



УДК 681.513

ОСОБЛИВОСТІ ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ КООРДИНУВАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ

Дубна С.М.¹, Гурський О.О.², Гончаренко О.С.³

^{1,2,3} Інститут комп'ютерних систем і технологій "Індустрія 4.0" ім. П.М. Платонова Одеського національного технологічного університету, м. Одеса

ORCID: ¹<http://orcid.org/0000-0002-2483-5817>, ²<http://orcid.org/0000-0001-5158-2125>,³<http://orcid.org/0000-0003-4959-6469>E-mail: ¹Dubna_s@ukr.net, ²gurskiya2017@gmail.com, ³holod.automatic@gmail.com

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v15i4.2716>

Анотація. Представлені особливості об'єктів управління в яких доцільно координувати регульовані змінні в перехідних режимах. Розглянуті відповідні приклади об'єктів та зазначені їх загальні характеристики. Виділений клас об'єктів управління для яких варто синтезувати системи управління, що забезпечують узгодження перехідних процесів.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування певного класу об'єктів управління шляхом застосування систем, що забезпечують координацію регульованих змінних у перехідних режимах. Для досягнення поставленої мети було вирішено задачу пов'язану з виділенням класу об'єктів управління і їх загальних характеристик та особливостей для доцільного застосування алгоритмів координувального управління. Було показано, що ефективність функціонування та ККД деяких об'єктів залежить від співвідношення регульованих змінних. В якості прикладів вказано на співвідношення паливо-повітря у парогенераторах та котельних установках, або співвідношення між швидкістю обертання валу турбокомпресора і кутом установки лопаток вхідного направляючого апарату. Також показані різні структурні схеми об'єктів управління для можливої композиції цих схем у загальну структурну схему автоматичної системи координувального управління.

У результаті проведених досліджень, у процесі виконання поставленої задачі, було визначено загальну структурну схему об'єкта координувального управління та загальні його характеристики. Такі загальні характеристики були визначені на основі розглянутих прикладів об'єктів управління в яких важливо дотримувати деякі співвідношення між регульованими змінними. В якості прикладів було розглянуто: парогенератор з типовою системою регулювання, газотурбінний та реактивний двигун, холодильну установку з відцентровим компресором. Показано особливості ефективного функціонування розглянутих об'єктів з огляду на аналіз їх загальних характеристик.

Abstract. The features of control objects for which it is important the coordination of regulated variables in transient modes are presented in this paper. The corresponding examples of technological objects are considered and their general characteristics are presented. A class of objects for coordinating control was selected for which it necessary to develop the control systems that ensure the coordination of transient processes.

The purpose of scientific work is to increase the efficiency of certain type for control objects functioning. The increase in efficiency is realized through the use of systems that ensure the coordination of regulated variables in transient modes. To achieve this purpose it is necessary to solve the problem linked with the allocation of a special type of control objects and their generals' characteristics. It is also important to highlight the features of the relevant control objects for the appropriate use of coordinating control algorithms. The efficiency of functioning for some objects depend on the ratio of regulated variables was shown. As an example, the fuel-air ratio in steam generators and boiler plants or the ratio between the rotation speed of the turbocompressor shaft and the position angle of the guide vanes. Various structural schemes of control objects are also shown for the possible composition of these schemes in the general structural scheme of the automatic coordination control system.

As a result of the studies carried out and as a result of the fulfillment of the task, the general structural scheme of the object of coordinating control was determined. Also, in the process of fulfilling the task, the general characteristics of the objects of coordinating control were determined on the basis of the considered examples. As examples, it was considered: a steam generator with a typical control system, a gas turbine and jet engine, a refrigeration unit with a centrifugal compressor. The peculiarities of the effective functioning of the considered objects are shown in view of the analysis of their general characteristics.



