Volume 11, Issue 1 /2019

ISSN 2312-3125 (print), **ISSN 2312-931X** (online)

UDC 681.5+66-933.6+338.364

Editor-in-chief:
Artemenko S., prof. (Odessa, Ukraine)

Honorary scientific consultant:
Khobin V., prof. (Odessa, Ukraine)

Deputy chief editors:
Kotlyk S., PhD (Odessa, Ukraine)
Yehorov V., PhD (Odessa, Ukraine)

Editorial Board:
Montik P., prof. (Odessa, Ukraine)
Kniazieva N., prof. (Odessa, Ukraine)
Plotnikov V., prof. (Odessa, Ukraine)
Dorofieiev Y., PhD (Kharkiv, Ukraine)
Tymchenko V., prof. (Mykolayiv, Ukraine)
Zhuchenko A., prof. (Kiev, Ukraine)
Kirichenko L., prof. (Kharkiv, Ukraine)
Radivilova T., PhD (Kharkiv, Ukraine)
Konovenko N., PhD (Odessa, Ukraine)
Apostolos Korlos, prof. (Thessaloniki, Greece)

Executive editor:
Titlova O.O., PhD (Odessa, Ukraine)

Computer design and imposition:
Kozub O.O. (Odessa, Ukraine)

Founder:
Odessa National Academy of Food Technologies

Address of the editorial office:
Ukraine, Odessa, Kanatnaya str, 112, 65039,
tel.: (048)712-42-54, e-mail:
journal.atbp@gmail.com

It's sent for the press 22.03.2019.
It's recommended for printing and publishing online by academic council of Odessa National Academy of Food Technologies
06 March 2019, protocol № 8

Articles are printed in original language

It's allowed to use materials from the journal according to the Creative Commons license: CC-BY.

It's printed in publishing house of Diol Print corp. (Odessa). Circulation is 500 copies.

Журнал реферується і індексується 14-ма провідними Світовими базами даних і індексними системами: EBSCO Information Services, ISSN, CrossRef, NBUV, Directory of Open Access Journals (DOAJ), ROAD, Google Scholar, OCLC WorldCat, Bielefeld Academic Search Engine (BASE) ULRICHS WEB Global Serials Directory, Index Copernicus International, а також ELibrary.

Журналу присвоєно Міжнародний стандарт якості ISO 26324: 2012. Стандарт свідчить про те, що кожній статті опублікованій в нашому журналі в обов'язковому порядку присвоюється Міжнародний цифровий індентіфікатор DOI номер (Digidatl Object Identifier). Це в свою чергу гарантує, що доступ до матеріалу статті буде доступний для читачів незалежно від будь-якого роду форс-мажорних ситуацій.
Згідно з Міжнародними нормами журналу присвоєна ліцензія Creative Commons CC-BY Atribution, яка фіксує звід правил щодо захисту авторських прав авторів. Для збільшення рівня цитованості статей, опублікованих в нашому журналі вченими з усього Світу, і, як наслідок, збільшення індексу цитування наших авторів, редакція журналу АТБП оформляє всі пристатейні списки літератури відповідно до IEEE Citation Style (стиль цитування Міжнародної асоціації Institute of Electrical and Electronics Engineers).

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ І БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ

ЗМІСТ

Ковриго Ю.М., Новіков П.В. Двоканальний нечіткий контролер для регулювання технологічних параметрів в умовах нестаціонарності динамічних характеристик об'єкта керування……..... 4

Жученко О.А. Параметрична ідентифікація прогнозувальної моделі у системі керування об'єктів з розподіленими параметрами..... 13

Захарченко Н.В., Гаджиев М.М., Иванова Л.В., Сулима Ю.Ю., Шпак Д.М., Гордийчук В.В. Аналіз впливу збільшення потужності ансамблю таймерних сигнальних конструкцій, що використовуються, при постійній тривалості кодових конструкцій на швидкість передачі інформації в цифрових системах зв'язку..... 19

Дрозд О.В., Сандлер А.К. Проблеми технічної експлуатації суднових стрічкових транспортерів..... 24

Сандлер А.К. Модифікатор важких паливних сумішів..... 27

Ковальчук Д.А., Мазур О.В., Хобін В.А. Дослідження процесів утилізації тепла пароповітряних сумішей: результати експериментів, структурна та параметрична ідентифікація основних каналів об'єкту..... 32

Воінова С.О. Управління показниками экологічності технічних об'єктів..... 43

Сулейманов Т.И., Мустафазаде Н.Х., Гулузаде Р.К., Гаджиев М.М., Иванова Л.В. Автоматизація моделювання та прогнозування атмосферного забруднення..... 47

AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL AND BUSINESS-PROCESSES

CONTENT

Kovrygo Yu., Novikov P. Two-channel fuzzy controller for control technological parameters under conditions of non-stationary plant dynamic characteristics..... 4

Zhuchenko O. Parametric identification of the predictive model in the system of control of objects with distributed parameters..... 13

Zakharchenko N., Hadzhyiev M., Ivanova L., Sulyma Y., Shpak D., Hordiichuk V. Analysis of the effect of increase of the power of the used ensemble of timer signal constructions with a constant duration of the code structures on the speed of information transfer in digital communication systems……..... 19

Drozd O., Sandler A. Problems of technical operation of vessels ribbon conveyors..... 24

Sandler A. Modificator of hard fuel mixtures..... 27

Kovalchuk D., Mazur O., Khobin V. A research of steam-air mixtures heat utilization processes: experiment results, structural and parametric identification of the object main channels..... 32

Voinova S. Technical objects' ecological efficiency indicators control..... 43

Suleymanov T., Mustafazade N., Huluzade R., Hadzhyiev M., Ivanova L. Automation of modeling and forecasting of atmospheric pollution..... 47

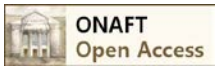
УДК 681.516.75

ДВОКАНАЛЬНИЙ НЕЧІТКИЙ КОНТРОЛЕР ДЛЯ РЕГУЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОСТІ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

Ковриго Ю.М.[1], Новіков П.В.[2]

[1,2] – Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"; м. Київ, пр. Перемоги, 37
ORCID: [2]http://orcid.org/0000-0002-2790-5809
E-mail: [1]yukovrygo@gmail.com, [2]p.novikov@kpi.ua

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0



DOI:

Анотація: *Розглянуто схему системи автоматичного керування з двоканальним нечітким контролером при регулюванні технологічних параметрів в умовах нестаціонарності динамічних характеристик об'єкта керування. Актуальність даного дослідження полягає у використанні більш складних структур керування, коли необхідно добитися малих відхилень показників якості керування за умов зміни параметрів моделі керування. Застосування схем з предикторами і алгоритмами адаптації обмежене на об'єкта теплоенергетики, зокрема прямоточних котлоагрегатах. Як вдосконалення існуючих систем розповсюдженим підходом є реалізація ПІД-алгоритму регулювання за допомогою нечіткого регулятора, а потім за рахунок підбору функцій належності і побудови бази правил відбувається вдосконалення алгоритму регулювання. На відміну від описаної схеми, в основі побудови двоканального нечіткого контролера лежить не ПІД-закон, а знання і досвід оператора при регулюванні технологічного параметра в ручному режимі. Визначені діапазони вхідних і вихідних змінних fuzzy-контролера. На основі експертних знань і аналізу дій оператора укладено базу правил для блоків нечіткої логіки. Виконано математичне моделювання спроектованої системи. Проведено порівняння одноконтурної системи при незмінних налаштуваннях регулятора і двоканального нечіткого контролера для різних режимів роботи об'єкта, що визначаються змінним навантаженням енергоблоку ТЕС. Розраховано показники якості функціонування обох систем. Застосування двоканального нечіткого контролера забезпечує сталість показників якості функціонування системи автоматичного регулювання. При цьому забезпечується робастність системи автоматичного регулювання за стійкістю в умовах параметричної нестаціонарності досліджуваного об'єкта.*

Abstract: *We studied an automatic control system with two-channel fuzzy controller under conditions of non-stationarity of parameters of the control object's model. The relevance of present research is in the application of more complex control structures to achieve small deviations in quality control parameters under conditions of change in the parameters of control model. The application of circuits with predictors and adaptation algorithms is limited to the object of thermal power engineering. A common approach is implementing the PID control algorithm using a fuzzy controller. Then by selecting the membership functions and building the rule base the control algorithm is improved. In contrast to the described scheme the basis of building a two-channel fuzzy controller is not the PID law but the knowledge and experience of the operator in control the technological parameter in manual mode. The ranges of input and output variables of the fuzzy controller are defined. Based on expert knowledge and analysis of the actions of the operator a rule base for both blocks of fuzzy logic is formed. Mathematical modeling of the designed system was performed. We compared a single-circuit system at constant settings of the controller and the system with two-channel fuzzy controller for different states of an object that are determined by variable parameters of its model. Parameters of operation quality of both systems were calculated. Application of two-channel fuzzy controller warrants the constancy of the automation control system operation quality. Also in this case ensures the robustness of the automatic control system for stability in terms of parametric nonstationarity of the plant.*

Ключові слова: нечітка логіка, нестаціонарність, запас стійкості, система керування, робастність.

Keywords: fuzzy logic, nonstationarity, stability margin, control system, robustness.

Вступ

На сучасному етапі розвитку енергетики України є актуальним модернізація енергоблоків діючих ТЕС, що працюють в маневрових режимах, з метою підвищення їх ефективності та надійності функціонування, введення більш точного регулювання навантаження енергоблоків для покращення якості електроенергії та стійкості загальної енергосистеми.

Об'єкти регулювання ТЕС у більшості випадків змінюють свої параметри як у межах доби (при зміні навантаження енергоблоку), так і під час тривалої експлуатації (фізичний знос, технічна модернізація тощо). Нестаціонарність динамічних характеристик досить часто зустрічається в об'єктах теплоенергетики, що використовують спалення органічного палива. Особливо це відчутно при зміні виду палива. Визначення меж такої нестаціонарності для працюючого обладнання, в багатьох випадках, стає майже нездійсненним. Це зумовлено, по-перше, обмеженістю проведення на такому обладнанні експериментальних досліджень. По-друге, має місце неповнота математичного опису, що зумовлена лінеаризацією та апроксимацією характеристик його елементів. Всі ці чинники спричиняють суттєві розбіжності між результатами моделювання поведінки синтезованих автоматичних систем регулювання (АСР) та реальними експериментальними даними, отриманими під час пуско-наладки. Результатом незадовільної якості функціонування стандартних регуляторів є практика, коли оператори ТЕС вимушені переходити на ручний режим керування, щоб уникнути великих динамічних викидів і тривалих низькочастотних коливань технологічних параметрів котлоагрегатів.

Описаний вплив чинників, які спричиняють параметричну нестаціонарність, робить актуальним використання більш сучасних і складних алгоритмів керування. Вони повинні забезпечувати малі відхилення показників якості керування за умов зміни динамічних характеристик об'єкту навіть в достатньо великих межах. Як рішення даної задачі розглядається регулятор, побудований на основі нечіткої логіки. База правил нечіткого контролера укладається, виходячи із попереднього досвіду керування оператором цільовим об'єктом. Це дозволяє врахувати всі особливості об'єкта керування (враховуючи параметричну нестаціонарність) при виробленні керуючого впливу.

Існуючі методи керування складними інерційними об'єктами з транспортним запізненням

ПІД-регулятор відноситься до найбільш поширеного типу регуляторів. Приблизно 90-95% регуляторів [1], що знаходяться в даний час в експлуатації, використовують ПІД-алгоритм. Причинами такої високої популярності є простота побудови і промислового використання, ясність функціонування, придатність для вирішення більшості практичних завдань. Серед ПІД-регуляторів 64% припадає на одноконтурні регулятори і 36% – на багатоконтурні системи [2].

Для простих випадків, коли вимоги до якості функціонування невисокі, модель адекватна, ситуація зі збуреннями ясна – проблем з налаштуванням систем не виникає. Такі умови роботи складають 20-25% для систем регулювання в промисловості. Відповідно близько 70% АСР або працюють не ефективно, або ж взагалі не задовольняють поставленим вимогам [3]. Насправді проблема має комплексний характер і у неї немає простого рішення.

