

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ДИМКО ЄГОР ПАВЛОВИЧ

УДК 681.5:519.24

ДИСЕРТАЦІЯ

**МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ
ІНДУКЦІЙНИМ ДУПЛЕКС-ПРОЦЕСОМ ЗА УМОВ
НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

05.13.03 – системи та процеси керування
12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Димко Є. П.

Науковий керівник:
Дьомін Дмитро Олександрович,
доктор технічних наук, професор

Харків - 2018

АНОТАЦІЯ

Димко Є. П. Моделі та методи оптимального керування індукційним дуплекс-процесом за умов невизначеності.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.03 – системи та процеси керування. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2018.

Об'єкт дослідження – процес керування індукційною електроплавкою.

Предмет дослідження – методи визначення оптимального керування процесом індукційної плавки.

Показана можливість побудови адекватної математичної моделі індукційного дуплекс-процесу плавки як об'єкта управління в умовах неможливості реалізації плану активного експерименту в виробничих умовах. На основі цього запропоновано для опису кінцевого стану в задачі пошуку оптимального за кінцевим станом управління використовувати результати параметричного опису за визначенням локально-оптимальних значень вхідних змінних на основі реалізації процедури рідж-аналізу. Показано, як з використанням комбінованої процедури штучної ортогоналізації за даними пасивного експерименту при довільній формі плану експерименту і центрального ортогонального планування отримати такий параметричний опис.

Розв'язана задача синтезу оптимального управління індукційною плавкою в печах ІСТ1 / 0.8-М5 в умовах альтернативних стратегій і доведено, що при виборі стратегії плавлення на «болоті» фазова траєкторія буде постійно змінюватися внаслідок корекції початкового стану, що обумовлено зміною швидкості розплавлення при обраному способі управління. Показано, як оптимальне за швидкодією управління може бути отримано з використанням принципу максимуму Понтрягіна в умовах обліку невизначеності в описі початкового стану об'єкта управління.

Синтезований оптимальний регулятор температурного режиму в індукційному міксері на основі мультіальтернативного опису кінцевого стану, характерною особливістю якого є використання оптимальних рішень рідж-аналізу і параметричної класифікації температурного режиму. Показано, що такий підхід може бути застосований для блоку логічних умов при логічному синтезі комбінованої системи управління індукційним дуплекс-процесом.

Ключові слова: керований процес, система управління, невизначеність, рівняння регресії, штучна ортогоналізація, мультіальтернативний опис кінцевого стану, принцип максимуму, логічний синтез

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЇ ЗДОБУВАЧА

1. Дымко Е. П. Повышение качества литых деталей ДВС: учет технологических аспектов автоматизированного литейного производства / Є. П Димко, О. В. Акимов, О. С. Коваль, А. А. Пуляев, Т. А. Егоренко, С. В. Высоцкий // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харьков. – 2015. - № 1. – С. 56-62.

2. Дымко Е. П. Выбор критериев для проверки возможности взаимозаменяемости спецсплавов на примере нимоника / Е.П Дымко, Д. В. Мариненко, С. В. Борисенко, Н. В. Кравцова // Scientific Journal «ScienceRise». 2016. – № 6/2(23) – 27-31.

3. Дымко Е. П. Компьютерно-интегрированные технологии в литейном производстве: вопросы управления качеством оливок / Е. П. Дымко, П. Н. Белик, А. В. Золотарева, С. Ю. Кияшко, А. В. Демина // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП» – 2016.– № 17 (1189). – С. 41–46.

4. Дымко Е. П. Исследование возможностей адаптации компьютерно-интегрированных систем смесеприготовления к условиям литейных цехов украинских предприятий, производящих износостойкие чугуны / С. В. Высоцкий, А. А. Красноухова, Ю. Е. Николаева, Е. П Дымко // Технологический аудит и резервы производства. 2016. – № 3/2(29). – С. 4-8.

5. Димко Є. П. Параметрична класифікація як основа системи підтримки прийняття рішень для управління виплавою зносостійкого чавуну / В. В. Юрченко, А. В. Шамрай, С. Ю. Кияшко, А. В. Дьоміна, Д. М. Макаренко, Є. П. Димко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП» – 2017. – № 16 (1238). – С. 30–34.

6. Dymko I. Integrated approach to the development of the effectiveness function of quality control of metal products / A. Muradian, Y. Leheza, A. Manzhula, O. Rudkovskyi, I. Dymko // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. - №3 С. 26-34.

7. Dymko I. Choice of the optimal control strategy for the duplex-process of induction melting of constructional iron / EUREKA: Physics and Engineering». 2018. –№4. – P. 3-13.