Ключові слова: координувальне управління, система автоматичного управління, газотурбінний двигун, парогенератор, ефективне функціонування

Keywords: coordinating control, control system, turbojet engine, steam generator, effective functioning

Вступ

Координація – узгодження перехідних процесів у різних динамічних системах – вид управління, необхідний для забезпечення ефективності функціонування деяких складних технологічних об'єктів. У наш час можна навести безліч прикладів таких технологічних об'єктів, для яких доцільно синтезувати системи координувального управління, проте для таких об'єктів використовуються традиційні, багатовимірні САР і системи, що стежать, які за ефективністю функціонування можуть значно поступатися координувальним.

Для виділення такого класу технологічних об'єктів необхідно розглянути їх відмінні риси, тоді доцільність застосування такого нетрадиційного виду управління як координація буде досить очевидною. У цьому випадку, не тільки слід розглянути певний клас складних технологічних об'єктів, а також слід розглянути виділений клас об'єктів автоматичного координувального управління.

Огляд літературних джерел та постановка проблеми

У загальному випадку, коли в об'єктах управління необхідно дотримувати деякі співвідношення між регульованими величинами, то доцільно застосовувати принципи координувального управління. До таких об'єктів можна віднести багаторухові технологічні лінії, установки в яких необхідно забезпечувати потрібну концентрацію компонентів, що реагують, камери згоряння деяких установок та інші [1].

У загальноприйнятому традиційному підході для таких об'єктів можливо побудувати багатовимірні системи автоматичного управління з впливами, за завданням, по кожному каналу реагування [2, 3]. У таких системах забезпечується співвідношення між регульованими змінними, але тільки в режимах, що встановилися. В інших випадках, при збуреннях випадкового характеру можуть спостерігатися перехідні режими, при яких необхідно також дотримувати необхідні співвідношення значень регульованих змінних, в протилежному випадку можливе погіршення ефективності функціонування певного об'єкта управління [4, 5]. Отже, доцільно забезпечувати координацію регульованих змінних у перехідних режимах шляхом застосування принципів координувального управління. Приклади автоматичних систем координувального управління описувалися в різних роботах [1, 5, 6] в яких відображалися їх позитивні особливості.

Однак, слід зазначити, що перехід від традиційних САУ до координувальних систем, це перехід від автономності контурів регулювання до динамічної зв'язності, і це, в деяких випадках, може призвести до погіршення якості регулювання [7, 8]. Тому будь-яку багатовимірну та багатоканальну САУ можна перетворити на координувальну, проте актуальність такого перетворення може бути під сумнівом. Отже, необхідно визначити загальні характеристики об'єктів управління, для яких синтез автоматичних систем координувального управління був би актуальним.

Мета та задача роботи. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування виділеного класу об'єктів управління шляхом застосування систем, що забезпечують координацію регульованих змінних у перехідних режимах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу, пов'язану з виділенням класу об'єктів управління та їх загальних характеристик, для яких доцільне застосування алгоритмів координувального управління.

Основна частина

В якості прикладу об'єкта, в якому доцільно дотримувати співвідношення між регульованими величинами, може бути котельний агрегат або парогенератор відомої серії ДКВР [6]. В такому випадку варто зазначити, що основною енергетичною характеристикою котельної установки є ККД. Згідно з прямим методом визначення,

ККД котельного агрегату визначається виразом: $\eta_k = Q_k / Q_n$, де Q_k – корисна енергія, що передається теплоносію; Q_n – теплова корисна енергія, що виділяється внаслідок хімічної реакції горіння [9, 10].

Зворотний метод визначення ККД котла можливий при відомих складових втрат тепла і відповідно представляється таким чином:

$$\eta_k = 1 - q_1 - q_2 - q_3 - q_4$$

де, q_1 – втрати тепла з вихідними газами, %;

q_2 – втрати тепла хімічним недопалом, %;

q_3 – втрати тепла від поверхні котла, %;

q_4 – втрати тепла з механічним недопалом, %.

У цьому випадку слід зазначити, що Q_k і відповідно втрата q_2 залежить від співвідношення паливо-повітря G_T/G_V або газ-повітря G_g/G_V при подачі в топку або в камеру згоряння агрегату.

З іншого боку ключовим параметром, що визначає ККД котельного агрегату є температура вихідних газів, яка в деякій мірі також залежить від пропорції газоповітряної суміші G_g/G_V .