Для керування інерційними об'єктами з великим транспортним запізненням використовують спеціальні структури ПІД-регуляторів, що мають в своєму складі блоки для передбачення поведінки об'єкта через час запізнення – предиктори (від англ. *prediction* – прогнозування). Найбільш відома схема такого типу – предиктор Сміта. Його рекомендують застосовувати при співвідношенні величини запізнювання до постійної часу об'єкту 0,2…0,5 [2]. Проте регулятор, базований на формі предиктора Сміта дуже чутливий до варіацій значення запізнювання. Крім того, він гарно виконує стеження за уставкою, але погано відпрацьовує по каналу зовнішнього збурення.

Інша модифікація схеми с використанням моделі об'єкта – регулятор з внутрішньою моделлю об'єкта або *IMC* (від англ. *Internal Model Control*). Важливою особливістю регулятора з внутрішньою моделлю є можливість налаштування робастності незалежно від вибору інших параметрів регулятора. Для цього вибирають відповідний фільтр F або сталу фільтра λ. Регулятор з внутрішньою моделлю може дати дуже хорошу реакцію на зміну уставки, проте реакція на зовнішні збурення може бути занадто сповільненою [2].

Перевагою вище згаданих схем є краще відпрацювання перехідного процесу за каналом завдання-вихід. Тим не менш, застосування математичної моделі об'єкту має і свої слабкі місця. По-перше, ідеальна робота системи буде в тому випадку, якщо модель повністю співпадає з реальним об'єктом. На практиці процедура точної ідентифікації стикається із значною складністю аналітичного виводу моделі за допомогою диференційних рівнянь з одного боку, і з неточністю апроксимації при здійсненні активного експерименту – з іншого.

Крім того, через наявність нестаціонарності і нелінійності динамічних характеристик теплоенергетичних об'єктів використання схем з внутрішньою моделлю вимагає застосування алгоритмів адаптації, що значно ускладнює систему керування в цілому.

Останнім часом з'явилися цікаві рішення з проектування робастних систем на основі звичних і наочних частотних характеристик, а також на основі регулятора із внутрішньою моделлю.

Метод динамічної корекції [3, 5] полягає в зсуві амплітудно-фазової характеристики системи в найбільш важливому діапазоні частот. Збільшення запасу стійкості і формування потрібного керуючого впливу досягається використанням 2-х канальної структури. При цьому, основний канал відповідає за швидкодію і базується на ПІ-законі, а канал корекції, що діє з певною затримкою, компенсує надлишковий сигнал керуючого впливу на кінцевій ділянці перехідного процесу, забезпечуючи стійкість АСР. Такий клас регуляторів можна віднести до еквівалентно-адаптивних регуляторів змінної структури.

Інша методика базується на використанні регулятора з внутрішньою моделлю. Головна перевага полягає у тому, що стійкість замкнутої системи досягається за рахунок вибору стійкого ІМС регулятора. Задача синтезу зводиться до розрахунку одного параметра, який називатися мірою якості і по суті є параметром фільтру високих частот. За допомогою чисельного моделювання можна отримати однозначні залежності між мірою якості і основними показниками якості функціонування системи [5].

Вже три десятиліття активно проводяться дослідження щодо застосування нечіткої логіки в задачах керування технологічними процесами. Нечітке керування використовується при недостатніх знаннях про об’єкт керування (ОК), але при наявності досвіду керування ним. Таке керування доцільне в нелінійних або складних системах, ідентифікація яких занадто трудомістка [6]. Для застосування новітніх складних методів керування зазвичай не вистачає інформації про технологічний процес і надійних математичних моделей, що його описують [7]. Цим і пояснюється той факт, що деякі складні процеси успішно управляються вручну досвідченими операторами [8].

Нечітка логіка в ПІД-регуляторах використовується переважно двома шляхами: для побудови самого регулятора і для організації підстроювання коефіцієнтів ПІД -регулятора.

Одна із найбільш розповсюджених структур нечіткого ПІД-регулятора показана на рис. 1. На вхід регулятора поступає сигнал неузгодженості e і похідна сигналу неузгодженості de/dt. Обидві величини спочатку піддаються операції фазифікації, потім отримані нечіткі змінні використовуються в блоці нечіткого виводу для отримання вихідного сигналу, який після виконання операції дефазифікації подається на вихід регулятора як сигнал керування u.

В умовах параметричної нестаціонарності ОК особливо цікавий другий варіант (рис. 2), в якому нечіткий регулятор по суті виступає як блок адаптації коефіцієнтів основного ПІД-регулятора.

Відсутність блоку нечіткої логіки в основному каналі регулювання дозволяє в кожний окремо взятий момент часу розглядати систему керування як лінійну, а відтак, застосовувати добре відомі методи аналізу і синтезу лінійних систем, наприклад частотні характеристики [9]. Тем не менш, реалізація блоку адаптації для ПІД-регулятора викликає проблеми, оскільки він повинен мати три блоки нечіткої логіки у відповідності з трьома параметрами ПІД-регулятора, крім того дана структура не вирішує проблему безударного переходу між налаштуваннями регулятора, що можна спостерігати в роботі [8].

Постановка задачі

Метою дослідження є отримання алгоритму роботи системи автоматизації, що нечутливий до невизначеності параметрів об’єкту, враховує наявність запізнення у часі по каналах керування і збурення та гарантує при цьому задану якість регулювання у перехідних режимах роботи.

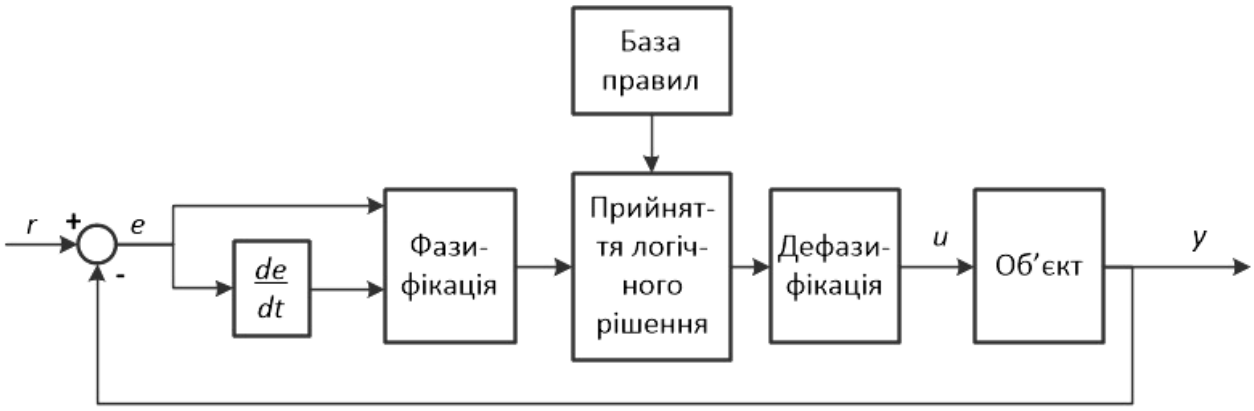


Рис. 1 – Структура нечіткого контролера

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– визначити діапазони вхідних і вихідних лінгвістичних змінних нечіткого контролера в умовах параметричної нестаціонарності ОК;

– на основі експертних знань про динаміку ОК розробити базу правил нечіткого контролера;

– провести порівняльний аналіз роботи системи з ПІД-регулятором і системи з нечітким контролером, визначити показники якості систем керування.

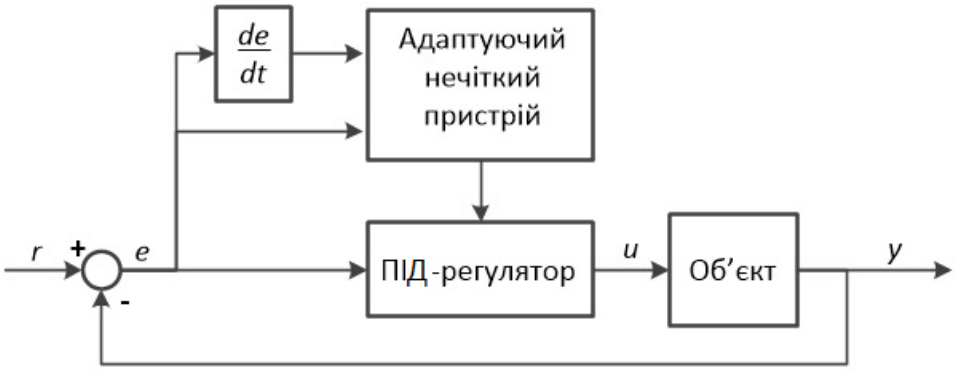


Рис. 2 – ПІД-регулятор з адаптуючим fuzzy-пристроєм

Синтез двоканального нечіткого контролера

Схема керування з двоканальним fuzzy-контролером зображена на рис. 3. В даній схемі як вхідні змінні двоканального fuzzy-контролера розглядаються сигнал неузгодженості *e* і похідна сигналу неузгодженості за часом *de*/*dt*. Відповідно для кожного з блоків нечіткої логіки необхідно визначити діапазон змін вхідних змінних і розбити кожен з діапазонів на лінгвістичні терми.

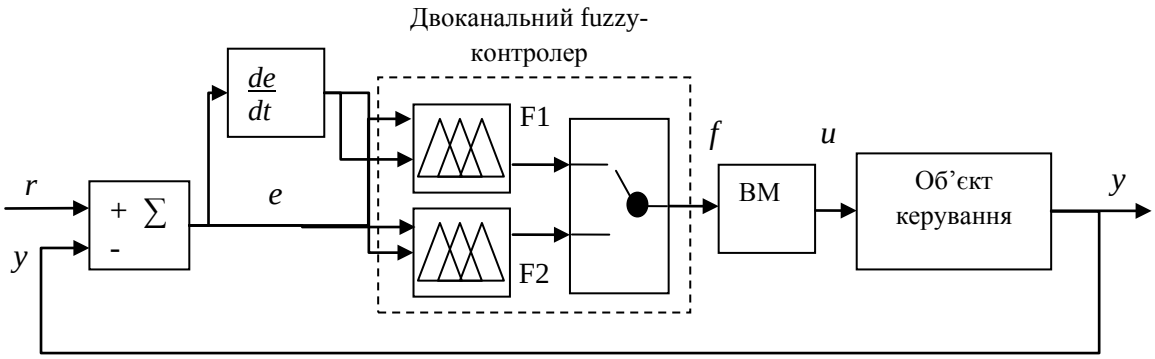


Рис. 3 – Схема керування з двоканальним контролером

r – завдання (уставка), *y* – вихідна величина, *u* – сигнал керування, *f* – послідовність імпульсів керування, *e* – сигнал неузгодженості, *de*/*dt* – похідна сигналу неузгодженості за часом, ВМ – виконавчий механізм

Розглянемо блок формування імпульсів F1. Він має два вхідних параметра і однин вихідний.

Для вхідного параметру *e* заданий діапазон від -10 °С до +10 °С. Такі межі зумовлені вимогами до точності підтримання температури перегрітої пари [10].

Для вхідного параметру *de*/*dt* заданий діапазон від -0,15 °С/с до +0,15 °С/с. Межі швидкості зміни сигналу помилки визначаються динамічними властивостями об'єкту керування та величною збурень. Даний діапазон отриманий на основі моделі, розробленої в роботі [4] при зміні положення органу керування на 10%.

Вихідним параметром блоку F1 є тривалість імпульсів. Діапазон зміни цього параметру задається на основі експертних знань і досвіду експлуатації конкретного об'єкта керування. Наприклад, якщо максимальна тривалість імпульсу з досвіду експлуатації при ручному режимі керування не перевищує 2 секунд, то діапазон зміни вихідного параметра можна визначити від - 2 с до 2 с. Від'ємні значення вихідного параметра свідчать про те, що імпульси керування повинні бути від'ємної полярності, щоб виконавчий механізм рухався в протилежному напрямку.

Для вхідного параметра *e* визначено сім лінгвістичних термів з наступними діапазонами: негативна велика (HNE), негативна середня (MNE), негативна мала (LNE), нульова (ZE), додатна мала (LPE), додатна середня (MPE), додатна велика (HPE).

У відповідності до визначеного діапазону [-10°С; +10°С] ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 4 а.

Аналогічним чином визначено п'ять лінгвістичних термів для вхідного параметру *de*/*dt*: негативна велика (HNDE), негативна середня (MNDE), нульова (ZDE), додатна середня (MPDE), негативна велика (HPDE).

У відповідності до визначеного діапазону [-0,15°С/с; 0,15°С/с] ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 4 б.

