

**ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ СИЛОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПРИ
КЕРУВАННІ АСИНХРОННИМ ЕЛЕКТРОДВИГУНОМ**

Мета. Метою статті є визначення теплових режимів силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна і технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Розробити методіку для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна та виконати моделювання його роботи асинхронного електродвигуна і перевірити експериментально отримані результати на адекватність.

Методи дослідження. Дається метод аналітичних розрахунків і фізичне моделювання теплових режимів силових елементів перетворювачів з урахуванням їх параметрів, номінального, пускового та гальмівного режимів роботи електродвигуна та електроприводу. Основним критерієм для розрахунку теплових режимів силових елементів перетворювача, який визначає граничне значення робочих параметрів силових резисторів і тиристорів резисторно-тиристорних модулів, є температура р-п переходу тиристора. Якщо значення цієї температури не перевищить максимально допустиму температуру напівпровідникової структури тиристора, він забезпечить надійну роботу керованого ним асинхронного електродвигуна.

Наукова новизна. Уперше запропоновано інженерну методіку для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна і електроприводу. Для систематизованого аналізу та отримання раціональних варіантів силових схем перетворювачів використано узагальнену схему управління асинхронним двигуном та її математичний опис. На основі розробленої інженерної методіки узагальнена схема доповнена підпрограмою для розрахунку теплових параметрів силових напівпровідникових елементів перетворювачів. Це дало можливість ефективно використовувати при проведенні досліджень ЕОМ.

Практична значимість. У роботі виконано моделювання на ЕОМ роботи асинхронного електродвигуна при визначенні теплових характеристики силових елементів перетворювача і перевірено експериментально отримані результати на адекватність та встановлено, якщо знизити робочу температуру структури напівпровідникового приладу на 15 %, то інтенсивність відмов знизиться в два рази.

Результати. Визначено, що основним критерієм для вибору типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елементу. Запропоновано математичні вирази для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна. Інженерна методіка для аналітичного розрахунку теплових параметрів напівпровідникових елементів із достатньою точністю (не більше 10%) дає можливість визначити тепловий режим напівпровідникових елементів перетворювачів залежно від режиму роботи електроприводу робочого механізму та обчислити максимальну - допустиму температуру в інтервалі робочого циклу. Отримані результати аналітичного розрахунку теплових режимів резисторів та тиристорного перетворювача, підтверджені експериментальними дослідженнями. Інженерна методіка і експериментальні дослідження можуть бути використані при проектуванні та експлуатації перетворювачів для керування асинхронними електродвигунами в структурі електроприводів загальнопромислового використання.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, перетворювач, силові елементи, резисторно-тиристорні модулі, тепловий режим, розрахунки.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-44-50

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. На сьогоднішній день серед найбільш актуальних проблем на підприємствах є збільшення кількості завдань щодо більш раціонального використання робочого механізму (РМ). Тому одні розробники займаються удосконаленням конструкцій РМ, що дозволяють підвищити їх продуктивність і надійність роботи при зниженні масо-габаритних розмірів і енергоспоживання, а інші для досягнення тієї ж мети вдосконаляють автоматизовані системи управління [1]. Управління РМ найчастіше полягає в забезпеченні пускових і гальмівних режимів електродвигунів, що приводять у дію тягові органи РМ. Однак сучасний автоматизований електропривод РМ - це регульований електропривод, в яких використовуються асинхронні електродвигуни (АД) із короткозамкненим або фазним ротором, керовані різними типами перетворювачами, в силових ланцюгах яких застосовуються безконтактні силові елементи: діоди, тиристори, симістори, тощо. До перетворювачів, що керують АД у складі електроприводу РМ, пред'являються також все більш високі вимоги щодо забезпечення швидкодії, точності, отримання максимальної частоти включення і надійності його роботи. При забезпеченні цих показників важливу роль відіграє тепловий режим