Для підтримки відповідної пропорції газоповітряної суміші, в системі автоматизації парогенератора ДКВР передбачено регулятор співвідношення «паливо-повітря». Як видно з рисунка 1, регулятор витрати повітря входить до складу слідкуючої САР. Відповідно значення витрати газу (палива) представляється як вплив заданого



значення для контуру регулювання витратою повітря. В такому випадку можна виділити канали регулювання «управляючий вплив u_1 – витрата палива F_T – тиск пару P_h » та «управляючий вплив u_2 – витрата повітря F_V » [11].

Таким чином, показник P енергоефективності роботи котельного агрегату може залежати від співвідношення значень двох змінних.

Така необхідна підтримка співвідношення між регульованими змінними має місце не тільки в парогенераторах та котельних агрегатах, а і в двигунах внутрішнього згоряння, газотурбінних двигунах, реактивних двигунах і в кінцевому випадку в рідинно-реактивних двигунах (РРД).

У турбореактивному двигуні або газотурбінній установці для забезпечення мінімальної витрати палива G_T , при заданій тяги, необхідно підтримувати відповідне співвідношення за рахунок регулювання параметрів осьового компресора, який встановлений до камери згоряння (Рисунок 2). Відомо, якщо компресор має один або декілька поворотних направляючих апаратів, то задане значення тяги можливо отримати при різних значеннях витрати палива G_T , швидкості обертання валу та кутів установки лопаток направляючих апаратів.

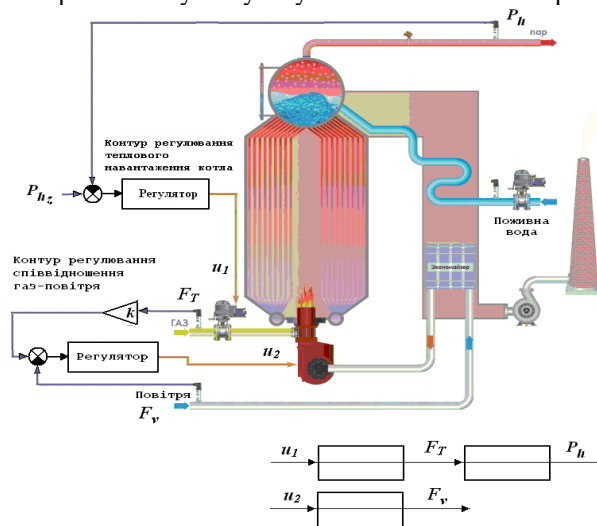


Рис. 1 – Структурно-технологічна схема парогенератора ДКВР
Fig. 1 – Control block diagram and DKVR steam generator cross section

ККД камери згоряння турбореактивного двигуна може бути представлений залежністю: $\eta = f(G_T, P_k, T_G, G_V)$, де G_V – витрата повітря до камери згоряння, P_k – тиск повітря після компресора, T_G – температура газу перед турбіною, після камери згоряння. При цьому T_G залежить від співвідношення G_T/G_V [4, 12].

Якщо в газотурбінній установці важливо регулювання параметрів компресора і турбіни, встановлених на одному валу, то в РРД необхідне співвідношення паливо-окислювач забезпечується за рахунок відповідної роботи турбонасосних агрегатів [13]. Якщо розглядати РРД виконаний за схемою з допалюванням генераторного газу, технологічна схема якого представлена на рисунку 3, то в даному випадку можна виділити два канали регулювання: «управляючий вплив u_1 – витрата палива F_T » для регулювання тяги та «управляючий вплив u_2 – витрата окислювача F_V » для регулювання співвідношення компонентів.

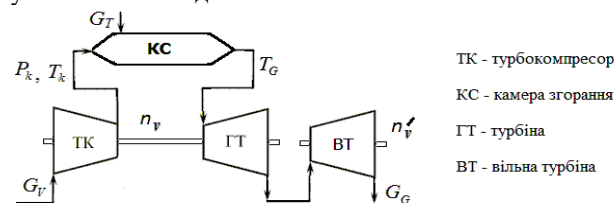


Рис. 2 – Параметризована технологічна схема газотурбінного двигуна
Fig. 2 – Schematic diagram of turbojet engine

Як видно з рисунка 3, турбіна і турбонасоси розташовані на одному валу в зв'язку з цим є перехресний зв'язок між каналами регулювання.