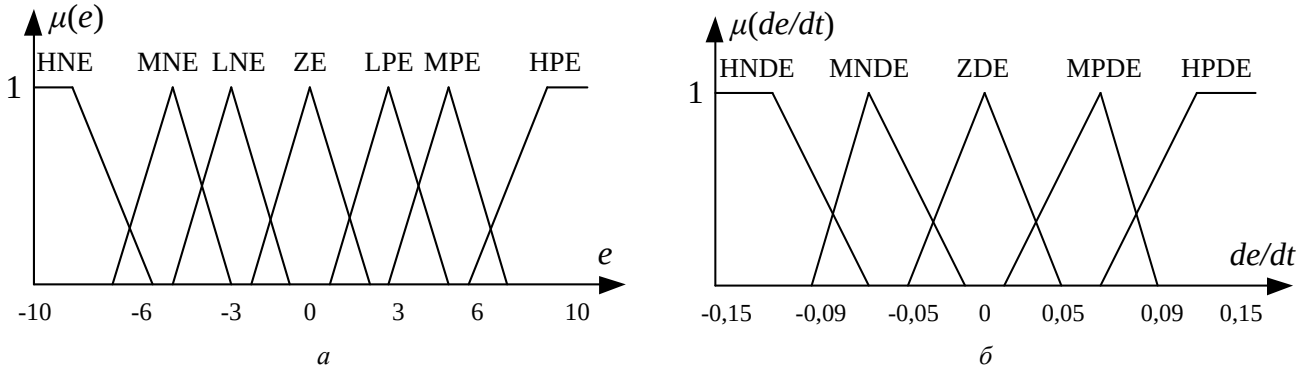


Рис. 4 – Функції належності вхідних сигналів: *а* – сигналу помилки *e*, б – швидкості зміни сигналу *e*

Блок F1 є блоком формування імпульсів, тому вихідним параметром є тривалість імпульсу, що вимірюється в секундах.

Вихідний сигнал блоку F1 позначається як f_1. Для вихідного параметра f_1 визначено п'ять лінгвістичних термів з наступними діапазонами: середньої тривалості на закриття (MNI), малої тривалості на закриття (LNI), зона нечутливості (ZI), малої тривалості на відкриття (LPI), середньої тривалості на відкриття (MPI).

У відповідності до визначеного діапазону [-2 с; +2 с] ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 5.

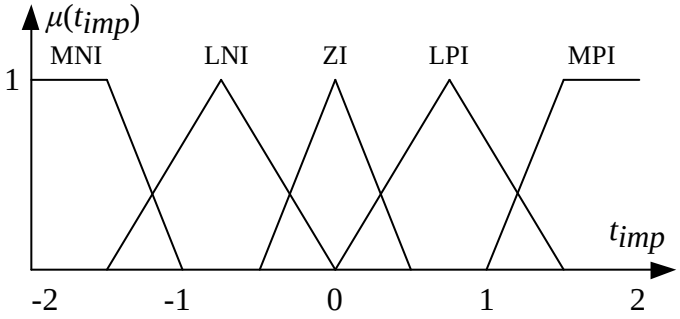


Рис. 5 – Функції належності вихідного сигналу блоку F1

На основі лінгвістичних термів всіх параметрів і їх функцій належності складено базу правил блоку нечіткої логіки. База правил для блоку F1 подана нижче у вигляді таблиці 1.

Таблиця 1 – База правил блоку нечіткої логіки F1

e / *de/dt*	HNE	MNE	LNE	ZE	LPE	MP	HPE
HNDE	*MNI*	*MNI*	*MNI*	*ZI*	*ZI*	*LNI*	*ZI*
MNDE	*MNI*	*MNI*	*LNI*	*ZI*	*ZI*	*ZI*	*ZI*
ZDE	*LNI*	*LNI*	*ZI*	*ZI*	*ZI*	*LPI*	*LPI*
MPDE	*ZI*	*ZI*	*ZI*	*ZI*	*LPI*	*MPI*	*MPI*
HPDE	*ZI*	*LPI*	*ZI*	*ZI*	*MPI*	*MPI*	*MPI*

Блок формування пауз F2 має ідентичні вхідні сингали, що і блок формування імпульсів F1 – сигнал помилки *e* і похідну від сигналу помилки *de*/*dt*. Діапазони сигналів теж ідентичні – від -10 °С до +10 °С для *e* і від -0,15 °С/с до +0,15 °С/с для *de*/*dt*. Відповідно, лінгвістичні терми сигналів *e* і *de*/*dt* є ідентичними, що і для блоку F1.

Вихідним параметром блоку F2 є тривалість пауз. Вихідний сигнал блоку F2 позначається як f_2. Для вихідного параметра f_2 визначено п'ять лінгвістичних термів з наступними діапазонами: дуже мала пауза (VLP), мала пауза (LP), середня пауза (MP), велика пауза (HP), дуже велика пауза (VHP).

У відповідності до визначеного діапазону [15 с; 30 с] ці терми у вигляді функцій належності наведено на рис. 6.

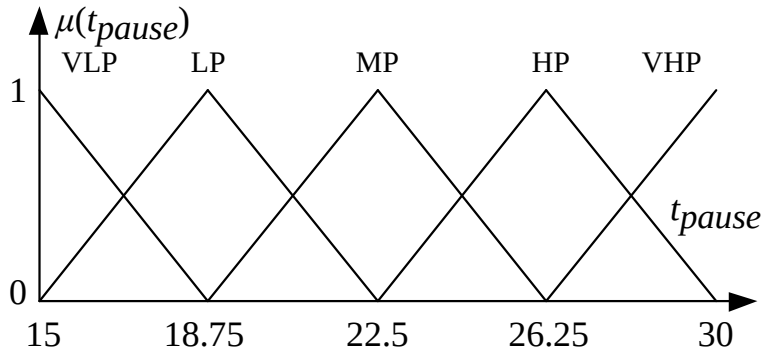


Рис. 6 – Функції належності вихідного сигналу блоку F2

База правил для блоку F2 подана нижче у вигляді таблиці 2.

Таблиця 2 – База правил блоку нечіткої логіки F2

e / *de/dt*	HNE	MNE	LNE	ZE	LPE	MP	HPE
HNDE	*VLP*	*VLP*	*LP*	*VHP*	*VHP*	*VHP*	*HP*
MNDE	*LP*	*MP*	*MP*	*VHP*	*VHP*	*VHP*	*HP*
ZDE	*MP*	*HP*	*VHP*	*VHP*	*VHP*	*HP*	*MP*
MPDE	*HP*	*VHP*	*VHP*	*VHP*	*MP*	*MP*	*LP*
HPDE	*HP*	*VHP*	*VHP*	*VHP*	*LP*	*VLP*	*VLP*

Моделювання системи з двоканальним нечітким контролером

Для побудови нечіткого адаптуючого пристрою використовувався пакет «Fuzzy logic toolbox» MATLAB. Базовим алгоритмом нечіткої логіки використовувався алгоритм «mamdani».

Модель замкненої системи керування із двоканальним нечітким контролером у середовищі Simulink представлена на рис. 7.

Як об’єкт керування розглянуто систему регулювання температури пари за верхньою радіаційною частиною (ВРЧ) прямоточного котлоагрегату ТПП-210А. Функція передачі цього контуру описується аперіодичною ланкою 2-го порядку з запізненням [4]:

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} e^{-\tau p} \quad (1)$$

Динамічні характеристики об’єкта керування залежно від навантаження енергоблоку наведені в таблиці 3 [4].

Таблиця 3 – Динамічні характеристики об’єкта керування

Навантаження енергоблоку, МВт	k	T_1	T_2	τ
225	3.1	90	45	25
275	1.9	84	42	20
300	1.6	80	40	17

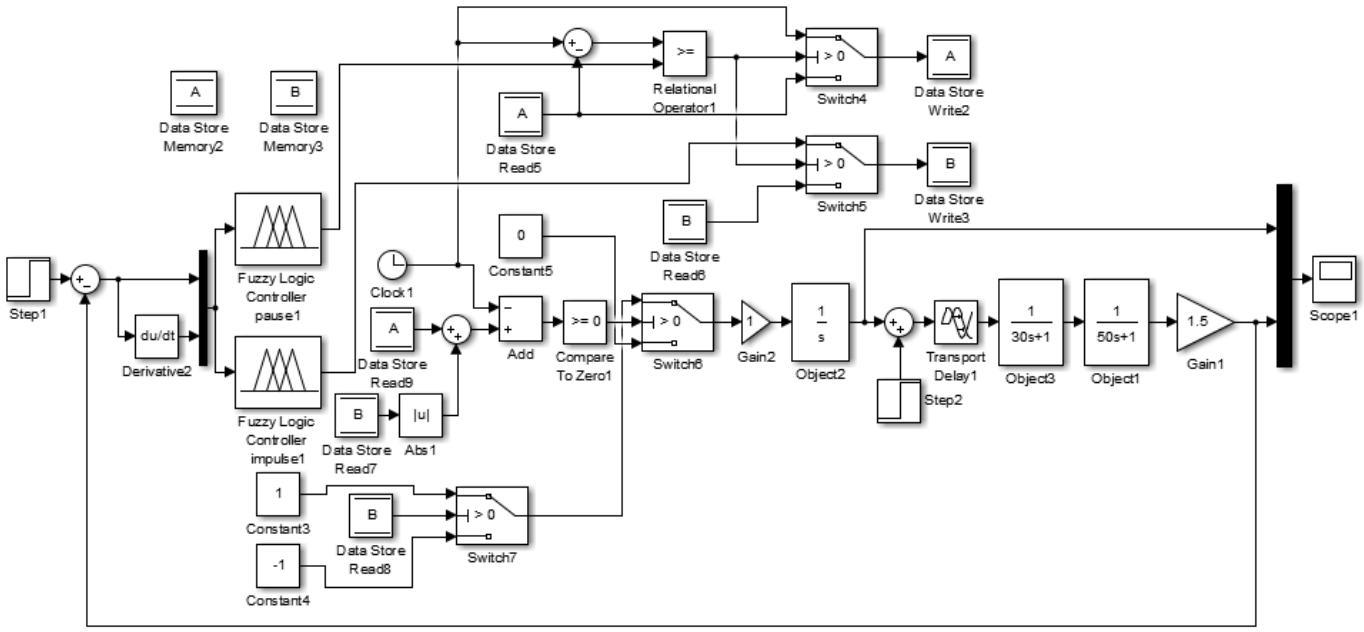


Рис. 7 – Модель замкненої системи керування з двоканальним нечітким контролером

Враховуючи специфіку ОК (прямоточний котел), основним каналом керування, який розглядається в даній роботі, прийнято канал «збурення-вихід». Це пов'язано з тим, що під час експлуатаційного циклу канал «завдання-вихід», як правило задіяний лише при виведенні ОК на заданий режим роботи. Весь інший час відбувається робота по каналу «збурення–вихід».

Схема з двоканальним нечітким контролером порівнювалася з класичним ПІД-регулятором паралельної структури. Параметри налаштування наступні: $k_П$=0.4, T_i=40, T_d=20.

