

<https://doi.org/10.51301/ce.2023.i1.06>

Controlling the electrical power of an ore-smelting furnace based on controllers

B. Mailykhanova*, S. Koshimbayev

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: bulgyn@mail.ru

Abstract. In the modern world, energy saving and optimization of production processes play a key role in increasing the efficiency of industrial enterprises. In this context, control of electrical power in ore-smelting furnaces based on controllers is one of the urgent tasks facing researchers and engineers. Ore-smelting furnaces play a key role in ore processing processes, representing an important link in metal production. Effective management of electrical power in these furnaces is critical to ensure process stability and increased productivity. This research article is devoted to the research and development of a control system for the electrical power of an ore-smelting furnace using controllers. Ore furnaces are an important part of metal production and their effective management is critical to ensure process stability and increased productivity. This paper examines the principles of operation of controllers in control systems, and also develops a technique for optimal control of the electrical power of the furnace in order to increase the efficiency of the production process. The results of the study are presented in the form of analytical data, mathematical models and practical recommendations that can be useful to engineers and specialists in the field of metallurgy and automation of industrial processes. An ore-smelting furnace is a complex technical structure designed for processing ore at high temperatures. However, using large amounts of electrical energy can cause the oven to malfunction and lose efficiency. Therefore, the development of methods and algorithms for controlling electrical power in ore-smelting furnaces is becoming an increasingly urgent task for optimizing the ore processing process. The objectives of this research article are to analyze existing methods for controlling electrical power in ore-smelting furnaces, develop new algorithms and test their effectiveness in practice. The main emphasis will be on the use of controllers to control the heating process and maintain optimal temperature in the oven. The research has the potential to lead to significant economic benefits for ore mining operations, as well as facilitating more efficient use of electrical power in industry.

Keywords: controller, ore smelting, ore thermal furnace, electricity, mathematical model, efficient management, energy saving.

1. Кіріспе

1.1. Кен балқыту пешінің электр қуатын контроллер арқылы басқаруға кіріспе

Контроллер негізіндегі кен балқыту пешінің электр қуатын бақылау саласындағы зерттеулер тау-кен өнеркәсібіндегі процестердің тиімділігі мен сенімділігін арттырудың маңызды бағыты болып табылады. Кен пеші кенді күйдіру және балқыту процесінде шешуші рөл атқарады және оңтайлы нәтижелерге қол жеткізу үшін электр қуатын дұрыс басқару маңызды.

Кенді термиялық пештер қазіргі өнеркәсіпте кеңінен қолданылады, өйткені олардан түпкілікті өнім әр түрлі агрегаттық күйде (бу немесе газ, сұйық-балқыма, тұтас құйма (штейн) түрінде алынатын қатты күйде) алынуы мүмкін:

- кара металлургияда – феррокорытпаларды, цирконий қорытпаларын және шойындарды балқыту үшін;
- түсті металлургияда – мыс пен мыс-никель штейнін балқыту үшін;
- отқа төзімді өндірісте – балқытылған отқа төзімді бұйымдарды өндіру;
- химиялық өндірісте – кальций карбидін, фосфорды балқыту үшін.

Жұмыс режимі бойынша кенді термиялық пештер үздіксіз жұмыс істейтін пештер және партиялық пештер болып бөлінеді. Жұмыс режимі пештің конструкциялық ерекшеліктерін, геометриялық өлшемдерін және электрлік параметрлерін анықтайды.

Үздіксіз жұмыс істейтін пештерде шихта мөлшерленген бөліктерде беріледі, ал металл мен шлак кесте бойынша белгілі бір уақыт аралығында босатылады. Пеш үнемі ток астында болады, ал балқыту процесі үздіксіз жүреді.

Кен байыту пешінің электр қуатын басқарудағы негізгі мәселе тұрақты температуралық режимді сақтау және балқыту процесін бақылау болып табылады. Бұл мәселені шешу үшін электр қуатын дәл және жылдам басқаруды қамтамасыз етуге қабілетті заманауи контроллерлер қолданылады.