Котельний агрегат, газотурбінний двигун, РРД та відповідні технологічні об'єкти мають екстремальні характеристики, які можуть відображати оптимальне співвідношення компонентів, що підводяться в камеру згоряння. Однак, в даному випадку, екстремальні характеристики можуть бути пов'язані не тільки із співвідношенням компонентів паливо-повітря. Якщо розглядати окремо осьовий компресор газотурбінної установки то можна відзначити, що він має свою екстремальну характеристику пов'язану зі швидкістю обертанням валу, кутом установки лопаток направляючого апарату і тп. Компресори динамічного принципу дії – осьові чи відцентрові характеризуються такими характеристиками:

$$\pi_k = f(G_{vk}), \eta_k = f(G_{vk}), N_k = f(G_{vk}),$$



де, $\pi_k = P_k / P_o$ – ступінь підвищення тиску; P_k – тиск нагнітання; P_o – тиск всмоктування;
 G_{vk} – продуктивність компресора;
 η_k – ККД компресора; N_k – потужність.

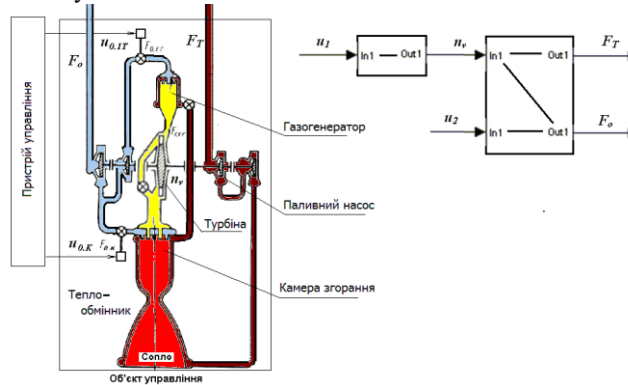


Рис. 3 – Схема реактивного двигуна з допалюванням генераторного газу. Fig. 3 – Rocket engine schematic

Такі характеристики $\eta_k = f(G_{vk})$, $N_k = f(G_{vk})$ є екстремальними, і демонструють дрейф екстремуму при різних положеннях регулюючого органу і швидкостях обертання валу компресора.

Наприклад, при розгляді компресора динамічного принципу дії холодильної установки, можна відзначити, що регульовані змінні об'єкту управління, такі як швидкість обертання валу n_v і тиск конденсації P_k пов'язані з характеристиками $\eta_k = f(G_{vk})$, $N_k = f(G_{vk})$.

Відомо що, відцентровий компресор – компресор динамічного принципу дії, необхідно розглядати разом із системою (мережею), з якою він працює. Для турбокомпресорних холодильних установок робота відцентрового компресора пов'язана з теплообмінними апаратами – випарником та конденсатором. Таким чином, при побудові характеристик холодильної турбокомпресорної установки і при визначенні робочих точок режимів функціонування, поєднують характеристики компресора $\pi_k = f(G_{vk})$, $\eta_k = f(G_{vk})$ з характеристиками

конденсатора $t_k = f(G_{vk}, t_{w1})$, де t_k – температура конденсації, t_{w1} – температура води, що охолоджує, на вході в конденсатор, G_{mw} – витрата води на конденсаторі, при відповідному тиску кипіння P_{kin} . У цьому випадку така холодильна установка, що представлена на рисунку 4, може бути об'єктом координувального управління, в якій необхідно при впливах, що збурюють, координувати зміну швидкості обертання валу компресора n_v і витрату охолоджуючого середовища на конденсаторі G_{mw} в залежності від ступеня підвищення тиску π_k [14].