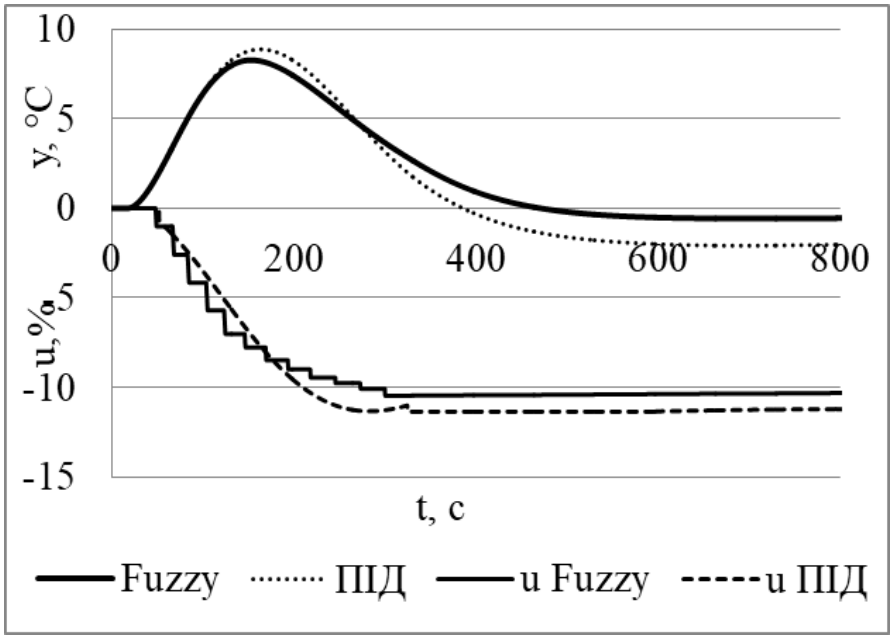


Рис. 8 – Перехідні процеси при 100% навантаженні

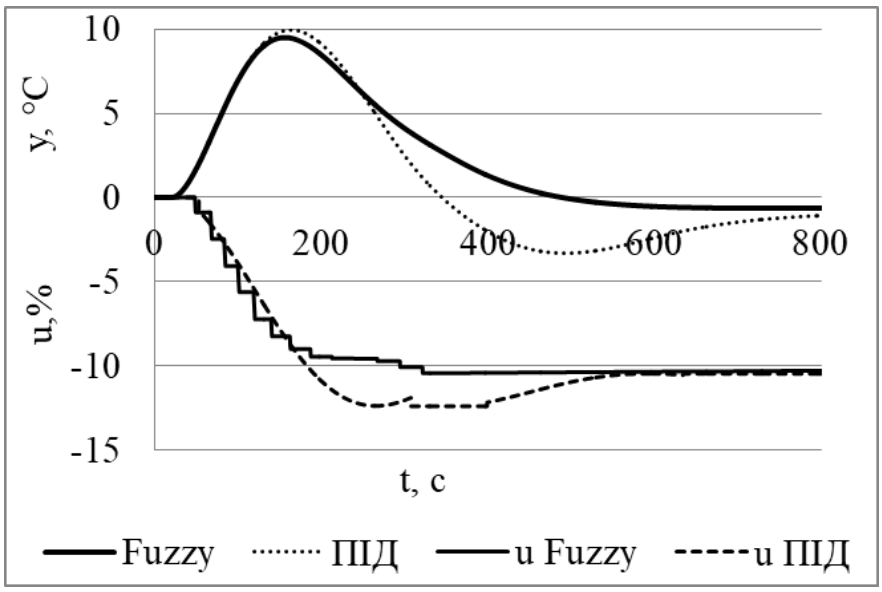


Рис. 9 – Перехідні процеси при 90% навантаженні

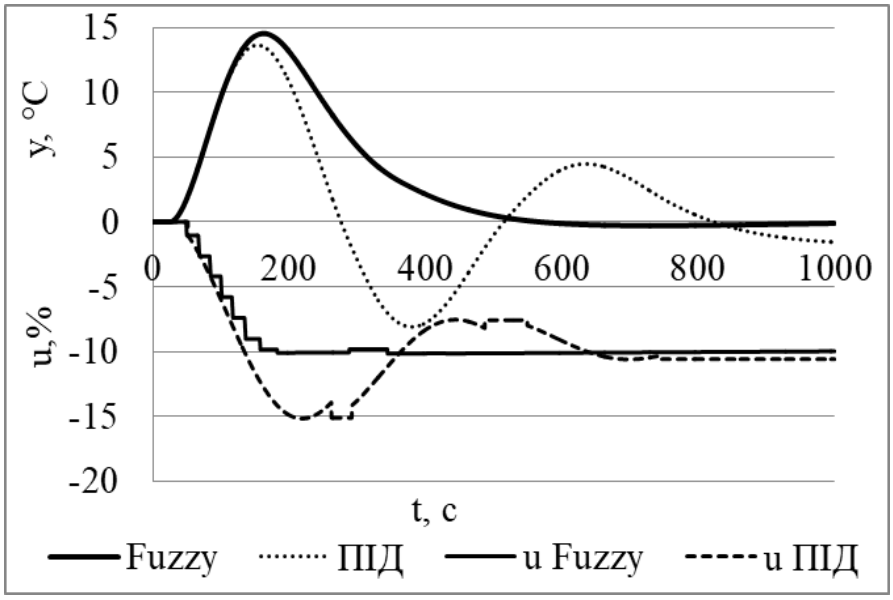


Рис. 10 – Перехідні процеси при 70% навантаженні

Таблиця 4 – Показники якості роботи систем для різних навантаженнях енергоблоку

Показники якості	70% навантаження		90% навантаження		100% навантаження	
	ПІД	Fuzzy	ПІД	Fuzzy	ПІД	Fuzzy
Максимальний динамічний закид, °С	8,86	8,25	9,95	9,5	13,63	14,53
Ступінь затухання	1	1	1	1	0,67	1
Час регулювання, с	400	450	700	480	980	520
Перерегулювання, %	0	0	35	0	55	0

Аналіз здійснювався шляхом порівняння перехідних характеристик у цільових системах керування в умовах параметричної нестаціонарності. Параметрична нестаціонарність моделювалася зміною динамічних характеристик об'єкта керування відповідно до навантаження енергоблоку.

При 100% навантаженні об'єкту керування системи керування з ПІД-регулятором і двоканальним нечітким контролером за каналом «збурення-вихід» дають приблизно однакову якість функціонування.

При збільшенні динаміки об'єкту керування (збільшенні коефіцієнта передачі k та збільшенні сталих часу T і транспортного запізнення τ) стабільність перебігу процесу в класичній системі погіршується. Час регулювання збільшується на 75%, з'являється перерегулювання 35%. База правил двоканального нечіткого контролера спроектована таким чином, що на початковій стадії перехідного процесу відбувається "форсований" керуючий вплив, а на завершальній стадії перехідного процесу зміни виконавчого механізму практично зводяться до нуля. Це призводить до зменшення коливальних характеристик. Порівняно з ПІД-регулятором, час регулювання збільшився не суттєво – приблизно на 6%.

Критичний стан об'єкта керування досягається при додатковому збільшенні часу чистого транспортного запізнення і збільшенні коефіцієнту підсилення. В цьому випадку перехідний процес в класичній одноконтурній системі керування з ПІД-регулятором має малий ступінь затухання – 0,67. Регулятор з двоканальним нечітким контролером справляється з даним погіршенням, перехідні процеси зберігають аперіодичний характер (ступінь затухання становить 1). Час регулювання збільшився порівняно із номінальним режимом на 15,5%, в той час як в системі з ПІД-регулятором – на 145%.

Висновки

1. Запропоновано схему з двоканальним нечіткими контролером для формування імпульсного керування об'єктом в умовах нестаціонарності його динамічних характеристик.
2. Ґрунтуючись на знаннях при динаміку об'єкту керування і можливі зміни параметрів його моделі, розроблена база правил для блоків логічного виводу двоканального нечіткого контролера. Для формування тривалості імпульсів керування і пауз між імпульсами використовувалися два окремі fuzzy-блоки.
3. Порівняльний аналіз показав, що одноконтурна АСР із двоканальним нечітким контролером краще пристосована до роботи з об'єктом керування, якому властива параметрична нестаціонарність. При збільшеній динаміці об'єкта керування двоканальний нечіткий контролер швидше долає збурення в системі керування, прямі показники якості істотно кращі, ніж у системі з класичним ПІД-регулятором.
4. Запропонований спосіб керування за допомогою двоканального нечіткого контролера передбачає нелінійну зміну амплітуди керуючих впливів залежно від величини неузгодженості і характеру її зміни. Це зменшує коливальну здатність системи та дозволяє утримувати її стійкою при набагато більш критичних станах об'єкта, ніж в системах з ПІД-регулятором.

Список використаних джерел

[1] O'Dwyer A. Handbook of PI and PID controller tuning rules. 3rd ed. / A. O'Dwyer // Dublin Institute of Technology. - 2009. - P. 624.
[2] Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: принципы построения и модификации / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. - 2007. - №1. - С.66–88.
[3] Ковриго Ю.М. Применение метода динамической коррекции в системах регулирования инерционными технологическими объектами / Ю.М. Ковриго, А.С.Бунке, П.В. Новіков // Scientific Science Rise. - 2016. - №1/2(18) - с. 21-27.
[4] Kovrigo, Yu.M. Modernizing the heat load control system of a oncethrough boiler unit at a thermal power station using a dynamic corrector / Yu. M. Kovrigo, M. A. Konovalov, A. S. Bunke // Thermal Engineering. - 2012. - 59(10). - P.772-778.
[5] Kovrigo, Yu. M. Securing Robust Control in Systems for Closed Loop Control of Inertial Thermal Power Facilities / Yu. M. Kovrigo, T. G. Bagan, A. S. Bunke // Thermal Engineering. - 2014. - 61(3). - P.183-188.
[6] Штіфзон О.Й. Розробка адаптуючого fuzzy-logic пристрою для керування в умовах параметричної нестаціонарності / О.Й. Штійзон, П.В. Новіков, Т.Г. Баган // Східно-європейський журнал передових технологій - Харків, 2018. - Том 1№ 2.
[7] Kobersi, I.S. Control of the Heating System with Fuzzy Logic / I.S. Kobersi, V. Finaev, S. A. Almasani, K. Wadii, A. Abdo // World Applied Sciences Journal. - 2013. - 23 (11). - P.1441-1447.
[8] Ковриго Ю.М. Fuzzy-регулятор для керування інерційними технологічними параметрами котлоагрегату ТЕС / Ю.М. Ковриго, О.С.Бунке, П.В. Новіков // Nauka i Studia NR 8 (169) 2017 - с. 76-84.
[9] Штіфзон О.Й. Использование алгоритмов нечеткой логики для управления объектом с параметрической непостоянностью / О.Й. Штіфзон, А.С. Бабич // Материали за 10-а международна научна практична конференция, «Найновитне научни постижения». - 2014. - Том 34. Технологии. София. - С. 46-52.

[10] ГОСТ 28269-89 Котлы паровые стационарные большой мощности. Общие технические требования. [Действующий с 1991-01-01]. Изд. офиц. Москва : Стандартинформ, 2006. 21 с.

References

[1] O'Dwyer, A. *Handbook of PI and PID controller tuning rules*. 3rd ed. Dublin Institute of Technology, p. 624, 2009.
[2] Denisenko, V.V. *PID-regulators: principles of construction and modification.* Modern automation technologies, №1, 68-88, 2007.
[3] Kovrigo, Y.M., Bunke, A.S., Novikov, P.V. *Application of the method of dynamic correction in control systems of inertial technological objects*. Scientific Science Rise, №1/2(18), 21-27, 2006.
[4] Kovrigo, Yu.M. , Konovalov, M.A., Bunke, A.S. *Modernizing the heat load control system of a oncethrough boiler unit at a thermal power station using a dynamic corrector*. Thermal Engineering, 59(10, p.772-778, 2012.
[5] Kovrigo, Yu. M., Bagan, T.G., Bunke, A.S. *Securing Robust Control in Systems for Closed Loop Control of Inertial Thermal Power Facilities*. Thermal Engineering, 61(3), p.183-188, 2014.
[6] Shtifzon, O., Novikov, P., Bahan T. *Development of the adaptive fuzzy-logic device for control system in conditions of parametric non-stationary plant*. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies - 1/2 (91), p. 30-37, 2018.
[7] Kobersi, I.S., Finaev, V., Almasani, S.A., Wadii, K., Abdo A. *Control of the Heating System with Fuzzy Logic*. World Applied Sciences Journal,. 23 (11), p.1441-1447, 2013.
[8] Kovrigo, Yu.M., Bunke, A.S., Novikov, P.V. *Fuzzy-controller for control inertical technological parameters of TPP*. Nauka i Studia NR 8 (169), p. 76-84, 2017.
[9] Shtifzon, O.I., Babych, A.S. *Using fuzzy logic algorithms to control an object with parametric variability*. Material for the 10-th international scientific practical conference, "Nainovitne nauchni comprehension", P. 34. Technologue, Sophie, 46-52, 2014.
[10] GOST 28269-89 Stationary steam boilers of great capacity. General technical requirements. [Operating since 1991-01-01]. Moskov : Standartinform, 21 p., 2006.