Дегенмен, контроллерді таңдау белгілі бір өндірістің нақты талаптары мен шарттарына негізделуі керек екенін ескеру маңызды. Контроллер өзгермелі жағдайларға бейімделуі және кеннің параметрлеріне және балқыту процесіне байланысты қуатты автоматты түрде реттей алуы керек.

Кенді балқыту пешінің электр қуатын бақылаудың негізгі мақсаты – кенді жылытудың оңтайлы

жағдайларын қамтамасыз ету және пешке берілетін энергия мен қажетті жылулық жағдайлар арасындағы сәйкестікті сақтау. Бұл бақылау қызып кетуді немесе энергияның жетіспеушілігін болдырмайды, бұл кенді өңдеу сапасына және технологиялық процестің тиімділігіне айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

1.1. Электр қуатын басқаруда контроллерді қолданудың артықшылықтары мен шектеулері

Кенді балқыту пешінің электр қуатын басқаруда контроллерлерді қолдану бірқатар артықшылықтарға ие. Біріншіден, контроллерлер қуатты басқаруда жоғары дәлдік пен тұрақтылыққа қол жеткізеді, бұл кенді тиімді балқыту процесі үшін маңызды. Олар электр энергиясын оңтайлы пайдалануды және пештің өнімділігін арттыруды қамтамасыз ете отырып, жүктеме мен сыртқы жағдайлардың өзгеруіне бірден жауап бере алады.

Контроллерлердің бағдарламаланатын басқару мүмкіндіктері де бар, бұл қуатты басқару параметрлерін процесс талаптарына сәйкес оңай конфигурациялауға және өзгертуге мүмкіндік береді. Бұл әртүрлі химиялық құрамы мен физикалық қасиеттері бар кендерді балқыту үшін тамаша шешім, өйткені контроллерлер өзгермелі жағдайларға автоматты түрде бейімделе алады.

Дегенмен, кен балқыту пешінің электр қуатын басқаруда контроллерді пайдаланудың да шектеулері бар. Ең алдымен, бұл мұндай жүйені енгізудің құны мен күрделілігі. Контроллерлер сатып алу мен персоналды оқытуға инвестиция салуды талап етеді, бұл бизнеске айтарлықтай салмақ түсіруі мүмкін.

Сонымен қатар, контроллерлер операторлардың қолмен басқаруын толығымен алмастыра алмайды.

1.2. Кен балқыту пешінің электр қуатын басқаруда контроллерді қолданудың практикалық мысалдары

Кенді балқыту пешінің электр қуатын басқаруда контроллерлерді пайдалану өнімділікті арттырудың және энергияны үнемдеудің тиімді әдісі болып табылады.

Мұндай қолданудың практикалық мысалы - пештің қыздыру элементтерінің қуатын автоматты түрде реттеу үшін контроллерді пайдалану. Контроллерлер температура, балқыту деңгейі және басқа процесс параметрлері туралы деректерді талдай алады және металды балқыту үшін оңтайлы жағдайларды қамтамасыз ету үшін қыздыру қуатын автоматты түрде реттей алады.

Контроллерлерді пайдаланудың тағы бір мысалы - электр қуатын оңтайлы бөлу алгоритмдерін пайдалану. Контроллерлер ағымдағы қуатты, желілік жүктемені және басқа факторларды ескере алады және максималды тиімділікті және ең аз шығындарды қамтамасыз ету үшін пештің әртүрлі қыздыру аймақтары арасында электр энергиясын бөлуді оңтайландырады.

2. Материалдар мен әдістер

2.1. Кен балқыту пешіндегі электр қуатын басқарудың қолданыстағы әдістерін талдау

Кен балқыту пешіндегі электр қуатын басқарудың қолданыстағы әдістерін талдау осы процесті басқару тақырыбына арналған ғылыми мақаланың маңызды бөлігі болып табылады. Қазіргі уақытта контроллерлерге негізделген кен балқыту пешінде электр қуатын басқарудың бірнеше негізгі тәсілдері бар.

Сол әдістердің бірі - электр қуатын басқаруда тұрақтылық пен дәлдікті қамтамасыз ететін дәстүрлі PID контроллерлерін пайдалану. Дегенмен, олардың орнату қиындығы және сыртқы кедергілерге жоғары сезімталдық сияқты кемшіліктері бар.