силових напівпровідникових елементів перетворювачів (СЕР), обумовлений завантаженням цих елементів по струму. Ступінь нагріву СЕР значно залежить від режиму РМ і відповідно роботи АД (тривалий, повторно-короткочасний, короткочасний). Особливо небезпечними є перехідні режими під час виконання пуско-гальмових режимів АД, і відповідно перетворювача, при яких нагрітий СЕР зі зниженими граничними значеннями параметрів отримує тепловий удар. Згідно досліджень [2,3], майже 60% виходів з ладу СЕР пристроїв перетворювальної техніки пов'язані з перегрівом. Для того, щоб забезпечити безаварійність роботи СЕР перетворювача, необхідно визначити допустимі значення параметрів теплових режимів роботи. У зв'язку з цим завдання дослідження теплових режимів СЕР із урахуванням режиму роботи АД і РМ мають актуальне значення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У дослідженні [4] показано, що внаслідок значного теплового опору між кристалом та корпусом та малої теплової ємності кристалів спостерігається сплеск температури переходів напівпровідника. Під час пуску перетворювача, при повторно-короткочасних або гальмових режимах роботи АД температура кристалу напівпровідникового СЕР, що використовується у перетворювачі, може суттєво перевищувати температуру на корпусі [5], яку в інженерних розрахунках практично не враховують. СЕР не можуть протистояти струмам, що виникають при короткому замиканні [6]. Тому для перетворювачів, що мають високі показники перегріву і працюють в екстремальних режимах роботи, дослідники пропонують розраховувати максимальний час безперервної роботи, а також час повторного ввімкнення, щоб при вмиканні пристрою СЕР не були нагрітими [7]. В таких режимах роботи СЕР з певним навантаженням повинні чергуватися з паузами.

При дослідженні режимів пуску і гальмування АД із вибраним типом перетворювача з успіхом використовують ЕОМ [8-10]. Проте при моделюванні не враховується ступінь нагріву СЕР перетворювачів. В той же час у роботі [11] у програмному середовищі LABVIEW визначаються характеристики СЕР у стані низької провідності, але модель не враховує режими роботи перетворювача. У роботах [12] і [13] автори відповідно пропонують методики для аналізу теплової деградації напівпровідникових приладів при впливі електромагнітних випромінювань різної форми на основі об'ємної теплової моделі та розрахунку температури напівпровідникової структури СЕР в умовах їх роботи в комутаційних при дії на них короткочасних імпульсів потужності довільної форми. Відома також методика розрахунку, що дозволяє визначити наступні важливі параметри та елементи напівпровідникових апаратів: номінальний струм, номінальний робочий струм, типи тиристорів, циклостійкість цих тиристорів, а також перевантажувальну спроможність за струмом апарата [14]. Однак робота перетворювача при різних режимах роботи АД з урахуванням температурного режиму СЕР у відомих дослідженнях не розглядається. Одним із шляхів усунення цих недоліків є аналіз існуючих у вітчизняній та зарубіжній практиці різних варіантів силових схем перетворювачів із використанням експериментальних досліджень. Однак, цей шлях, як відомо не дає однозначної відповіді на це завдання. Проте такий аналіз може привести до невірних результатів, оскільки застосування тієї чи іншої силової схеми визначається технічними та економічними умовами стосовно роботи перетворювача, АД і РМ [15,16].

Постановка завдання. Метою статті визначення теплових режимів силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна и технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Це дозволить впливати на вибір типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном. Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

розробити методику для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна;

виконати моделювання роботи асинхронного електродвигуна і перевірити експериментально отримані результати на адекватність.

Викладення матеріалу та результати. Для систематизованого аналізу та отримання раціональних варіантів силових схем перетворювачів використаємо узагальнену (загальну) схему управління асинхронним двигуном та її математичний опис, який доповнений підпрограмою розрахунку теплових параметрів СЕР та ефективно використовувати при проведенні досліджень ЕОМ [17]. Основним критерієм для вибору перетворювача у вказаній підпрограмі, що

визначає граничне значення робочих параметрів СЕП, є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елемента. До граничне значень робочих параметрів СЕП (діодів, тиристорів, симисторів), які необхідно контролювати, відносяться: максимально допустимий середній струм при певній температурі; ударний струм короткого замикання, максимально допустима амплітуда прямого струму тривалістю 10 мс, при роботі у режимі перевантаження під час аварії, це струм, внаслідок якого температура виходить за рамки максимально допустимої, захисний показник $\int i^2 dt$ – значення інтегралу квадрату ударного струму по часу; максимальне значення імпульсної напруги; напруга пробою активних елементів; час вмикання/вимикання активних елементів [16]. Використання узагальнена схема управління АД дозволяє врахувати граничні значення робочих параметрів СЕП, що входять у перетворювач, створити загальний алгоритм управління і ефективно використовувати аналітичні методи розрахунку для вибору силової схеми перетворювача в залежності від технічних умов, що пред'являються до роботи робочого механізму.