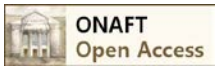
УДК 681.5.015

ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПРОГНОЗУВАЛЬНОЇ МОДЕЛІ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Жученко О.А.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна.
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-5611-6529
E-mail: azhuch@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0



DOI:

Анотація: *Використання сучасних технічних засобів не вирішують проблему складності розв'язання систем нелінійних, а іноді і нестаціонарних диференціальних рівнянь у частинних похідних, які описують технологічні об'єкти з розподіленими параметрами. Один з варіантів вирішення цієї проблеми є побудова на основі початкових*

моделей більш простих моделей із значно меншим часом розрахунку при забезпеченні ефективного відтворення тих властивостей початкових моделей, які дослідник вважає головними для синтезу ефективної системи керування.

Для підвищення ефективності технологічних процесів промислових виробництв доцільно впроваджувати системи керування з прогнозувальною моделлю.

Метою даної роботи є розроблення методу параметричної ідентифікації спрощеної математичної моделі об'єктів з розподіленими параметрами в умовах її використання як прогнозувальної в системі керування технологічними процесами.

Abstract: *The using of modern technical means does not solve the problem of the complexity of solving systems of nonlinear, and sometimes non-stationary differential equations in partial derivatives, which describe technological objects with distributed parameters. One of the solutions to this problem is the construction on the basis of initial models of simpler models with significantly less time to calculate when ensuring the effective reproduction of those properties of initial models, which the researcher considers the main to synthesize an effective control system.*

In order to increase the efficiency of industrial processes, it is expedient to introduce control systems with a predictive model.

The purpose of this work is to develop a method of parametric identification of a simplified mathematical model of objects with distributed parameters in conditions of its use as a predictive in the control system of technological processes.

Ключові слова: математична модель, розподілені параметри, ідентифікація, технологічний процес, прогнозувальна модель.

Keywords: mathematical model, distributed parameters, identification, technological processes, predictive model.

Вступ

Одним з ефективних джерел підвищення ефективності технологічних процесів промислового виробництва є впровадження сучасних комп'ютерних систем керування, в основі роботи яких лежать математичні моделі даних процесів.

З точки зору задач автоматичного керування технологічні процеси у будь-якому промисловому виробництві, як правило, є об'єктами з розподіленими параметрами, математичний опис яких являє собою систему нелінійних, у деяких випадках нестаціонарних диференціальних рівнянь у частинних похідних [1-4]. Розрахунок таких математичних моделей навіть сучасними засобами обчислювальної техніки вимагає тривалого часу (іноді десятки годин), що суттєво обмежує їх застосування у системах керування реального часу. Вихід з такої ситуації – побудова на основі початкових моделей більш простих моделей із значно меншим часом розрахунку при забезпеченні ефективного відтворення тих властивостей початкових моделей, які дослідник вважає головними для синтезу ефективної системи керування.

Підвищення якості самої системи керування є окремою науково-технічною задачею. Для її розв'язання останні роки часто використовуються прогнозувальні математичні моделі [5-7].

Постановка задачі

Сучасні комп'ютерні системи керування, як правило, будуються на основі математичних моделей керованих процесів. Однак навіть для найбільш простих випадків об'єкти з розподіленими параметрами (ОРП) описуються точними математичними моделями достатньо складного виду. При цьому типовим наслідком моделювання поведінки ОРП диференціальними рівняннями у частинних похідних є трансцендентний характер залежності відповідних передатних функцій від комплексної змінної або опис цієї залежності у вигляді нескінченних рядів [1, 3, 8] навіть відносно зосереджених вхідних діянь, що суттєво ускладнює їх аналіз та використання при синтезі систем керування.

У більш складних випадках, наприклад, для просторово багатовимірних об'єктів зі складною формою границі області зміни просторових координат або при необхідності враховувати суттєві нелінійні ефекти, як правило, взагалі не вдається отримати аналітичний розв'язок рівнянь об'єкта [3].

Зазначені обставини привели до широкого поширення на практиці наближених моделей об'єктів з розподіленими параметрами спрощеного виду, що описують їх поведінку з потрібною точністю.

Одним із сучасних формалізованих підходів до синтезу систем управління, що базуються на математичних методах оптимізації, є теорія управління динамічними об'єктами з використанням прогнозувальних моделей - Model Predictive Control (MPC).

Цей підхід почав розвиватися на початку 60-х років XX століття для управління процесами і устаткуванням в нафтохімічному та енергетичному секторі, для яких застосування традиційних методів синтезу було вкрай неефективним у зв'язку з винятковою складністю їх математичних моделей. Останнім часом сфера застосування MPC значно розширилася, охоплюючи не тільки технологічні процеси різних галузей промисловості, а й економічні задачі при управлінні виробництвом [9] , для управління запасами і портфелем цінних паперів [10] та ін.

Основною перевагою MPC-підходу, що визначає його успішне використання у практиці побудови та експлуатації систем управління, є відносна простота базової схеми формування зворотного зв'язку, що поєднується з високими адаптивними властивостями. Остання обставина дозволяє керувати багатовимірними і багатозв'язними об'єктами зі

складною структурою, оптимізувати процеси в режимі реального часу у рамках обмежень на керувальні і керовані змінні, враховувати невизначеності об'єктів керування.

Використання прогнозувальної моделі у системі керування передбачає її структурну та параметричну ідентифікацію. При побудові системи керування об'єктів з розподіленими параметрами структура прогнозувальної моделі фактично визначається на етапі спрощення початкової складної моделі.

Таким чином, метою даної статті є розроблення методу параметричної ідентифікації спрощеної математичної моделі об'єктів з розподіленими параметрами в умовах її використання як прогнозувальної в системі керування технологічними процесами.

Метод розділення змінних Фур'є

У даний час розроблено цілий ряд способів побудови наближених моделей об'єктів з розподіленими параметрами [11-18]. Всі вони можуть бути умовно поділені на дві основні групи по "предмету апроксимації".

Перша група характеризується різними способами спрощеного представлення самих вихідних диференціальних рівнянь об'єкта, подальше розв'язання яких відомими методами дозволяє отримати задовільні по точності в певних конкретних умовах опису властивостей ОРП у порівняно простому вигляді.

Методи другої групи базуються на наближеному поданні точних рішень рівнянь у частинних похідних, що моделюють поведінку ОРП. У деяких випадках методи обох груп призводять до абсолютно ідентичних результатів.

Звичайно, можливе "двоетапне" послідовне застосування до одного і того ж ОРП різних методів апроксимації, що дозволяють, наприклад, спочатку перейти до спрощеного, що допускає точне аналітичне рішення, рівняння об'єкта, для якого потім знайти дробово-раціональне наближення його передатної функції, що визначає підсумковий наближений опис вихідної моделі об'єкта.

Одним з найбільш ефективних методів побудови спрощеної математичної моделі ОРП є метод розділення змінних (метод Фур'є) [4, 19, 20], що передбачає представлення функції декількох змінних (часу і просторових координат) у формі нескінченного ряду, кожний член якого являє собою добуток двох функцій однієї змінної – часу та просторової координати

$$T(\xi,t)=\sum_{i=1}^{\infty}a_i(t)\varphi_i(\xi)\,, \tag{1}$$

де апріорі невідомі функції $a_i(t)$ та $\varphi_i(\xi)$ мають бути вибрані таким чином, щоб керована змінна $T(\xi,t)$ задовольняла граничним умовам задачі.

На практиці ряд (1) обмежують n членами

$$\hat{T}(\xi,t)=\sum_{i=1}^{n}a_i(t)\varphi_i(\xi) \tag{2}$$

і тоді задача апроксимації зводиться до визначення невідомих функцій $a_i(t)$ та $\varphi_i(\xi)$ із умови мінімізації певного функціонала похибки апроксимації та дослідженню збіжності $\hat{T}(\xi,t)$ до $T(\xi,t)$ при $n\to\infty$.

Дана задача розглядалася у працях багатьох авторів, зокрема [4, 13, 16, 21, 22]. Однак існуючі методи не повністю задовольняють дослідників з різних причин: у зв'язку з обчислювальними труднощами як такими, не завжди виконуються умови збіжності обчислювальних процедур, складно оцінити похибку апроксимації тощо.

У роботі [8] змінні $T(\xi,t)$ запропоновано виражати у вигляді ряду ортонормованих базисних векторів (БВ) $\varphi_i(\xi)$ координати ξ, кожна з яких помножена на функцію часу $a_i(t)$ (коефіцієнти Фур'є):

$$a(k):=col\left\{a_i(t_k)\right\}_{i=1}^{N},$$

$$T(k):=col\left\{\tilde{T}(\xi_l,t_k)\right\}_{l=1}^{N},$$

$$\varphi_i:=col\left\{\tilde{\varphi}_i(\xi_l)\right\}_{l=1}^{N}\quad\text{та}\quad\Phi:=(\varphi_1\quad\varphi_2\quad\ldots\quad\varphi_N)\,.$$

Із урахуванням цього рівняння (2) можна записати так:

$$T(k)=\mathbf{\Phi}a(k)\,.$$

Алгоритми розрахунку $\varphi_i(\xi)$ та $a_i(t)$ наведені у [8].

Метод системної ідентифікації

У системній ідентифікації, коли об'єкт дослідження представляється у вигляді «чорного ящика», існує багато методів знаходження їх динамічних моделей [23]. Згідно цих методів задається структура моделі, після чого проводиться оцінка параметрів моделі за рядом вхідних даних $\left\{\tilde{u}(k)\right\}_{k=0}^{K-1}$ та вихідних даних $\left\{\tilde{a}(k)\right\}_{k=0}^{K-1}$. Для об'єкта типу «чорний ящик» використовується модель у просторі станів

$$x(k+1) = Ax(k) + B_u u(k) \tag{3}$$
$$a(k) = C_a x(k). \tag{4}$$

У цих рівняннях $x(k) \in \mathbf{R}^{n_x}$ є вектором стану, $u(k) \in \mathbf{R}^{n_u}$ – вектор вхідних даних, $a(k) \in \mathbf{R}^{n}$ – вектор. У даному випадку вектор стану не відображає реальні величини, а використовується для опису динаміки $a(k)$ порядок n_x визначається дослідником.

Алгоритми ідентифікації призначені для визначення невідомих параметрів $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{n_x \times n_x}$, $\mathbf{B} \in \mathbf{R}^{n_x \times n_u}$, $\mathbf{C} \in \mathbf{R}^{n \times n_x}$ у моделі (3), (4).

При синтезі системи керування з прогнозувальною моделлю модель (3), (4) може бути використана для прогнозування залежності між вхідними/вихідними даними та невідомих параметрів моделі на s-му кроці вперед. Для цього на кожному k-му кроці формується ряд прогнозованих значень $\{a(i)\}_{i=1}^{k+s-1}$ та розраховується залежність між входами і виходами з k-го по $k+s-1$ момент часу:

$$a_k^{k+s-1}(k) = O_s x(k) + T_s u_k^{k+s-1}(k), \tag{5}$$

де

$$u_k^{k+s-1}(k) = col\{u(k), u(k+1), ..., u(k+s-1)\}$$
$$a_k^{k+s-1}(k) = col\{a(k), a(k+1), ..., a(k+s-1)\}$$

$$T_s = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \ddots & \cdots \\ C_a B_u & 0 & \ddots & \ddots \\ C_a A B_u & C_a B_u & \ddots & \ddots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots \\ C_a A^{s-2} B_u & C_a A^{s-3} B_u & \ldots & C_a B_u \end{bmatrix} \tag{6}$$

$$O_s = \begin{bmatrix} C_a \\ C_a A \\ C_a A^2 \\ \vdots \\ C_a A^{s-1} \end{bmatrix} \tag{7}$$

при $s \geq n_x$.

У рівнянні (5) невідомими залишаються O_s, T_s та $\mathbf{x(k)}$. З метою їх визначення перепишемо рівняння (5) для моментів часу $k = 0,1,...,K-1$:

$$Y_{0,s,K-1} = O_s X_{0,K-1} + T_s U_{0,s,K-1} \tag{8}$$

$$Y_{0,s,K-1} = \begin{bmatrix} \tilde{a}(0) & \tilde{a}(1) & \cdots & \tilde{a}(K-s) \\ \tilde{a}(1) & \tilde{a}(2) & \ddots & \tilde{a}(K-s+1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{a}(s-1) & \tilde{a}(s) & \cdots & \tilde{a}(K-1) \end{bmatrix} \tag{9}$$

$$X_{0,K-1} = \begin{bmatrix} x(0) & x(1) & \ldots & x(K-1) \end{bmatrix} \tag{10}$$

Елементи цих матриць є відомими. Подібно до $Y_{0,s,K-1}$ визначається і матриця $U_{0,s,K-1}$, яка теж відома. Виходячи з цього, алгоритм знаходження невідомих складається з таких кроків.