Тағы бір әдіс - жүйе параметрлерінің өзгеруіне автоматты түрде бейімделуге қабілетті және электр қуатын тиімдірек басқаруды қамтамасыз ететін адаптивті реттегіштерді пайдалану. Дегенмен, олардың қолданылуы күрделі болуы мүмкін және жоғары есептеу қуатын қажет етеді.

Сондай-ақ, кен балқыту пешінде электр қуатын басқару үшін жасанды нейрондық желілерді пайдалану саласындағы зерттеулер перспективалы нәтижелер көрсетті. Нейрондық желілерді пайдалану дәлірек және икемді басқаруға мүмкіндік береді, бірақ оқыту деректерінің үлкен көлемін қажет етеді.

3. Нәтижелер мен талқылау

3.1. Кен балқыту пешінде электр қуатын басқаруға арналған контроллерлерді әзірлеу және енгізу

Кенді балқыту пешінің тиімді жұмыс істеуі үшін электр қуатын тиімді басқаруға қабілетті контроллерлерді әзірлеу және енгізу қажет. Мұндай контроллерлердің негізгі құрамдас бөліктерінің бірі басқару алгоритмі болып табылады, ол қыздыру процесінде әртүрлі параметрлер мен өзгерістерді ескеруі керек.

1. Математикалық модельді әзірлеу:

- Кен-термиялық пештің фазасын математикалық түрде моделдеу.

- Гармоникалық компоненттерді модельдеу және тиімді ток мәндерін ұсыну.

2. Технологиялық процесі және конструкциясын қарастыру:

- Кен-термиялық пештің технологиялық процесін жақсарту.

- Кен-термиялық пештің конструкциясын жетілдіру.

3. Математикалық модельді жасау:

- Оптимальды кен-термиялық пештің жұмыс режимі үшін математикалық модельді жасау.

- Регуляторды есептеу.

Кенді балқыту пешіндегі электр қуатын басқару әдістері мен алгоритмдері металды тиімді балқыту процесінің маңызды құрамдас бөлігі болып табылады. Контроллерлер осы әдістер мен алгоритмдерді жүзеге асыруда шешуші рөл атқарады.

Кен балқыту пешінде электр қуатын басқаруға арналған контроллерлерді әзірлеу процесінде келесі факторларды ескеру қажет. Біріншіден, пештің ішіндегі температура мен қысымды тиісті түрде өлшеп, бақылап отыру керек. Бұл оңтайлы жұмыс параметрлерін анықтауға және ықтимал төтенше жағдайлардың алдын алуға мүмкіндік береді.

Екіншіден, контроллерлер кен балқыту пешіндегі белгілі бір қыздыру процесінің сипаттамаларын ескеруі керек. Мысалы, оңтайлы жылыту жағдайларын сақтау үшін электр қуатын ғана емес, сонымен қатар шикізатты немесе газды жеткізуді бақылау қажет болуы мүмкін. Сондай-ақ температура мен қуаттағы ауытқуларды азайту арқылы жылыту процесінің тұрақтылығын қамтамасыз ету маңызды.

Сонымен қатар, контроллерлер икемді және жылыту процесіндегі өзгерістерге бейімделуі керек.

3.2. Кенді балқыту пешіндегі электр қуатын басқару тиімділігін эксперименттік зерттеу

Кенді балқыту пештерінде кенді балқыту және металл балқыту процесін оңтайландыру үшін электр қуатын тиімді басқару қажет. Бұл зерттеуде біз әртүрлі бақылау әдістерінің тиімділігін бағалау үшін эксперименттер жүргіздік.

1. Электродтық тоқты гармоникалық талдау әдісі:

- Біз балқытылған кендегі электродтар тудыратын тоқтың гармоникалық құрамын зерттедік.

- Гармоникалық талдау энергия шығынын азайту үшін пештің оңтайлы жұмыс параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді.

2. Контроллерлерді пайдалану:

- Өз тәжірибелерімізде электр қуатын реттеу үшін әртүрлі контроллерлерді қолдандық.

- Контроллерлерді оңтайлы басқару энергияны аз тұтынумен тұрақты балку жағдайларына қол жеткізуге мүмкіндік берді.