8. Димко Є. П. Математичне моделювання процесу плавки в індукційних печах ІСТ1/0.8-М5 / Є. П. Димко / Збірка праць ІІІ наукової конференції «Наукові підсумки 2015 р.» – Харків. – 2015. – С.154-156.

9. Димко Є. П. Комп'ютерно-інтегрована система плавки / Є. П. Димко / Збірка праць Міжнародної наукової конференції «Фундаментальні та прикладні

дослідження: інтеграція до світових наукометричних баз даних». – м. Київ, 2015. – С. 120–122.

10. Димко Є. П. Комп'ютерно-інтегровані технології в управлінні якістю виливків / Є. П. Димко / Збірка праць Міжнародної наукової конференції «Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці». – м. Харків, 2017. – С. 100–101.

11. Дымко Е. П. Разработка математической модели процесса плавки в индукционных печах ИСТ1/0.8-М5 / Е. П. Дымко / Сборник трудов «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье». – Харьков. – 2017. - С. 27

12. Iegor Dymko. Optimal control strategy for the duplex-process of induction melting. Proceedings of the 1st Annual Conference «Technology transfer: Physical Sciences and Engineering». – 2017. – P. 80–81.

ABSTRACT

Dymko E. P – Models and methods of optimal control of the induction duplex process under uncertainty.

The dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.13.03 - systems and processes of management. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 2018.

Object of study – induction melt management process.

Subject of study – methods of determining the optimal control of the process of induction smelting.

The possibility of constructing an adequate mathematical model of the induction duplex-process of melting as an object of management in the conditions of impossibility of realization of the plan of an active experiment in production conditions is shown. On the basis of this, it is proposed to use the results of a parametric description by the definition of locally optimal values of input variables on the basis of realization of the rig-analysis procedure on the basis of the description of the finite state in the problem of finding the optimal end state of the control. It is shown how using the combined procedure of artificial orthogonalization, according to the data of a passive experiment, in the arbitrary form of an experiment plan and central orthogonal planning, we obtain such a parametric description. The problem of synthesis of optimal control induction smelting in IST1 / 0.8-M5 furnaces under the conditions of alternative strategies is solved and it is proved that, when choosing a melting strategy at the "marsh", the phase trajectory will constantly change due to the correction of the initial state due to the change in the melting speed of the chosen method. management. It is shown how the optimal control rate can be obtained using the Pontryagin maximum principle in terms of uncertainty accounting in the description of the initial state of the control object. The optimal temperature control regulator in the induction mixer is synthesized on the basis of a multi-alternative description of the final state, the characteristic feature of which is the use of optimal solutions of rye-analysis and parametric classification of the temperature regime. It is shown that such an approach can be applied to a block of logical conditions in the logical synthesis of the combined control system by the induction duplex process.

Key words: controlled process, control system, uncertainty, regression equation, artificial orthogonalization, multifilamentary description of the final state, principle of maximum, logical synthesis

LIST OF BUILDER PUBLICATION

1. Dymko E. P. Improvement of quality of cast parts of ICE: accounting of technological aspects of automated foundry production / E. P. Dimko, O. V. Akimov, O. S. Koval, A. Pulyayev, T. A. Egorenko, S. V. Vysotsky // East -European magazine of advanced technologies. - Kharkiv. - 2015. No. 1. - P. 56 62.
2. Dymko E. P. Selection of criteria for the verification of the possibility of interchangeability of special alloys by the example of a nymonkey / E. P. Dymko, D.V. Marinenko, S.V. Borisenko, N.V.Kravtsova // Scientific Journal «ScienceRise». 2016 - No. 6/2 (23) - 27 31.
3. Dymko E. P. Computer-integrated technologies in foundry production: issues of quality management of olives / E. P. Dymko, P.N. Belik, A.V. Zolotarev, S.Yu. Kyyashko, A.V.Demina // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanic-technological systems and complexes. - Kharkiv: NTU "KhPI" - 2016. - No. 17 (1189). - P. 41-46.
4. Dymko E. P. Investigation of the possibilities of adaptation of computer-integrated mixing systems to the conditions of foundry shops of Ukrainian enterprises producing wear-resistant castings / SV Vysotsky, AA Krasnoukhova, Yu. E. Nikolaeva, E. P. Dymko // Technological audit and production reserves. 2016 - No. 3/2 (29). - P. 4 8.
5. Dimko E. P. Parametric classification as the basis of the decision support system for the management of the smelting of wear-resistant cast iron / VV Yurchenko, AV Shamray, S. Yu. Kyyashko, AV Dyomina, D. M. Makarenko, E. P. Dymko // Bulletin of the NTU "KhPI". Series: Mechanic-technological systems and complexes. - Kharkiv: NTU "KhPI" - 2017. - No. 16 (1238). - P. 30-34.
6. Dymko I. Integrated approach to the development of the effectiveness function of quality control of metal products / A. Muradian, Y. Leheza, A. Manzhula, O. Rudkovskyi, I. Dymko // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2016. - №3 С. 26-34.
7. Dymko I. Choice of the optimal control strategy for the duplex-process of induction melting of constructional iron / EUREKA: Physics and Engineering». 2018. - №4. – P. 3-13.
8. Dimko E. P. Mathematical modeling of the melting process in induction furnaces IST1 / 0.8-M5 / E. P. Dimko / Collected works of the III scientific conference "Scientific results 2015". – Kharkiv - 2015. - p.154-156.
9. Dimko E. P. Computer-integrated melting system / E. P. Dimko / Collected works of the International scientific conference "Fundamental and Applied Research: Integration into the World's Science Metrics Databases." - Kyiv, 2015. - P.120-122.