1. Знаходження O_s. Для цього помножимо рівняння (8) на матрицю $F_{0,s,K-1} = I_K - U^{\mathrm{T}}{}_{0,s,K-1}(U_{0,s,K-1}U^{\mathrm{T}}{}_{0,s,K-1})^{-1}U_{0,s,K-1}$, яка визначається з умови $U_{0,s,K-1}F_{0,s,K} = 0$.

Тоді рівняння (8) набуває вигляду $Y_{0,s,K-1}F_{0,s,K-1} = O_s X_{0,K-1}F_{0,s,K-1}$, звідки знаходимо невідому O_s.

2. Визначення A та C_a із O_s, використовуючи (7).
3. Підстановка $\{u(k)\}_{k=1}^{K}$ та $\{\tilde{a}(k)\}_{k=1}^{K}$ у рівняння (3), (4) при $k = 0,1,...,K$ для визначення $\mathbf{x(k)}$ та B_u.

Якщо параметри моделі A, B, C_a, відомі, то рівняння (3), (4) можна використовувати для розрахунку і

прогнозування змін у часі коефіцієнтів Фур'є, а, значить, і вектора змінних процесу $T(k)$ наступним чином:

$$\mathbf{T}(k) = \Phi_n a(k) = \underbrace{\Phi_n \mathbf{C}_a}_{\mathbf{C}_T} x(k) \tag{11}$$

З урахуванням (3), (4) та (11) загальна математична модель набуває вигляду:

$$x(k+1) = Ax(k) + B_u u(k)$$
$$a(k) = C_a x(k)$$
$$T(k) = C_T x(k)$$

Висновки

Для підвищення ефективності технологічних процесів промислових виробництв доцільно впроваджувати системи керування з прогнозувальною моделлю.

В рамках цього завдання для об'єктів з розподіленими параметрами потрібно розв'язати дві задачі: побудувати спрощену математичну модель об'єкта з розподіленими параметрами, яка у подальшому буде використана як прогнозувальна модель, та розробити ефективний метод параметричної ідентифікації даної моделі.

Саме ці питання розглянуті у даній статті. Як метод спрощення складної математичної моделі об'єктів з розподіленими параметрами використовується метод розділення змінних (метод Фур'є). Надалі спрощена модель представляється у вигляді математичної моделі у просторі станів. Запропонований алгоритм параметричної ідентифікації даної моделі.

Подальші дослідження мають бути на правлені на дослідження ефективності застосування запропонованих моделей та алгоритмів для розв'язання практичних задач керування об'єктів з розподіленим параметрами.

Список використаних джерел

[1] Чермак И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии / И. Чермак, В. Петерка, И. Заворка // Москва: Мир. - 1972. 618 с.
[2] Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Основы стратегии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов // М.: Наука. - 1976. 500 с.
[3] Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Топологический принцип формализации / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов // М.: Наука. - 1979. 394 с.
[4] Рапопорт Э.Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределенными параметрами / Э.Я. Рапопорт // М.: Высшая школа. - 2003. 299 с.
[5] Бокс Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс // Выпуск 1. М., Мир. - 1974. 406 с.
[6] Finlay S. Predictive Analytics, Data Mining and Big Data. Myths, Misconceptions and Methods (1st ed.). Basingstoke: Palgrave Macmillan. - 2014. p. 237.
[7] Ивахненко А.Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А.Г. Ивахненко, Й.А. Мюллер // К.: Техніка и ФЕБ Ферлаг Техник (Берлин). - 1985. 223с. с илл.
[8] О.А. Жученко. Метод спрощення математичних моделей об'єктів керування із розподіленими параметрами / О. А. Жученко, В. С. Цапар // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. - 2015. - Vol. 7, № 1. - С. 15-25.
[9] Кабанов С. А. Управление системами на прогнозирующих моделях / С. А. Кабанов // – СПб: Изд-во С.-Петербургского университета. - 1997. – 200 с.
[10] Веремей Е. И. Введение в задачи управления на основе предсказаний / Е. И. Веремей, В. В. Еремеев. – 2007.
[11] Шевяков А. А. Управление тепловыми объектами с распределенными параметрами / А. А. Шевяков, Р. В. Яковлева // – Москва: Энергоатомиздат. - 1986. – 208 с.
[12] Девятов Б. Н. Теория и методы анализа управляемых распределенных процессов / Б. Н. Девятов, Н. Д. Демиденко // – Новосибирск: Наука, 1983. – 271 с.
[13] Бутковский А. Г. Теория оптимального управления системы с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский // – Москва: Наука, 1965. – 474 с.
[14] Васильева А. Б. Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений / А. Б. Васильева, В. Ф. Бутузов. – Москва: Высшая школа, 1990. – 208 с.
[15] Маковский В. А. Динамика металлургических объектов с распределенными параметрами / В. А. Маковский. – Москва: Металлургия. - 1971. – 384 с.
[16] Рей У. Методы управления технологическими процессами / У. Рей // – Москва: Мир. - 1983. – 368 с.
[17] Чермак И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии / И. Чермак, В. Паперка, И. Заворка // – Москва: Мир, 1972. – 623 с.
[18] Шевяков А. А. Инженерные методы расчета динамики теплообменных аппаратов / А. А. Шевяков, Р. В. Яковлева. – Москва: Машиностроение, 1968. – 314 с.

[19] Кошлаков Н. С. Уравнения в частных производных математической физики / Н. С. Кошлаков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов // – Москва: Наука, 1970. – 712 с.
[20] Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский // – Москва: Наука, 1966. – 735 с.
[21] Бутковский А. Г. Методы управления системами с распределенными параметрами / А. Г. Бутковский // – Москва: Наука, 1975. – 568 с.
[22] Мартиненко Н. А. Конечные интегральные преобразования и их применение к исследованию систем с распределенными параметрами / Н. А. Мартиненко, Л. М. Пустыльников // – Москва: Наука, 1986. – 304 с.
[23] Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления / П. Эйкхофф // – Москва: Мир, 1975. – 683 с.

References

[1] Chermak Y., Peterka V., Zavorka Y. *Dynamyka rehulyruemykh system v teploenerhetyke y khymyy*. Moskva: Myr, 618 s., 1972.
[2] Kafarov V.V., Dorokhov Y.N. *Systemnyi analyz protsessov khymycheskoi tekhnolohyy*. Osnovy stratehyy. M.: Nauka,. 500 s., 1976.
[3] Kafarov V.V., Dorokhov Y.N. *Systemnyi analyz protsessov khymycheskoi tekhnolohyy*. Topolohycheskyi pryntsyp formalyzatsyy. M.: Nauka,. 394 s., 1979.
[4] Rapoport E.Ia. *Strukturnoe modelyrovanye obektov y system upravlenyia s raspredelennymy parametramy*. M.: Vysshaia shkola,. 299 s., 2003.
[5] Boks Dzh., Dzhenkyns H. *Analyz vremennykh riadov, prohnoz y upravlenye*. Vipusk 1. M., Myr,. 406 s., 1974.
[6] Finlay, Steven *Predictive Analytics, Data Mining and Big Data. Myths, Misconceptions and Methods* (1st ed.). Basingstoke: Palgrave Macmillan. p. 237., 2014.
[7] Yvakhnenko A.H., Miuller Y.A. *Samoorhanyzatsyia prohnozyruiushchykh modelei*. K.: Tekhnika y FEB Ferlah Tekhnyk (Berlyn), 223s. s yll., 1985.
[8] Zhuchenko O.A. *Metod sproshchennia matematychnykh modelei obiektiv keruvannia iz rozpodilenymy parametramy*. Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv. - Vol. 7, № 1. - S. 15-25, 2015.
[9] Kabanov C. A. *Upravlenye systemamy na prohnozyruiushchykh modeliakh.* SPb: Yzd-vo S.-Peterburhskoho unyversyteta. – 200 s., 1997.
[10] Veremei E. Y., and Eremeev V.V. *Vvedenye v zadachy upravlenyia na osnove predskazanyi*. 2007.
[11] Sheviakov A. A., and Yakovleva R.V. *Upravlenye teplovymy obektamy s raspredelennymy parametramy*. Moskva: Enerhoatomyzdat,. – 208 s., 1986.
[12] Deviatov B. N., and Demydenko B.N. *Teoryia y metody analyza upravliaemykh raspredelennykh protsessov*. Novosybyrsk: Nauka,. – 271 s., 1983.
[13] Butkovskyi A. H. Teoryia optymalnoho upravlenyia systemy s raspredelennymy parametramy. Moskva: Nauka,. – 474 s., 1965.
[14] Vasyleva A. B., and Butuzov V.F. *Asymptotycheskye metody v teoryy synhuliarnykh vozmushchenyi*. Moskva: Vysshaia shkola, – 208 s., 1990.
[15] Makovskyi V. A. *Dynamyka metallurhycheskykh obektov s raspredelennymy parametramy*. Moskva: Metallurhyia, – 384 s., 1971.
[16] Rei U. *Metody upravlenyia tekhnolohycheskymy protsessamy*. Moskva: Myr. – 368 s., 1983.
[17] Chermak Y., Paperka V., Zavorka Y. *Dynamyka rehulyruemykh system v teploenerhetyke y khymyy*. Moskva: Myr. – 623 s., 1972.
[18] Sheviakov A. A., Yakovleva R.V. Ynzhenernye metody rascheta dynamyky teploobmennykh apparatov. Moskva: Mashynostroenye. – 314 s., 1968.
[19] Koshlakov N. S., Hlyner E.V., Smyrnov M. M. *Uravnenyia v chastnykh proyzvodnykh matematycheskoi fyzyky*. Moskva: Nauka. – 712 s., 1970.
[20] Tykhonov A. N., Samarskyi A. A. *Uravnenyia matematycheskoi fyzyky* / A. N. Tykhonov,. – Moskva: Nauka. – 735 s., 1966.
[21] Butkovskyi A. H. *Metody upravlenyia systemamy s raspredelennymy parametramy*. Moskva: Nauka. – 568 s., 1975.
[22] Martynenko N. A., Pustylnykov L. M. Konechnye yntehralnye preobrazovanyia y ykh prymenenye k yssledovanyiu system s raspredelennыmy parametramy. Moskva: Nauka. – 304 s., 1986.
[23] Eikkhoff P. Osnovy ydentyfykatsyy system upravlenyia. Moskva: Myr. – 683 s., 1975.

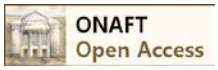
УДК 621.391

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ МОЩНОСТИ ИСПОЛЬЗУЕМОГО АНСАМБЛЯ ТАЙМЕРНЫХ СИГНАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА СКОРОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Захарченко Н.В.[1], Гаджиев М.М.[2], Иванова Л.В.[3], Сулима Ю.Ю.[4], Шпак Д.М.[5], Гордийчук В.В.[6]

[1,2,5,6] – Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Одесса, Украина
[3,4] – Одесский технический колледж Одесской национальной академии пищевых технологий, Одесса, Украина
ORCID: [2]http://orcid.org/0000-0001-7280-3863, [3]http://orcid.org/0000-0003-1738-7697, [4]http://orcid.org/0000-0003-3986-7296, [5]http://orcid.org/0000-0002-8092-8276
E-mail: [2]gadjievmm@ukr.net, [3]ivanova_l_v@ukr.net, [4]mr_lemur@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0



DOI:

Аннотация: *В статье представлены результаты исследования влияния увеличения мощности используемого ансамбля таймерных сигнальных конструкций при постоянной длительности кодовых конструкций на скорость передачи информации в цифровых системах связи. Обоснована целесообразность увеличения мощности используемого ансамбля таймерных сигнальных конструкций, путем изменения числа информационных отрезков в кодовых конструкциях в системах передачи информации, использующих цифровую связь. Проведен анализ методов передачи информации в цифровой связи при использовании позиционного способа кодирования с избыточными кодами. Обоснована нецелесообразность использования позиционного кодирования при передаче больших объемов информации. Представлен метод кодирования сигнала на основе таймерных сигнальных конструкций с использованием отдельных временных отрезков сигнала, не менее найквистового интервала для каждой сигнальной конструкции. Оцениваются временные параметры кодовых слов таймерных сигнальных конструкций: энтропия и информационная емкость найквистового элемента при кодовом уплотнении канала. Представлены результаты исследования выбора эффективной длины кодового слова в методе кодирования сигнала с использованием таймерных сигнальных конструкций для увеличения скорости передачи информации в цифровых системах связи. Приведены результаты исследования влияния параметров таймерных сигнальных конструкций на скорость передачи информации, которые показали эффективность использования метода кодирования сигнала с использованием таймерных сигнальных конструкций по сравнению с методом позиционного кодирования с избыточными кодами за счет увеличения информационной емкости найквистового элемента.*

Annotation: *The article presents the results of the study of the effect of increasing the power of the used ensemble of timer signal constructions with a constant duration of code structures on the speed of information transfer in digital communication systems. The expediency of increasing the power of the used ensemble of timer signal constructions is justified by changing the number of information segments in code structures in information transfer systems using digital communication. The analysis of methods of information transfer in digital communication using the positional coding method with redundant codes has been carried out. The inexpediency of using positional coding in the transfer of large amounts of information is substantiated. A method of coding a signal based on timer signal constructions using separate time intervals of the signal, not less than the Nyquist interval for each signal structure is presented. The time parameters of the code words of the timer signal constructions are estimated: entropy and information capacity of the Nyquist element during the channel code compression. The article presents the results of the study on the choice of the effective length of a code word in a signal coding method using timer*

signal structures to increase the speed of information transfer in digital communication systems. The results of the study of the influence of the parameters of the timer signal structures on the information transfer rate are shown, which showed the efficiency of using the signal coding method using timer signal structures compared to the positional coding method with redundant codes due to an increase in the information capacity of the Nyquist element.