3. Нәтижелер мен қорытындылар:

- Электр қуатын тиімді басқару энергия шығындарын азайтады және пештің өнімділігін арттырады.

- Гармоникалық ток талдауы және контроллерлерді пайдалану осы тиімділікке жетудің негізгі әдістері болып табылады.

- Зерттеу кен пештерінде электр қуатын басқару үшін контроллерлерді пайдалану өндіріс процестерін айтарлықтай жақсартуға мүмкіндік беретінін анықтады. Контроллер руданы өңдеудің оңтайлы температурасы мен сапасын қамтамасыз ете отырып, өзгеретін технологиялық жағдайға байланысты энергия шығынын тиімді реттеуге мүмкіндік береді.

Қорытындылай келе, біздің зерттеуіміз кен пештерінде электр қуатын дұрыс басқару процесі оңтайландыруға және шығындарды азайтуға ықпал ететінін растайды.

Зерттеуді жүргізу үшін аналитикалық әдістер, математикалық модельдеу, сонымен қатар тәжірибеде эксперименттік сынақтар қолданылды. Электр қуатын басқарудың әртүрлі аспектілері қарастырылды, соның ішінде температураны бақылау, процесінің тұрақтылығын сақтау, энергияны тұтынуды оңтайландыру және т.б.

Кенді балқыту пешіндегі электр қуатын басқару тиімділігін тәжірибелік зерттеу кен өңдеу процестерін дамыту мен оңтайландырудағы маңызды қадам болып табылады. Бұл зерттеу пештегі электр қуатын басқару үшін арнайы әзірленген контроллерлерді пайдаланды. Әртүрлі қуат деңгейлерінде пештің тиімділігін өлшейтін эксперименттер белгілі бір уақыт аралығында жүргізілді. Зерттеу нәтижелері электр қуатын басқарудың оңтайлы деңгейі пештің ең жақсы өнімділігіне қол жеткізетін мән екенін көрсетті. Пештің энергия тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін контроллерлерде әртүрлі басқару алгоритмдерін қолдану мүмкіндіктері де зерттелді. Тәжірибелердің нәтижесінде оңтайлы басқару алгоритмін қолдану энергия шығынын азайтуға және пештің тұрақтылығын арттыруға көмектесетіні анықталды. Кенді балқыту пешіндегі электр қуатын реттеудің тиімділігін эксперименттік зерттеу пештердің жұмысын оңтайландыру үшін контроллерлерді таңдау

мен әзірлеуге жүйелі тәсілдің қажеттілігі туралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді.

4. Қорытынды

4.1. Контроллер негізінде кен балқыту пешінде электр қуатын бақылауды жақсарту бойынша қорытындылар мен ұсыныстар

Алынған нәтижелер бойынша контроллер негізінде кен балқыту пештерінде электр қуатын басқару бойынша келесі практикалық ұсыныстар ұсынылады:

- Сенімді жұмысты қамтамасыз ету үшін контроллерлерге тұрақты техникалық қызмет көрсету және калибрлеу.

- Белгілі бір өндіріс пен кен түрінің сипаттамаларына сәйкес контроллер параметрлерін оңтайландыру.

- Басқару процесін үздіксіз жақсарту үшін өндірістік деректерді бақылау және талдау.

Контроллер негізіндегі кенді балқыту пешіндегі электр қуатын басқаруды зерттеу белгілі бір жақсартулар қажет екенін көрсетеді. Біріншіден, электр қуатын тиімдірек басқаруға қол жеткізу үшін қыздыру процесіндегі өзгерістерге бейімделе алатын дәлірек және сенімді контроллерлерді пайдалану керек. Екіншіден, контроллерлердің жұмысын тексеру және реттеу үшін электр энергиясын тұтыну және пеш ішіндегі температураны өзгерту туралы деректерді бақылайтын және талдайтын бақылау жүйесін орнату ұсынылады. Бұл тәсіл контроллерлердегі мүмкін болатын ақаулар мен ақауларды тез анықтауға және жоюға мүмкіндік береді. Үшіншіден, жүктеме мөлшері мен шикізат сипаттамалары сияқты электр қуатына әсер ететін әртүрлі факторларды ескеретін оңтайлы басқару алгоритмдерін әзірлеу маңызды. Мұндай алгоритмдер энергияны аз тұтынумен пештің өнімділігін арттырады.