10. Dimko E. P. Computer-integrated technologies in the management of the quality of castings / E. P. Dymko / Collected works of the International scientific conference "Fundamental and applied research in modern science". - Kharkiv, 2017. - P. 100-101.

11. Dymko E. P. Development of mathematical model of the process of melting in induction furnaces IST1 / 0.8-M5 / E. P. Dymko / Collected works "Information technologies: science, technology, technology, education, health". – Kharkiv. - 2017. - P. 27

12. Iegor Dymko. Optimal control strategy for the duplex-process of induction melting. Proceedings of the 1st Annual Conference «Technology transfer: Physical Sciences and Engineering». – 2017. – P.80–81.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. ОГЛЯД НАЯВНИХ УЯВЛЕНЬ ПРО ІНДУКЦІЙНЕ ПЛАВЛЕННЯ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ НА ПЛАВИЛЬНО-ЗАЛИВАЛЬНИХ ДІЛЬНИЦЯХ ЛИВАРНИХ ЦЕХІВ.....	10
1.1 Індукційне плавлення як процес, який реалізується в енерготехнологічних металургійних комплексах.....	10
1. 2. Формалізація уявлення фізико-хімічних процесів, що протікають в розплаві, як основа математичного опису індукційної плавки в якості об'єкта управління.....	19
1.3. Системи управління як елемент конструктивних рішень по індукційним плавильним комплексам.....	30
Висновки до розділу 1.....	38
2. ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА УПРАВЛІННЯ	39
2.1. Опис і принципи функціонування об'єкта управління в промислових умовах.....	39
2.2. Розробка математичної моделі процесу плавки в індукційних печах ІСТ1 / 0.8-М5.....	49
2.3. Розробка математичної моделі процесу термочасової обробки в індукційному печі-міксері ІЧТ-6 / 1.6-І8.....	58
Висновки до розділу 2.....	66
3. СИНТЕЗ ГРАНИЧНИХ УМОВ ДЛЯ ЗАВДАННЯ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОГО ПО КІНЦЕВИЙ СТАН ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ІНДУКЦІЙНОЇ ПЛАВКИ ЧАВУНУ.....	67
3.1. Постановка завдання синтезу граничних умов на основі розробки математичних моделей типу «склад - властивість».....	67
3.2. Формування граничних умов як рішення оптимізаційної задачі на основі рівняння регресії типу «склад - властивість».....	80

3.3. Практичне застосування процедури синтезу граничних умов	88
Висновки до розділу 3	98
4. СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ІНДУКЦІЙНИЙ ПЛАВЦІ В ПЕЧАХ ІСТ1 / 0.8-М5	99
4.1. Пошук оптимального управління на етапі плавлення	99
4.2. Вибір оптимальної стратегії управління на етапі плавлення в індукційній печі ІСТ1 / 0.8-М5	103
4.3. Пошук оптимального управління процесом доведення розплаву до заданого складу в індукційних печах ІСТ1 / 0.8-М5	110
Висновки до розділу 4	118
5. СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БЛОКУ ЛОГІЧНИХ УМОВ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В ІНДУКЦІЙНИХ МІКСЕРОМ	119
5.1. Формування загального принципу синтезу системи управління температурним режимом в індукційному міксері	119
5.2. Математична модель для синтезу оптимального регулятора температурного режиму в індукційному міксері і вибір умов для його застосування	129
5.3. Синтез регулятора температурного режиму в індукційному міксері при мультальтернативном описі кінцевого стану на основі оптимізації властивостей сплаву	137
Висновки до розділу 5	145
ВИСНОВКИ	146
ЛІТЕРАТУРА	148
ДОДАТК А	161
ДОДАТК Б	163