Ключевые слова: методы передачи информации, цифровая связь, позиционные коды, кодовое слово, кодовые конструкции, таймерные сигнальные конструкции, найквистовый элемент, найквистовый интервал.

Keywords: methods of information transfer, digital communication, position codes, code word, code constructions, timer signal constructions, Nyquist element, Nyquist interval.

1. Информационные параметры позиционных кодов

1) Методы передачи информации в цифровой связи [1] обеспечивают передачу сообщений от дискретных источников, имеющих счётное (конечное) число состояний N_m.

$$N_m = \sum_{i=0}^{n-1} d_i a^i \quad (i\epsilon\, 0 \div i_g d > 1)$$

где d_i - значение разрядных коэффициентов, которые не превышают значения;

a- число различных значений информационного параметра в канале.

Заметим, что в реальной двоичной системе с позиционным кодированием a = 2.

Максимальное число размеченных комбинаций при соблюдении условий для d_i и a равно [3].

$$N_m = a^n$$

где n – число элементов в кодовом слове.

2) Количество информации в позиционных кодовых словах (H) определяется числом информационных элементов в них. Если код простой [3], т.е. используются все N_m кодовых слов, то

$$H = log_2 N_m = log_2 a^n = n log_2\, a \qquad (1)$$

Из выражения (1) следует, что если a>2, то при позиционном кодировании в каждом элементе содержится более одного бита информации. Существующие системы связи используют избыточные коды, в которых каждая комбинация содержит m элементов информационных и r элементов дополнительных (избыточных) [2].

$$n = m + r$$

Например, в коде с четным числом единиц информационными являются только (n-1) элементов, а в 9-элементном коде Хэмминга содержится 5 информационных элементов и 4 проверочных [3], следовательно, энтропия каждого кодового слова H=5, а информационная емкость одного элемента I_H=$\frac{5}{9}$=0,5555...

3) Следует заметить, что каждое кодовое слово при позиционном кодировании передается в канал коэффициентами x_i, длительность сигнала каждого из которых равна длительности элемента Найквиста [4].

$$t_0 = \frac{1}{\Delta F}$$

где: F- полоса спектра сигнала.

В заключении этого раздела оценим возможности передачи 2-х символьных ансамблей текста русского языка при позиционном кодировании. Так для передачи 32 символов русского языка необходимо согласно (1) 5 элементов кода ($log_2 32 = 5$), а для передачи двух символьных ансамблей, ($N_p = 32 \times 32 = 1024$) необходимо $log_2 1024 = 10$ элементов в кодовом слове (аналогично, для передачи 3-х символьных ансамблей длина кодовых слов будет, равной $3log_2 32 = 15$ элементов).

Таким образом можно сделать вывод, что при передаче одним кодовым словом информации 0-Z символов русского языка, существует линейная зависимость количества элементов в групповой комбинации от кратности Z, символьных ансамблей.

4) Следует заметить, что при различных методах, обеспечивающих формирование (32^Z) различных комбинаций общее число элементов n в кодовом слове равно

$n_\Sigma = Z log_2\, 32$

Например, реализацией будут $N_{p1} = 23$ и $N_{p2} = 27$. Для формирования 1024 кодовых слов можно воспользоваться одним кодовым словом с числом элементов $n_1 = 10$, или двумя кодовыми словами по 5 элементов $n_1 = n_2 = 5$, или двумя кодовыми словами при $n_1 = 2$ и $n_2 = 8$ с подмножествами чисел реализаций $N_{p1} = 2^2$ и $N_{p8} = 2^8$, что обеспечит общее число реализаций (4*256=1024). При $n_1 = 3$ и $n_2 = 7$ подмножества будут $2^3 = 8$; 2^7=128; (n_Σ=3+7=10) с тем же числом реализаций (8*128=1024).

К недостаткам позиционного кодирования следует отнести:

1. Расстояние между соседними моментами модуляции кратно длительности найквистового элемента, что ограничивает мощность реализуемого множества на интервале *n* элементов;

2. Элементность кодового слова *n* определяется числом различных состояний кодируемого источника N_K [4]

$n = E^+ log_2 N_K$

где E^+- символ "целого большего числа $log_2 N_K$", из [1] и [2] следует, что максимальное число *N* при двоичных сигналах не превышает 2^n.

5) В корректирующих (избыточных) кодах граничное число дополнительных *r* элементов определяется пределом Варшамова - Гильберта [1]

$$2^{n-m} = 2^r \geq \sum_{i=0}^{d_0=2} c_n^i - 1$$

где d_0- требуемое кодовое расстояние.

В таблице 1 приведены значения чисел избыточных элементов *r*, при $m \in 1 \div 15$ при $d_1 = 3$ и $d_2 = 5$

Таблица 1 – Число проверочных элементов при $d \in const$

d_0/m	1	2	3	4	5	6	12	13	14	15
3	2	3	3	3	-	4	5	5	5	5
5	4	7	8	8	9	9	14	15	15	15

Как следует из таблицы 1 при кодовом расстоянии $d = 5$ и $m \geq 1$ интервалов реализаций, число избыточных элементов при позиционном кодировании большого числа информации значительно возрастает, что делает такой код неэффективным.

2. Таймерные сигнальные конструкции

В отличие от позиционного способа кодирования, когда информация о передаваемом разряде определяется видом сигнала на единичном (найквистовом) интервале, в таймерных сигнальных конструкциях (ТСК) информация "заложена" в продолжительностях (длинах) *i* отдельных временных отрезков сигнала τ_{ci} на интервале каждой сигнальной конструкции $T_{ск}$. С целью уменьшения межсимвольных искажений продолжительность каждого из отрезков сигнала в сигнальной конструкции не менее найквистового интервала [2].

$$\tau_{ci} = t_0 + z\Delta \quad (2)$$

где $z\Delta \in 0 \div z_0$ – целые числа.

Временной отрезок показывает часть единичного элемента $t_0 > \Delta = \frac{t_0}{s}$ и определяется параметрами помех в канале и допустимой вероятностью ложного приема сигнальной конструкции ($s \in 2,4,\ldots,s_0$).

Первое слагаемое выражения (2) обеспечивает установление переходного процесса на выходе канала при передаче всех *i* отрезков каждой сигнальной конструкции, а второе ($z\Delta$) несет информацию о кодовом слове.

Авторами таймерных сигналов [5], определена мощность (число реализации ТСК (N_p)) на интервале m найквистовых элементов:

$$N_p = C^i_{ms-i(s-1)} \quad (3)$$

После разложения выражения (3) получаем:

$$N_p = \frac{(ms - i(s-1))!}{i!\,(ms - is)!}$$

В таблице 2 приведены мощности (N_p) ТСК при $s = 7$ для $m \in 4 \div 8$ для $i \in 1 \div 7$

Из таблицы 2 следует сделать вывод, что число реализаций сигнальных конструкций увеличивается как при увеличении интервала реализаций *m* при *i=const*, так и при увеличении отдельных временных *i* интервалов при *m=const*.

Для выбора эффективной длины кодового слова проведём анализ изменения энтропии (*H*) и информационной емкости найквистового элемента (I_H) [3].

Таблица 2 – Мощности N_p таймерных сигнальных конструкций

i	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8
1	22	29	36	43	50
2	120	253	435	666	946
3	120	680	1330	2925	5456
4	1	330	3060	12650	35960
5	-	1	792	11628	65780
6	-	-	1	1716	38760
7	-	-	-	1	23450
8	-	-	-	-	1
Σ	263	1293	5654	29629	131643

При этом, учитывая работы [2], [3] определим значения вероятности появления отдельных событий P_i, а через значения последнего оценим H и I_H.

$$P_i = \frac{1}{N_p};\ H = log_2 N_p;\ I_H = \frac{log_2 N_p}{m}$$

В таблице 3 приведены значения информационной емкости найквистового элемента для $m \in 4 \div 10$ при s∈ 2÷10 при *i=4*.

Таблица 3 – Информационная емкость найквистового элемента

s\m	4	5	6	7	8	9	10
2	0	0,781378	1,021547	1,102035	1,118911	1,10747	1,082972
3	0	1,025857	1,285708	1,354543	1,353715	1,324484	1,283664
4	0	1,225857	1,491881	1,547103	1,530285	1,486146	1,432158
5	0	1,395456	1,661204	1,702908	1,671914	1,615078	1,550109
6	0	1,542849	1,804954	1,833806	1,790197	1,722343	1,647975
7	0	1,673264	1,929886	1,946693	1,891763	1,814194	1,731615
8	0	1,790257	2,04038	2,045939	1,980763	1,894511	1,804647
9	0	1,89636	2,13944	2,134494	2,059969	1,965873	1,869462
10	0	1,923445	2,229218	2,214442	2,131325	2,030079	1,927725

Из таблицы 3 следует:

1) с увеличением *m* при *s=const* информационная емкость найквистовогоэлемента увеличивается до $m_{нак}$ (после $m_{нак}$ – уменьшается), с увеличением *s* при *m=const* и *i=const* увеличивается.

В таблице 4 приведены значения I_H при значениях m∈ $4 \div 10$ и изменяемом числе информационных отрезков $i \in 1 \div 6, s = 7$

Таблица 4 – Информационная емкость найквистового элемента

i\m	4	5	6	7	8	9	10
1	1,114	0,971	0,86	0,775	0,705	0,648	0,6
2	1,726	1,596	1,46	1,339	1,235	1,146	1,069
3	1,727	1,882	1,831	1,733	1,633	1,533	1,443
4	0	1,673	1,929	1,946	1,891	1,814	1,731
5	-	0	1,604	1,929	2	1,984	1,932
6	-	-	0	1,534	1,905	2,019	2,035

Анализ данных таблицы 4 показывает:

1) При каждом значении *i* с ростом m, I_H вначале увеличивается, после достижения $m_{\text{нак}}$ – уменьшается:

$m_{\text{нак}}(i=1)=4\ (1{,}727)$
$m_{\text{нак}}(i=2)=5\ (1{,}882)$
$m_{\text{нак}}(i=3)=6\ (1{,}929)$
$m_{\text{нак}}(i=4)=7\ (1{,}946)$
$m_{\text{нак}}(i=5)=8\ (2{,}00)$
$m_{\text{нак}}(i=6)=10\ (2{,}035)$

2) Для увеличения информационной емкости найквистового элемента можно суммировать информационные емкости при *m=const* с различным числом информационных отрезков.

Заключение

Исследования влияния параметров таймерных сигнальных конструкций на скорость передачи информации показало, что изменяя число информационных отрезков *i* в кодовых словах таймерных кодов при постоянном значении интервала реализаций *m =const* можно увеличивать скорость передачи информации.