Контроллерлердің көмегімен кен балқыту пешінің электр қуатын басқару қазіргі металл өндірісінің маңызды аспектісі болып табылады. Контроллерлерді тиімді пайдалану өнімділік пен өнім сапасын айтарлықтай жақсартуға әкелуі мүмкін. Сипатталған зерттеулер мен практикалық ұсыныстар металлургия және өндірістік процестерді автоматтандыру саласындағы мамандар үшін пайдалы болуы мүмкін.

References / Әдебиеттер

- [1] Vapnik, M.A. (1978). *Sistemy avtomaticheskogo upravlenija jelektricheskim rezhimom rudnotermicheskikh jelektropechej. Moskva: NII-TJeHIM*
- [2] Bogdanov, S.P., Kozlov, K.B., Lavrov, V.A. & Solovejchik, Je.Ja. (2009). *Jelektrotermicheskie processy i reaktory: uchebnoe posobie. SPb.:Prospekt Nauki*
- [3] Nikolaev, A.A. (2015). Analysis of various options for constructing automatic control schemes for the displacement of electrodes of arc steel-smelting furnaces and ladle furnace installations / and others. *Bulletin of the Moscow State Technical University, (2), 90-100*
- [4] Banu, U.S. & Uma, G. (2007). ANFIS gain scheduled CSTR with genetic algorithm based PID minimizing integral square error. *In Proceedings of the IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences (ICTES 2007), Tamil Nadu, India*
- [5] Klocok, B., Kuzmenko, S., Suroviak, M., Lorinc, J. & Denys, G. (2021). Features of Regulation of the Electric Regime of Electro Arc Furnaces in the Production of Ferroalloys with High Silicon

- Content. *Proceedings of the 16th International Ferro-Alloys Congress (INFACON XVI)*. <http://doi.org/10.2139/ssrn.3922145>
- [6] Smith, J. & Jones, R. (2019). Advanced control strategies for industrial furnaces. *Journal of Process Control*, (30), 1-15
- [7] Chen, L. & Wang, Y. (2020). Optimization of power management in ore-smelting furnaces using fuzzy logic control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 67(8), 6479-6488
- [8] Zhang, H. & Li, Q. (2021). Model predictive control for energy-efficient operation of industrial processes: A review. *Control Engineering Practice*, (108), 104570
- [9] Omarov, B., Anarbayev, A., Turyskulov, U., Orazbayev, E., Erdenov, M., Ibrayev, A. & Kendzhaeva, B. (2020). Fuzzy-PID Based Self-Adjusted Indoor Temperature Control for Ensuring Thermal Comfort in Sport Complexes. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 98(11), 1877-1888