Виділення загальної структурної схеми об'єкта координувального управління

З урахуванням композиції окремих структурних схем об'єктів управління, представлених на рисунках 1 – 4,

та з урахуванням відповідних характеристик: $\eta_k = f(G_{vk})$, $\eta = f(G_{vk}, P, T)$ можна визначити загальну структурну схему об'єкта координувального управління. Як показано на рисунку 5, можна виділити власне об'єкт координації, вихідні регульовані (координовані) змінні якого всі пов'язані з оптимізованою змінною P . Пунктирними лініями, зазначені зв'язки між змінними об'єкта, які можуть не існувати і при цьому схема координувального управління залишається незмінною.

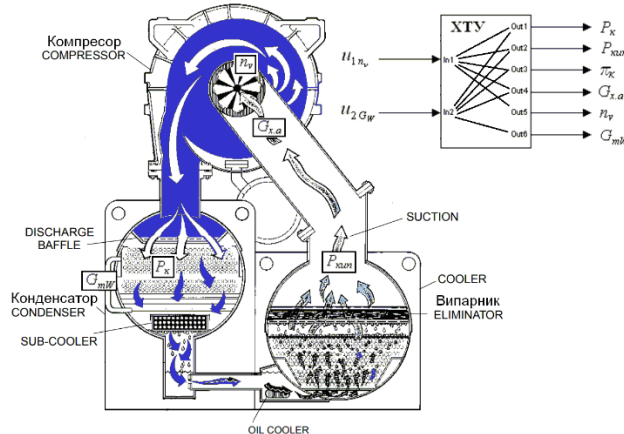




Рис. 4 – Схема турбокомпресорної установки

Fig. 4 –Diagram of refrigeration machine with turbocharger

При розгляді загальної структурної схеми об'єкта координувального управління, слід зазначити, що регульовані змінні у пов'язані з регульованими співвідношеннями при виділенні однієї провідної координати y_i ,

де $i = 1 \dots m$, при координувальному управлінні. При цьому оптимізована змінна P є функцією $P=f(y_1, \dots, y_m)$ від змінних рівних кількості n управляючих впливів. У такому випадку можна синтезувати координувальну систему, що забезпечує відпрацювання нев'язок регульованих співвідношень і відпрацювання сигналу неузгодженості між фактичним значенням провідної регульованої змінної y_i і заданим значенням y_{iz} .

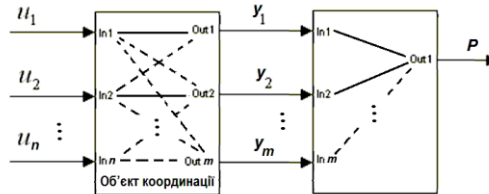


Рис. 5 – Загальна структурна схема об'єкта координувального управління

Fig. 5 – General block diagram of the coordinating control object

Результати дослідження

З розглянутих прикладів технологічних об'єктів можна зробити висновок, що об'єкти координувального управління мають два і більше каналів регулювання і при цьому оптимізована змінна в системі управління має бути функцією від відповідних двох і більше регульованих змінних. У такому разі доцільно координувати регульовані змінні при різних режимах функціонування об'єкта для забезпечення екстремального значення оптимізованої змінної P . В іншому випадку, якщо немає необхідності координувати зміну регульованих величин у перехідних режимах, то слід не вдаватися до динамічної зв'язності каналів регулювання за рахунок синтезу автоматичної системи координувального управління. Тут необхідно враховувати, що прагнення до динамічної зв'язності каналів регулювання, у відповідних випадках, може призвести до погіршення якості регулювання за деякими окремими каналами ОУ.

Зрештою, у результаті проведених досліджень різних технологічних об'єктів, була виділена загальна структурна схема об'єкта координувального управління і також відзначено ряд його особливостей для доцільного застосування алгоритмів координувального управління.

Висновки

У даній роботі було вирішено задачу, пов'язану з виділенням класу об'єктів управління і їх загальних характеристик та особливостей для подальшого синтезу координувальних систем автоматичного управління.