У підпрограму розрахунку теплових параметрів СЕП, що входить до узагальненої схеми управління асинхронним двигуном, покладена інженерна методика, яка заключається у наступному. Для пояснення цієї методики розглянемо приклад використання для управління АД перетворювача, до складу якого входять комутатори з резисторно-тиристорними модулями (РТМ). Основним критерієм, що визначає граничне значення робочих параметрів РТМ, є температура переходу силових елементів, що входять у РТМ. Якщо значення цієї температури не перевищує гранично-допустиму температуру напівпровідникової структури, то перетворювач забезпечить роботу АД, керованого ним.

Загальний час роботи АД у складі електропривода РМ, тай час роботи РТМ, визначається сумою часів пуску - t_n , тривалістю роботи - $t_{роб}$ і гальмування - t_z

$$t_p = t_n + t_{роб} + t_z. \quad (1)$$

Тривалість включення АД або РТМ із рівняння (1), визначається так

$$E = \frac{t_p}{t_p + t_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де t_0 - час паузи (зупинки).

При заданому числі включень електропривода РМ в час (N) загальна тривалість циклу дорівнює

$$t_u = t_p + t_0 = \frac{3600}{N}. \quad (3)$$

Тоді тривалість роботи комутатора та відповідно елементів РТМ

$$t_p = \frac{3600 E \%}{N}. \quad (4)$$

При роботі АД притаманні кратності пускових і гальмівних струмів, що відповідно дорівнюють

$$K_{II} = \frac{I_{II}}{I_H}; K_z = \frac{I_z}{I_H}, \quad (5)$$

де I_H , I_{II} , I_z - відповідно номінальний, пусковий і гальмівний струми.

Середні значення струму, що протікає через СЕП перетворювача із урахуванням (1-5), визначається таким чином

$$I_{cp} = \frac{N \cdot I_H}{3600} \left[t_n (K_{II} - 1) + t_z (K_z - 1) + \frac{3600 E \%}{N} \right]. \quad (6)$$

Використовуючи середнє значення струму I_{cp} , визначаємо середнє значення потужності втрат на СЕП, яка дорівнює сумі основних $\Delta P_{осн}$ і додаткових $\Delta P_{дон}$ втрат

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{осн} + \Delta P_{дон}. \quad (7)$$

У виразі (7) основні втрати з урахуванням (6) визначаємо за формулою [18]

$$\Delta P_{осн} = U_0 I_{cp} + K_{\phi}^2 I_{cp}^2 R_{Д}, \quad (8)$$

де K_ϕ - коефіцієнт форми струму, U_0 ; R_d - порогова напруга і динамічний опір граничної прямої вольт-амперної силового напівпровідникового елемента перетворювача.

Додаткові втрати у (7) складаються із середніх потужностей управління, зворотного струму, при включенні та виключенні РТМ, тощо. Тоді сумарні втрати із урахуванням (8) визначаються виразом

$$\Delta P_\Sigma = \frac{U_0 N I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] + K_\phi^2 R_d \left\{ \frac{N \cdot I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] \right\}^2. \quad (9)$$

Знаючи середнє значення потужності, можна визначити дійсне значення температури із урахуванням режиму робіт АД

$$Q_p = Q_c + r_T \Delta P_\Sigma, \quad (10)$$

де Q_c - температура зовнішнього середовища; r_T - внутрішній перехідний тепловий опір напівпровідникового елемента РТМ.

