швидкості течії, на практиці цей зв'язок виявляється зворотним та ін. [15]. Зроблена спроба [23] розро-

бки структурної схеми односпірального класифікатора, але вона в наслідок недосконалості не дає позитивних результатів і потребує доопрацювання. Зважаючи на це, необхідно переглянути основні теоретичні передумови теорії механічних односпіральних класифікаторів. Необхідно більше уваги приділити динамічній рівновазі між перемішуванням і гравітаційним випадінням часток твердого. Оскільки перемішування є суттєвим фактором, що викликає зменшення згідно експериментальним даним крупності зливу при зменшенні густини, в теорію для отримання якісних і кількісних характеристик процесу класифікації необхідно ввести даний розділ. Враховуючи, що в практиці збагачення руд здійснюється вибір інтенсивності перемішування і висоти зливного порога при налагодженні роботи класифікатора, необхідно передбачити можливість певних змін в конструкції односпірального класифікатора. Варто звернути увагу і на зміну принципів керування механічним односпіральним класифікатором з тим, щоб підвищити якість функціонування технологічного агрегату, який працює за складних умов зміни гідравлічних характеристик і з великими запізненнями та сталими часу.

Висновки та напрямок подальших досліджень. В результаті проведення системного аналізу роботи односпірального класифікатора як керованого об'єкта встановлено структурні зв'язки між параметрами пульпи в процесі класифікації та структура факторів впливу при розділенні вхідного продукту, які показують надзвичайну складність цих процесів і неможливість спрощеної теорії, що запропонована на початку 60-х років минулого століття Олевським В.А., дати відповіді на питання практики, що виникають.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що запропоновано шляхи удосконалення теорії класифікації продуктів в односпіральних класифікаторах, а саме: перегляд основних теоретичних передумов теорії механічних односпіральних класифікаторів; описання динамічної рівноваги між перемішуванням і гравітаційним випадінням часток твердого; розвиток теоретичного обґрунтування теорії перемішування пульпи; обґрунтування параметрів налагодження односпірального класифікатора; розроблення більш ефективного принципу керування механічним односпіральним класифікатором.

Практична цінність роботи полягає в тому, що запропоновано конкретні шляхи удосконалення теорії механічних односпіральних класифікаторів, що дозволить суттєво покращити ефективність в межах першої стадії подрібнення руди.

Перспективою подальших розробок є створення певних теоретичних положень та удосконалення систем керування механічним односпіральним класифікатором.

Список літератури

1. **Моркун В.С.** Формирование робастного автоматизированного управления замкнутым циклом измельчения на основе Н ∞ -нормы / **В.С. Моркун, Н.В. Моркун, В.В. Тронь** // Гірничий вісник. – 2014. – Вип. 98. – С.83-85.
2. Ультразвуковой контроль характеристик измельченных материалов в АСУ ТП обогащительного производства / **В.С. Моркун, В.Н. Потапов, Н.В. Моркун, Н.С. Подгородецкий.** – Кривой Рог: Изд. центр КТУ, 2007. – 283 с.
3. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / **А.І. Купін** – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008. – 204с.
4. **Моркун Н.В.** Розподілене оптимальне керування взаємпов'язаними процесами збагачувального виробництва на основі динамічної просторово-часової моделі: дис. ... доктора техн.наук: спец. 05.13.07 «Автоматизація процесів керування» / **Моркун Наталія Володимирівна.** – Кривий Ріг, 2017. – 357 с.
5. **Азарян А.А.** Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / **А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. – Вип.36. – С.276-280.
6. **Зверевич В.В.** Основы обогащения полезных ископаемых / **Зверевич В.В., Перов В.А.** М.: Недра, 1971. – 216 с.
7. **Пилов П.И.** Гравитационная сепарация полезных ископаемых / **П.И. Пилов** Днепропетровск: Нац. горн. ун-т, 2003. – 123 с.
8. **Смирнов В.О.** Гравітаційні процеси збагачення корисних копалин / **В.О. Смирнов** Донецьк: ДонНТУ, 2008. – 129 с.
9. Автоматизация управления обогащительными фабриками: Изд.2, перераб. и доп. / **Кошарский Б.Д., Ситковский А.Я., Красномовец А.В. и др.** – М.: Недра, 1977. – 527 с.
10. **Кошарский Б.Д.** Автоматизация обогащительных фабрик / **Б.Д. Кошарский, Г.Н. Рабинович, А.В. Красномовец, А.Я. Ситковский.** – М.: Недра, 1966. – 412 с.
11. **Бойбутаев С.Б.** Система управления процессом измельчения руды / **С.Б. Бойбутаев** // Современные материалы. Техника и технологии, 2016. – №5 (8). – С.20-27.
12. **Маляров П.В.** Основы интенсификации процессов рудоподготовки / **П.В. Маляров.** – Ростов-на-Дону: ООО «Ростгиздат», 2004. – 320 с.
13. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / **[Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др].** – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.