Виділення класу об'єктів управління та їх загальних характеристик дозволяє підійти до синтезу координувальних систем автоматичного управління, для відповідних об'єктів. Подальші наукові дослідження безпосередньо мають бути пов'язані з автоматизацією налаштування систем координувального управління так як у теперешній час немає достатньо простих методик їх синтезу. Така автоматизація дасть можливість розширити сферу застосування багаторівневих координувальних систем автоматичного управління.

Перелік використаних джерел

- [1]. Utkin, V.A. Invariance and Independence in Systems with Separable Motion // *Automation and Remote Control* 62(11) – 2001 – pages 1825–1843. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1012790223645>
- [2]. Visioli, A. A new ratio control architecture // *Industrial & engineering chemistry research* 44(13) – 2005 – pages 4617-4624. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie048893h>
- [3]. Гурський, О. О. Розробка моделі газотурбінного двигуна на основі даних перерахування характеристик компресора динамічного принципу дії [Текст] / О.О. Гурський, О. Є. Гончаренко, С. М. Дубна // Холодильна техніка та технологія. – Одеса: 2019. – № 2 (55). – С. 132–140. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v55i2.1362>
- [4]. Гурський, О. О. Система управління, забезпечующая энергоэффективное функционирование холодильной турбокомпрессорной установки [Текст] / О.О. Гурський, В.А. Денисенко, О.Є. Гончаренко // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів – Одеса: 2015. – № 1. – С. 62–67. DOI: <https://doi.org/10.15673/2312-3125.21/2015.42866>
- [5]. Романенко, В. Д. Координуюче керування багатовимірним об'єктом із різнометровою дискретизацією в стохастичному середовищі [Текст] / В. Д. Романенко, Ю. Л. Мілявський // Системні дослідження та інформаційні технології – Київ: 2011. – № 2. – С. 7–20. ISSN 1681–6048
- [6]. Huang, H. P. A direct method for multi-loop PI/PID controller design [Text] / H. P. Huang, J. C. Jeng, C. H. Chiang, & W. Pan // *Journal of process control*. – Volume 13, Issue 8/2003 – pages 769-786. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(03\)00009-X](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(03)00009-X)
- [7]. Jin, Q. Multi-loop PI/PID controllers design for disturbance rejection based on non-parametric effective model and non-convex optimisation [Text] / Q. Jin, & Q. Liu // *IET Control Theory & Applications* – Volume 8, Issue 15/2014 – pages 1499-1512. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2013.0907>



- [8]. Vakkilainen, E. K. Modern method to determine recovery boiler efficiency [Text] / E. K. Vakkilainen, & P. Ahtila // *O Papel* – Volume 72, Issue 12/2011 – pages 58-65. ISSN: 0031-1057
- [9]. Wienese, A. Boilers, boiler fuel and boiler efficiency [Text] // *In Proc S Afr Sug Technol Ass* – Volume 75 – 2001 – pages 275-281.
- [10]. Дыхнилкин, В.В. Замена регулятора P25: поиск оптимального варианта / В.В. Дыхнилкин, В.Б. Онуфрик, Р.О. Лукашук // *Мир Автоматизации* №1 Март 2013. URL: https://new.microl.ua/post/zamena_regulyatora_08-09-2021/ (Дата звертання: 12.07.2023)
- [11]. Leylek, Zafer, et al. An investigation into performance modeling of a small gas turbine engine [Text] / Z. Leylek, W. S. Anderson, G. Rowlinson, & N. Smith. // *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*. Vol. 55195. American Society of Mechanical Engineers, 2013. – 30 pages. <https://doi.org/10.1115/GT2013-94405>
- [12]. Pérez-Roca, S. A survey of automatic control methods for liquid-propellant rocket engines. [Text] / S. Pérez-Roca, J. Marzat, H. Piet-Lahanier, N. Langlois // *Progress in Aerospace Sciences* – Volume 107, May/2019 – pages 63-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2019.03.002>
- [13]. York Model YT Style H Millennium Centrifugal Chiller Operating and Maintenance. URL: <https://cgproducts.johnsoncontrols.com/yorkdoc/160.48-o1.pdf> (Дата звертання: 25.05.2023)