Представляючи отриманий вище вираз (9), отримаємо

$$Q_p = Q_c + \frac{r_T U_0 N I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] + r_T K_\phi^2 R_d \left\{ \frac{N \cdot I_H}{3600} \left[t_{II} (K_{II} - 1) + t_T (K_T - 1) + \frac{36 ПВ\%}{N} \right] \right\}^2. \quad (11)$$

Перехідний тепловий опір напівпровідникового елемента РТМ для стандартних охолоджувачів вибирається за інформаційними матеріалами, а не стандартними - використовуємо вираз

$$Q_p = Q_k + r_e \Delta P. \quad (12)$$

Для виразу (11), аналітичним шляхом на ПЕОМ для різних значень струмів, числа і тривалості включень РМ визначені значення температур СЕП. Результати цих досліджень наведені на рис. 1 із урахуванням трьох різних режимів роботи РМ. Перший режим РМ (рис. 1, режим 1) є тривалим, у ньому середнє значення струму рівне ефективному значенню струму і максимальна температура не перевищує допустиму температуру за технічними умовами на напівпровідниковий елемент (тиристор).

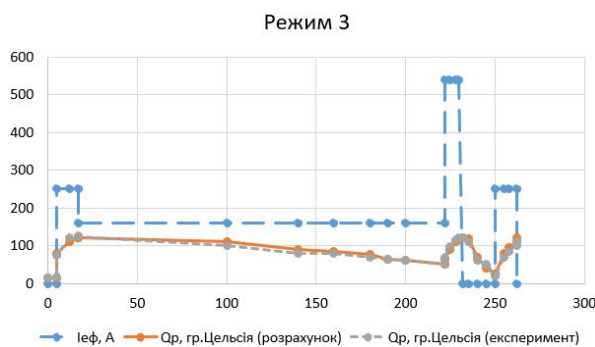
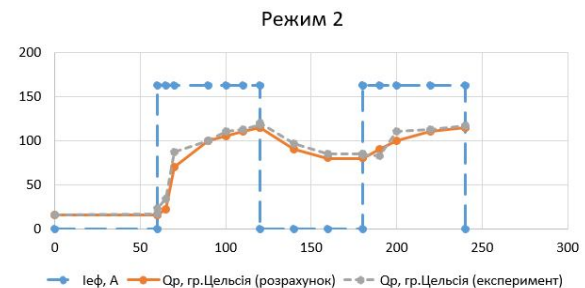
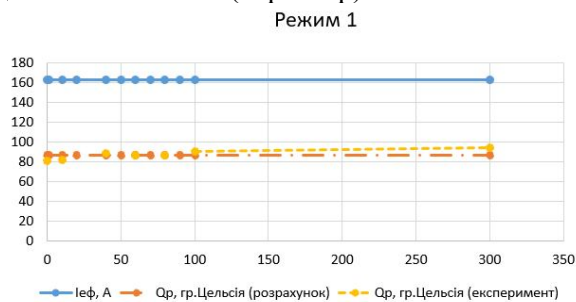


Рис. 1. Режими роботи СЕП

Режим другий (рис. 1, режим 2) є повторно-короткочасним при тривалості включення РМ, рівною 40%, і частоті включень, рівною 400. У цьому режимі температура на переході напівпровідникового елемента у 115°C досить близько наближається до гранично допустимої у 125 °C. Третій режим РМ (рис. 1, режим 3) характерний наявністю пускового режиму тривалістю 12 с, тривалого режиму, рівного 205 с, і гальмівного режиму тривалістю 7 с із періодом повторення, рів-

ним 260 с. Максимальна температура у третьому режимі досягає максимальної температури, рівної 121°C.

Для підтвердження вірності аналітичних досліджень розроблена експериментальна лабораторна установка, в якій вимірювалася температура нагріву корпусів тиристорів РТМ. Тут температура тиристорів визначалася за допомогою спеціальних пристроїв при створенні штучного режиму. Методика виміру температури здійснювалася за допомогою термопар, закладених у отвір корпусу тиристора у районі р-п переходу, а точний нагрів напівпровідникового переходу визначався непрямим шляхом, використовуючи формулу (12). Відмінною особливістю розглянутої методики виміру є вимірювання температури безпосередньо у районі напівпровідникового переходу тиристора.

Висновки та напрямок подальших досліджень

1. Використання узагальненої схеми управління асинхронним двигуном та її програмного забезпечення з доповненою підпрограмою розрахунку теплових параметрів СЕП дозволило на ЕОМ визначити теплові характеристики силових елементів перетворювача з урахуванням режимів роботи асинхронного електродвигуна и технічних вимог, що пред'являються до керування електроприводу робочого механізму. Це дозволить впливати на вибір типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном.