14. **Марюта А.Н.** Автоматическая оптимизация процесса обогащения руд на магнитно-обогажительных фабриках / **А.Н. Марюта** // – М.: Недра, 1975. – 303 с.
15. **Гринман И.Г.** Автоматизация процессов обогащения руд цветных металлов / **И.Г. Гринман**. – Алма-Ата: Изд. Акад. наук Казахской ССР, 1964. – 218 с.
16. **Убай Юсеф Саламах Аль Мададха.** Система автоматической оптимизации крупности помола руды в замкнутом цикле измельчения / **Убай Юсеф Саламах Аль Мададха** // Гірнична електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ: НГУ, 2008. – №81. – С.120-124.
17. **Воробьев А.Е.** Повышение эффективности работы отделения дробления и измельчения золотоизвлекательной фабрики / **Воробьев А.Е., Аникин А.В.** // Geotехnologia / Геотехнология. Горный вестник Узбекистана, 2013. – №2(53). – С.39-43.
18. **Габец С.В.** Повышение эффективности спирального классификатора и применение автоматизированных гидроциклонных установок на норильских обогажительных фабриках / **Габец С.В., Асламов А.А., Габец В.С.** // Вестник АГТА, 2009. (Том 3). – №1. – С.22-23.
19. **Верхотуров М.В.** Гравитационные методы обогащения / **М.В. Верхотуров** М.: МАКС Пресс, 2006. – 352 с.
20. **Сметанин В.А.** Способ повышения эффективности гидравлической классификации в спиральных классификаторах ДОФ-5 РОФ ОАО ММК / **В.А. Сметанин, А.В. Путятю, В.В. Иващенко, В.П. Лобанова** // Сталь, 2015. – №7. – С.10-11.
21. **Козин В.З.** Автоматизация производственных процессов на обогажительных фабриках / **Козин В.З., Троп А.Е., Комаров А.Я.** – М.: Недра, 1980. – 336 с.
22. **Троп А.Е.** Автоматическое управление технологическими процессами обогажительных фабрик / **Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В.** – М.: Недра, 1986. – 303 с.
23. **Гринман И.Г.** Контроль и регулирование гранулометрического состава продуктов измельчения / **Гринман И.Г., Блях Г.И.** – Алма-Ата: Наука, Казахской ССР, 1967. – 115 с.
24. **Фоменко Т.Г.** Гравитационные процессы обогащения полезных ископаемых / **Т.Г. Фоменко**. – М.: Недра, 1966. – 332 с.

Рукопис подано до редакції 19.03.2019

УДК 331.452

Т. М. ТАІРОВА, канд. хім. наук, ст. наук. співроб.,

ДУ «Національний науково-дослідний інститут промислової безпеки та охорони праці», м. Київ

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ОХОРОНА ПРАЦІ ВУГІЛЬНОЇ ГАЛУЗІ

Мета. Підвищення результативності функціонування СУОП та її підсистеми – системи охорона праці у вугільній галузі.

Методи дослідження. У статті використано метод системного аналізу для аналізу СУОП і її підсистеми - системи охорона праці та метод математичного моделювання.

Наукова новизна. Вперше побудована математична модель системи охорона праці вугільної галузі, яка на відміну від відомих кількісно оцінює кожну підсистему охорони праці: економічну, правову, технічну, організаційну та санітарно-гігієнічну, що дозволяє визначити результативність функціонування як кожної підсистеми, так і системи охорона праці в цілому, і розробити науково обґрунтовані заходи, спрямовані як на стабілізацію системи, так і на підвищення результативності її функціонування.

Практична значимість. Розроблено оцінчні показники для кожної підсистеми охорона праці для вугільної галузі, побудовано математичні моделі системи охорони праці, що враховують дії або бездіяльність основних учасників трудового процесу - працівника і роботодавця. Визначено чинники, що викликають порушують режимів функціонування системи охорони праці, а також ті чинники, що дозволяють стабілізувати систему і підвищити результативність її функціонування. Кількісно оцінено ризик настання нещасних випадків на підприємствах вугільної галузі через дію або бездіяльність працівника і роботодавця. Запропоновано заходи підвищення результативності СУОП, засновані на результатах математичного моделювання системи охорони праці та оцінки впливу на результативність її функціонування факторів зовнішнього і внутрішнього середовища. Отримані результати дають можливість уніфікувати і регламентувати порядок розробки науково обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на підвищення результативності функціонування системи охорони праці та відповідно СУОП вугільної галузі.

Результати. Запропоновано метод оцінки технічної, організаційної та санітарно-гігієнічної підсистем системи охорона праці, який дозволяє на основі статистичних даних про виробничий травматизм у вугільній галузі та причин його виникнення кількісно оцінювати дії або бездіяльність осіб, які допустили порушення нормативних актів з охорони праці, використовувати отримані дані для побудови математичної моделі системи охорона праці та розробити відповідні заходи, спрямовані на підвищення її результативності.

Ключові слова: система охорони праці, фактори зовнішнього і внутрішнього середовища, математична модель, виробничий травматизм, ризик.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-13-18