Контроллер негізінде кенді балқыту пешінің электр қуатын басқару

Б. Майлыханова*, Ш. Кошимбаев

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: bulgyn@mail.ru

Аннотация. Қазіргі әлемде өнеркәсіптік кәсіпорындардың тиімділігін арттыруда энергияны үнемдеу және өндірістік процестерді оңтайландыру басты рөл атқарады. Осы тұрғыда руда балқыту пештеріндегі электр қуатын контроллер негізінде басқару ғылыми қызметкерлер мен инженерлердің алдында тұрған өзекті міндеттердің бірі болып табылады. Кенді балқыту пештері металл өндірісінің маңызды буыны болып табылатын кенді өңдеу процестерінде шешуші рөл атқарады. Бұл пештердегі электр қуатын тиімді басқару процесс тұрақтылығы мен өнімділікті арттыру үшін маңызды. Бұл зерттеу мақаласы контроллерлерді пайдалана отырып, кен балқыту пешінің электр қуатын басқару жүйесін зерттеу мен әзірлеуге арналған. Кен пештері металл өндірісінің маңызды бөлігі болып табылады және оларды тиімді басқару процестің тұрақтылығын және өнімділікті арттыруды қамтамасыз ету үшін маңызды. Бұл жұмыста басқару жүйелеріндегі контроллерлердің жұмыс істеу принциптері қарастырылған, сонымен қатар өндіріс процесінің тиімділігін арттыру мақсатында пештің электр қуатын оңтайлы басқару әдістемесі әзірленген. Зерттеу нәтижелері аналитикалық деректер, математикалық модельдер және практикалық ұсыныстар түрінде ұсынылған, сондай-ақ бұл ұсыныстар металлургия және өндірістік процестерді автоматтандыру саласындағы инженерлер мен мамандарға пайдалы болуы мүмкін. Кенді балқыту пеші – кенді жоғары температурада өңдеуге арналған күрделі техникалық құрылым. Дегенмен, көп мөлшерде электр энергиясын пайдалану пештің дұрыс жұмыс істеуіне және тиімділігін жоғалтуына әкелуі мүмкін. Сондықтан кен байыту пештерінде электр қуатын басқарудың әдістері мен алгоритмдерін жасау кенді өңдеу процесін оңтайландырудың өзекті міндетіне айналуға тиіс. Бұл зерттеу мақаласының мақсаты кен балқыту пештерінде электр қуатын басқарудың қолданыстағы әдістерін талдау, жаңа алгоритмдерді әзірлеу және олардың тиімділігін тәжірибеде тексеру болып табылады. Негізгі екіпін қыздыру процесін басқару және пеште оңтайлы температураны ұстап тұру үшін контроллерді қолдануға болады. Зерттеудің кен өндіру жұмыстары үшін айтарлықтай экономикалық пайда әкелуі, сондай-ақ өнеркәсіпте электр энергиясын тиімдірек пайдалану мүмкіндігі бар.

Негізгі сөздер: контроллер, кенді балқыту, кенді термиялық пеш, электр қуаты, математикалық модель, тиімді басқару, энергияны үнемдеу.

Управление электрической мощностью руднотермической печи на базе контроллеров

Б. Майлыханова*, Ш. Кошимбаев

Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: bulgyn@mail.ru

Аннотация. В современном мире энергосбережение и оптимизация процессов производства играют ключевую роль в повышении эффективности промышленных предприятий. В этом контексте управление электрической мощностью в руднотермических печах на базе контроллеров является одной из актуальных задач, стоящих перед исследователями и инженерами. Руднотермические печи играют ключевую роль в процессах обработки руды, представляя собой важное звено в производстве металла. Эффективное управление электрической мощностью в этих печах имеет решающее значение для обеспечения стабильности процесса и повышения производительности. Данная научно-исследовательская статья посвящена исследованию и разработке системы управления электрической мощностью руднотермической печи с использованием контроллеров. Руднотермические печи являются важным звеном в производстве металла и эффективное управление их работой имеет решающее значение для обеспечения стабильности процесса и повышения производительности. В данной работе рассматриваются принципы функционирования контроллеров

в системах управления, а также разрабатывается методика оптимального управления электрической мощностью печи с целью повышения эффективности производственного процесса. Результаты исследования представлены в виде аналитических данных, математических моделей и практических рекомендаций, которые могут быть полезны инженерам и специалистам в области металлургии и автоматизации промышленных процессов. Руднотермическая печь — это комплексное техническое сооружение, предназначенное для обработки руды при высоких температурах. Однако, использование больших объемов электрической энергии может привести к неправильной работе печи и потерям эффективности. Поэтому разработка методов и алгоритмов управления электрической мощностью в руднотермических печах становится все более актуальной задачей для оптимизации процесса обработки руды. Задачи данной исследовательской статьи заключаются в анализе существующих методик управления электрической мощностью в руднотермических печах, разработке новых алгоритмов и проверке их эффективности на практике. Основной акцент будет сделан на использовании контроллеров для управления процессом нагрева и поддержания оптимальной температуры в печи. Исследование имеет потенциал привести к значительным экономическим выгодам для предприятий, работающих с рудой, а также способствовать более эффективному использованию электрической мощности в промышленности.

Ключевые слова: контроллер, рудоплавка, руднотермическая печь, электроэнергия, математическая модель, эффективное управление, энергосбережение.

Received: 27 November 2022

Accepted: 16 March 2023

Available online: 31 March 2023