2. Визначено, що основним критерієм для вибору типу перетворювача для управління асинхронним електродвигуном є температура переходу силових напівпровідникових елементів. Значення цієї температури не повинно перевищувати гранично-допустиму температуру на переході напівпровідникового елемента.

3. Запропоновано математичні вирази для визначення температури нагріву силових напівпровідникових елементів, що входять до складу перетворювача, при різних режимах роботи асинхронного електродвигуна. Запропонована методика для аналітичного розрахунку теплових параметрів напівпровідникових елементів із достатньою точністю (не більше 10%) дає можливість визначити тепловий режим напівпровідникових елементів перетворювачів залежно від режиму роботи електроприводу робочого механізму та обчислити максимальну - допустиму температуру в інтервалі робочого циклу.

4. Виконано моделювання на ЕОМ роботи асинхронного електродвигуна при визначенні теплових характеристики силових елементів перетворювача і перевірено експериментально отримані результати на адекватність. Встановлено, якщо знизити робочу температуру структури напівпровідникового приладу на 15 %, то інтенсивність відмов знизиться в два рази.

Отримані результати можна використовувати при проектуванні нових типів перетворювачів для управління асинхронних електродвигунів і при їх промисловій експлуатації.

Список літератури

1. **Lobov V.** Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine. **Lobov V., Lobova K., Koltiar** // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No 4, p. p. 34-38.
2. **Du, B.** Transient Electrothermal Simulation of Power Semiconductor Devices / **B. Du, J. Hudgins, E. Santi, A. Bryant, P. Palmer, H. Mantooh** // IEEE Trans. Power Electron., vol. 25, no. 1, 2010. p.p. 237-248.
3. **Merrickh, A. A.** Compact thermal modeling methodology for predicting skin temperature of passively cooled devices / **A. A. Merrikh** // Applied Thermal Engineering, vol. 85, Jun. 2015, p.p. 287-296.
4. **Сосков А.Г., Соскова И.А.** Полупроводниковые аппараты: коммутация, управление, защита. Учебник (под ред. А.Г. Соскова). – К: Каравелла, - 2005. - 344 с.
5. **R. Baraniuk** Calculation of pulce converters electrothermal processes purposely to heat protection application / **R. Baraniuk, V. Todorenko, D. Ushakov** // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016.
6. **Кошелев К. С.** Исследование и разработка средств защиты статического компенсатора реактивной мощности с цифровой системой управления: автореф. дисс. на соискание уч. степени к.т.н.: спец. 05.09.01. «Электромеханика и электрические аппараты» / **К. С. Кошелев.** – Москва, - 2008. – 20 с.
7. **Розанов Ю. К., Соколова Е. М.** Электронные устройства электромеханических систем. М.: Академия, - 2004. – 272с.
8. **Петрушин В.С., Якимец А.М., Бангула В.Б.** Анализ пуска асинхронного двигателя с помощью тиристорного преобразователя напряжения // Електротехніка і електромеханіка. – 2012. – №6. – С. 31-33.
9. **Фигаро Б.И.** Применение устройств плавного пуска и торможения асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором в электроприводах крановых механизмов передвижения / **Б.И. Фигаро, Д.С. Васильев** // Електротехнические и компьютерные системы. – 2011. - №4. – С.30-38.
10. **Lobov Vyacheslav.** (2015). Method for research of parametric control schemes by asynchronous motor. Metallurgical and Mining Industry, No.6, p.p.102-108.
11. **Капитонов С. С.** Определение характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой

проводимости с помощью программной среды LABVIEW / Н. Н. Беспалов, М. В. Ильин, С. С. Капитонов // Инженерные, научные и образовательные приложения на базе технологии National Instruments – 2012: сб. науч. тр. – М., - 2012. – Вып. XI. – С. 354-356.

12. Кучер Д.Б. Моделювання теплових пошкоджень напівпровідникових приладів імпульсним електромагнітним випромінюванням різної форми / Д.Б. Кучер, С.В., Тараненко, Л.В. Литвиненко, Т.В. Зонтова // Системи обробки інформації. 2013, випуск 7 (114) - С. 40-49.