References

- [1]. Utkin, V.A. (2001) Invariance and Independence in Systems with Separable Motion. *Automation and Remote Control*, Volume 62, Issue 11 – pages 1825–1843. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1012790223645>
- [2]. Visioli, A. (2005) A new ratio control architecture. *Industrial & engineering chemistry research*, 44(13)–pages 4617-4624. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie048893h>
- [3]. Gurskiy, A. A., Goncharenko, A.V., Dubna, S. M. (2019) Rozrobka modeli gazoturbinnogo dviguna na osnovi danih pererahuvannya karakteristik kompresora dinamichnogo principu dii [The development of the turbojet model on the basis of data received as a result of the recalculation of the turbo compressor characteristics]. *Refrigeration Engineering and Technology*. No. 2. –pages132–140. DOI: <https://doi.org/10.15673/ret.v55i2.1362>
- [4]. Gurskiy, A. A., Goncharenko, A. E., Denisenko, A.V. (2015) Sistema upravlenija, obespechivajushhaja jenergojeffektivnoe funkcionirovanie holodil'noj turbokompressornoj ustanovki [The control system providing the efficient functioning of the refrigeration plant]. *Automation of technological and business processes*. No. 1. – pages 62–67. DOI: 10.15673/2312-3125.21/2015.42866
- [5]. Romanenko, V. D., Milyavskiy, Yu. L. (2011) Koordinujuče keruvannya bagatovimirmim ob'ektom iz riznotempovoju diskretizaciju v stohastichnomu seredovishhi [Coordinative control of a multidimensional object with different tempo discretization in a stochastic environment]. *System Research & Information Technologies*. No. 2. – pages 7–20. ISSN 1681–6048
- [6]. Huang, H. P., Jeng, J. C., Chiang, C. H., (2003) A direct method for multi-loop PI/PID controller design. *Journal of process control*, Volume 13, Issue 8 – pages 769-786. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0959-1524\(03\)00009-X](https://doi.org/10.1016/S0959-1524(03)00009-X)
- [7]. Jin, Q., Liu, Q. Multi-loop PI/PID controllers design for disturbance rejection based on non-parametric effective model and non-convex optimization. *IET Control Theory & Applications*, Volume 8, Issue 15/2014 – pages 1499-1512. DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-cta.2013.0907>
- [8]. Vakkilainen, E. K. (2011) Modern method to determine recovery boiler efficiency. *O Papel*, Volume 72, Issue 12 – pages 58-65. ISSN: 0031-1057
- [9]. Wienese, A. (2001) Boilers, boiler fuel and boiler efficiency. *In Proc S Afr Sug Technol Ass*. Volume 75– pages 275-281.
- [10]. Dykhnilkin, V.V. Onufrik V.B., Lukashchuk R.O. (2013) Zamena regulyatora R25_ poisk optimalnogo varianta [Replacing the P25 regulator: searching for the best option]. *World of Automation* №1 March 2013. URL: https://new.microl.ua/post/zamena_regulyatora_08-09-2021/ (Accessed: 12.07.2023)
- [11]. Leylek, Zafer, et al. (2013) An investigation into performance modeling of a small gas turbine engine. *Turbo Expo: Power for Land, Sea, and Air*. Vol. 55195. American Society of Mechanical Engineers, – 30 pages. <https://doi.org/10.1115/GT2013-94405>
- [12]. Pérez-Roca, S., Marzat, J., Piet-Lahanier, H., Langlois, N., A survey of automatic control methods for liquid-propellant rocket engines. *Progress in Aerospace Sciences*, 2019. Volume 107, May 2019, pages 63-84
- [13]. York Model YT Style H Millennium Centrifugal Chiller Operating and Maintenance. URL: <https://cgproducts.johnsoncontrols.com/yorkdoc/160.48-o1.pdf> (Accessed: 25.05.2023)

Отримана в редакції 04.09.2023. Прийнята до друку 04.10.2023. Received 04 September 2023. Approved 04 October 2023. Available in Internet 03 January 2024