13. Сосков А.Г. Анализ методов расчёта температуры полупроводниковой структуры силовых полупроводниковых приборов в условиях их работы в коммутационных полупроводниковых аппаратах / Сосков А.Г., Рак Н.О., Соскова И.А. // Электротехника і Електромеханіка. 2008. №1 –С.49-52.

14. Сосков А.Г. Методика розрахунку теплового режиму потужних керуємих напівпровідникових пристроїв силових комутаційних апаратів при тривалій дії струмового навантаження / А.Г. Сосков, І.О. Соскова, П.Н. Алаєв, Н.О. Рак // Світлотехніка та електроенергетика. № 7-8. – С. 70-76.

15. Попович М.Г., Лозинський О.Ю., Клепиков В.Б. та ін. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник. – К.: Либідь, - 2005. – 680 с.

16. Плахтина О. Г. Частотно-керовані асинхронні та синхронні електроприводи / О. Г. Плахтина, С. С. Мазепа, А. С. Куцик. – Львів : Видавництво НУ"ЛП", - 2002. 228 с.

17. Nazarenko, V.M., Lobov, V.I., Zhosan, A.A., Nechaeva, S.V. (2004). Universal program for automated choice of control circuit for induction motor drive of conveyer unit. Promyshlennaya Energetika. №.1, p.p.42-46.

18. Замятин В. Я. и др. Мощные полупроводниковые приборы. Тиристоры: Справочник / В. Я. Замятин, Б. В. Кондратьев, В. М. Петухов. – М.: Радио и связь, - 1987. – 576 с., ил.

Рукопис подано до редакції 26.03.2018

УДК 622.013:622.34–047.44:622.27

М. В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
Криворізький національний університет

ВПЛИВ ВТРАТ БАЛАНСОВО-ПРОМИСЛОВИХ ЗАПАСІВ І ЗБІДНЕННЯ ВМІСТУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ КОРИСНИХ КОПАЛИН НА ПРОЦЕС УСЕРЕДНЕННЯ

Мета. Метою даної роботи є розробка методу маркшейдерського забезпечення визначення втрат балансово-промислових запасів, збіднення вмісту якісних показників корисних копалин і величин впливу на однорідність якісних показників залізорудної маси.

Методи дослідження. Розглянуто питання, як однорідність якісних характеристик складових залізорудної маси пов'язана із втратами балансово-промислових запасів і збідненням вмісту якісних показників корисних копалин. Формування кожного з одиничних потоків відбувається під впливом втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин. Виконано розрахунки характеристик усереднення вмісту якісних показників одиничних потоків залізорудної маси.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Отримано вираз, що показує, яким чином пов'язані між собою ознаки, які характеризують процеси усереднення вмісту якісних показників корисних копалин, втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин при роботі видобувної одиниці. При роботі окремої видобувної одиниці кількість і якість видобутої залізорудної маси, втрачених балансово-промислових запасів, кількість розубожуючих порід і вміст якісних показників усередненого заліза, пов'язаного з магнетитом, розглядаємо як випадкові процеси і для характеристики використаємо математичний апарат теорії випадкових кореляційних функцій.

Практична значимість. При розрахунках показників однорідності якісних складових залізорудної маси при експлуатації гірничовидобувних підприємств враховано вплив втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на процес усереднення вмісту якісних показників корисних копалин. З урахуванням гірничо-геологічних умов видобутку зробити оцінку впливу втрат балансово-промислових запасів і збіднення вмісту якісних показників корисних копалин на однорідність якісного складу одиничного потоку залізорудної маси.

Результати. Виконано моделювання кількісних і якісних характеристик показників корисних копалин відособлених і взаємозалежних динамічних рядів для прогнозування якісних показників Криворізького родовища залізистих кварцитів. Доведено, що однорідність якісних характеристик складових загально рудничного потоку залізорудної маси залежить від однорідності одиничних потоків, що надходять із забоїв окремих видобувних одиниць. Розглянуто методику моделювання кількісних і якісних характеристик показників корисних копалин дільниць залізистих кварцитів стосовно технології прогнозування з невеликими інтервалами дискретності.

Ключові слова: родовище, запаси, корисні копалини, якісні показники, збіднення, усереднення, втрати.

doi: 10.31721/2306-5435-2018-1-103-50-55