Список использованных источников

[1] Захарченко Н.В. Системи передачі даних. Том1. Ефективність блокового кодування: Підручник. / Н.В. Захарченко, В.Й. Кільдишев, О.М. Мартинова // ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса:2014 – 486с.
[2] Захарченко Н.В. Информационные параметры таймерных сигнальных конструкций при кодовом уплотнении канала / Н.В. Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков, В.М Горицкий // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одесса:2016 – №2 – С.25–29.
[3] Захарченко Н.В. Сравнение позиционного и таймерного кодирования / Н.В. Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков, В.В. Гордийчук // Збірник наукових праць військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – Одесса:2016 – №2 – С.41–46.
[4] Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации: Учебник./ А.Г. Зюко, А.Н. Филько, В.Л. Банкет, П.В. Иващенко // Радиосвязь – Москва:1985 – 304с.
[5] Захарченко Н.В. Информационные параметры таймерных сигналов / Н.В Захарченко, С.М. Горохов, А.В. Кочетков // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одесса:2016 – №7 – С.24-28.

References

[1] N. V. Zakharchenko, V.Y. Kildyshev , O. M. Martynova , and V. Y. Kildyshev, *Efektyvnist blokovoho koduvannia*, vol. 1. Odessa: ONAZ im. O.S. Popova, 2014.
[2] N.V. Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov, and V.M Horytskyi, *Ynformatsionnyie parametryi taymernyih signalnyih konstruktsiy pry kodovom uplotnenyy kanala*, Naukovi pratsi. Odessa:ONAZ im. O.S. Popova. – №2 – pp.25–29., 2016.
[3] N.V. Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov, and V.V. Hordyichuk, *Sravnenye pozytsyonnoho y taimernoho kodyrovanyia*, Zbirnyk naukovykh prats viskovoho instytutu telekomunikatsii ta informatyzatsii. – Odessa. – №2 – pp.41–46., 2016.
[4] A.H. Ziuko, A.N. Fylko, V.L. Banket, P.V. Yvashchenko, *Pomekhoustoichyvost y effektyvnost system peredachy ynformatsyy*: Uchebnyk. Radyosviaz – Moskva. – 304p., 1985.
[5] N.V Zakharchenko, S.M. Horokhov, A.V. Kochetkov, *Ynformatsionnyie parametryi taymernyih syhnalov*. Naukovi pratsi, Odessa: ONAZ im. O.S. Popova. – №7 – pp.24-28., 2016.

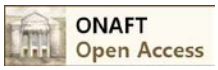
УДК 629.5.078.6:621.867.1/3

ПРОБЛЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ СТРІЧКОВИХ ТРАНСПОРТЕРІВ

Дрозд О.В.[1], Сандлер А.К.[2]

[1,2] – Національний університет «Одеська морська академія», м.Одеса, Україна
E-mail: [1]ELENADROZD912@gmail.com, [2]albertsand4@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0



DOI:

Анотація: *Розглянуто стрічкові транспортери у складі вантажної системи балкара. Визначено причини відмов вантажного обладнання і їх позапланового ремонту. Наведено економічні складові технічного використання транспортерів і виявлені сучасні проблеми в їх експлуатації та обслуговуванні.*

Abstract: *Belt conveyors are considered in the composition of the cargo lifting system of bulk carrier. The reasons for the failure of the cargo equipment and their unscheduled repair are determined. Economic constituents of technical use of transporters are presented and modern problems in their exploitation and maintenance are revealed.*

Ключові слова: балкер, судновий стрічковий конвеєр, стрічка, ролик, експлуатація, ремонт, обслуговування.

Keywords: bulk carrier, ship conveyor belt, belt, roller, operation, repair, service.

1. Вступ

Сучасний балкерний флот має в своєму складі значну частину саморозвантажних суден з стрічковими транспортерами безперервного типу. Вантажна система такого балкеру, як правило, включає два або три стрічкових конвеєри, які під трюмами, здвоєний вертикального типу конвеєр-підйомник і стрілу - поперечний стрічковий конвеєр для роботи з берегом.

2. Аналіз літературних джерел і постановка питання

Робота в жорсткій конкурентній боротьбі за вантажопотоки висуває перед судами цього типу завдання скорочення часу стоянки під обробкою. Одним з варіантів вирішення проблеми є збільшення продуктивності вантажної системи [1].

Продуктивність конвеєра залежить від швидкості руху стрічки і кількості вантажу на ній. Збільшення продуктивності можливо, в першу чергу, за рахунок збільшення швидкості транспортування вантажу на стрічці. При цьому гранична величина швидкості буде обмежена потужністю двигуна.

З іншого боку, в експлуатації і обслуговуванні суднових конвеєрів закладені такі критерії як експлуатаційна надійність, довговічність і ремонтопридатність. Довговічність суднового стрічкового транспортера забезпечується обґрунтованим вибором його продуктивності і зводиться до правильного вибору швидкості транспортування і площі перерізу вантажного потоку. Зрослі швидкості руху стрічки вже створюють складнощі у забезпеченні надійності і довговічності вантажного обладнання. Стають проблематичними збільшення його термінів служби і міжремонтних періодів експлуатації [2, 3].

3. Мета і задачі дослідження

Аналіз технічних ризиків і ймовірність відмов суднових стрічкових конвеєрів внаслідок вищевикладеного дозволяють виділити дві основні групи причин позапланового їх ремонту.

До першої слід віднести загоряння стрічкового конвеєра від:
- тертя стрічки об натяжний барабан конвеєра;
- нагрівання поверхні електродвигуна;
- тертя стрічки об заклинений ролик;
- тертя в вузлах.

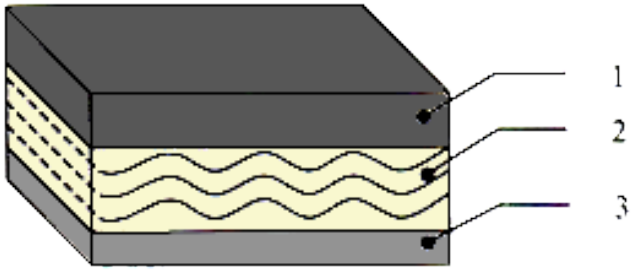
Друга група причин - це вимушена зупинка стрічкового конвеєра в результаті:
- обриву стрічки;

- сходу стрічки;
- відмови двигуна;
- перевантаження стрічкового конвеєра;
- заклинювання натяжного барабана;
- заклинювання стрічки.

Таким чином, зрослі швидкості обробки суден, так само як і великі вантажопотоки і розширена номенклатура масового вантажу, що перевозять, створюють критичні умови експлуатації вантажного обладнання даного типу суден.

4. Основні пункти дослідження

Найбільшого поширення на судах отримала схема роликового конвеєра з прогумованою стрічкою, що відрізняється простотою конструкції. За конструкцією прогумованої стрічки, опорних ходових пристроїв і передачі тягового зусилля, це є тип стрічкових конвеєрів, у яких стрічка несе вантаж і одночасно є тягловим елементом.



1 - каркас; 2 - робоча поверхня; 3 - неробоча поверхня

Рис.1 – Структура транспортерної стрічки

Каркас, як правило, виконують з комбінованих волокон з металевими кордами, так як від цього залежить міцність стрічки на розрив. Робоча поверхня - комбінована, з прогумованої тканини, з нанесенням профілю для перешкоджання ковзання вантажу. Неробоча поверхня також виконується з каучуку, але зазвичай без профілю, так як своєю стороною звернена до приводного барабану.

Стрічка при русі робить коливання у вертикальній і горизонтальній площинах, що викликає розсипання вантажу, пошкодження країв стрічки і додаткові витрати енергії. Коливання в вертикальній площині знижують зменшенням відстані між опорами, а в горизонтальній для центрування стрічки ставлять через 5 ... 6 звичайних опор одну опору з роликами, здатними відхилятися по ходу стрічки на кут 2 ... 3 °. При вигині стрічки на барабані внутрішні шари її стискаються, а зовнішні піддаються розтягуванню. Між шарами виникають дотичні напруження. Вони тим більше, чим менше діаметр барабана. Максимальний натяг стрічка має на приводному барабані, тому для зменшення напружень вигину діаметр барабану роблять найбільшим.

Термін експлуатації суднової конвеєрної стрічки багато в чому залежить від:
- товщини гумових шарів;
- кількості тканинних прокладок;
- загальної висоти стрічки;
- транспортних характеристик вантажу.

Транспортні характеристики всієї номенклатури насипних і навалочних вантажів дозволяють виділити наступні їх фізико-механічні властивості і загальні закономірності, що впливають на режим експлуатації і періодичність обслуговування стрічки, а саме [4]:

- об'ємна маса в межах γ = 0,6 … 3,0 т/м^3;
- кут природного укосу в штабелі ρ = 35 … 45^o;
- коефіцієнт зовнішнього тертя або коефіцієнт тертя об опорні поверхні, при якому вантаж починає ковзати по нахилих площині f = 0,5 ... 1;
- фракційний (гранулометричний) склад матеріалу: пилові δ = 0,05 мм, порошкоподібні δ = 0,05...0,1 мм, дрібнозернисті δ = 0,1...0,5 мм, середньозернисті δ = 0,5...1 мм, грубозернисті δ = 1...5 мм, дрібно кускові δ = 5...10 мм, середньо кускові δ = 10...160 мм;
- вологість сипучого вантажу ψ = 2 ... 20%.

Площа поперечного перерізу вантажу на стрічці і її заповнення залежить як від ширини самої стрічки, так і від об'ємної щільності вантажу і динамічного кута природного укосу, а також кута нахилу роликів і кута нахилу конвеєра.

Фракційний склад вантажу, так само як і збільшення коефіцієнта тертя, безпосередньо впливає на термін експлуатації стрічки: чим більше фракції вантажу, тим швидше йде знос стрічки. Природна вологість сипучого вантажу, разом з підвищеною вологістю тунельного простору при використанні забортної води для промивання стрічки, створюють додаткове навантаження на стрічку і роликові опори при переміщенні зернистого і кускового вантажу, фракції яких при цьому укрупнюються.

5. Економічні складові технічного використання елементів вантажної системи

В обслуговуванні суднових конвеєрів слід виділити дві основні складові: обслуговування стрічки на всьому протязі і обслуговування численних напрямних і підтримуючих роликів в складі транспортерної підвіски кожного конвеєра.

Найбільш дорогим і швидко зношуються елементом стрічкових конвеєрів є стрічка, вартість якої зазвичай становить (65 ... 75)% вартості всього конвеєра, а термін служби рідко перевищує 1,5 року, в результаті чого істотно знижується рентабельність конвеєрного транспортера.

Передчасний вихід з ладу суднової конвеєрної стрічки обумовлений її бічними зсувами, що викликає знос бортів стрічки, переломами поздовжнього профілю на роликових опорах і абразивним впливом переміщуваного вантажу. Абразивна дія проявляється тим сильніше, чим вище швидкість руху стрічки.

Практично після кожної перевантажувальної операції тунельні мотористи змушені проводити ремонт окремих ділянок стрічки. З огляду на велику її протяжність, ця процедура трудомістка і довгострокова.

Застосування забортної води для замивання стрічки від залишків вантажу створює підвищену вологість в тунельному просторі, важкі умови праці для тунельних мотористів, а також погіршує умови експлуатації роликів в складі роликових опор конвеєра. Ролики, а їх кількість обчислюється сотнями, при інтенсивній експлуатації стрічки відчувають великі динамічні навантаження, і в умовах підвищеної вологості схильні до інтенсивної корозії, що вимагає інтенсивного режиму їх змащування. У таких суднових умовах експлуатації доцільно було б застосування футерованих або роликів, які вкриті гумою, але при цьому незрівнянно зросте економічна складова.

6. Висновки

Таким чином, багатофакторний аналіз експлуатації стрічкових транспортерів в жорстких суднових умовах дозволяє виділити два основні актуальні завдання, що впливають на ефективність їх технічного використання:

- збереження транспортерної стрічки конвеєра при перевантаженні номенклатурних вантажів протягом усього періоду експлуатації;
- збільшення міжремонтного періоду роликових опор.

Список використаних джерел

[1] Журавлев Н.П. Транспортно-грузовые системы / Н.П. Журавлев, О.Б. Малин // - М.: УМНЦ, 2005. – 629 с.
[2] Ивченко, В.Н. Беспросыпные ленточные конвейеры / В.Н. Ивченко, С.В. Куров // – М.: Горная Промышленность. – 2005. – №4.
[3] Конвейеры: Справочник / Р. А. Волков, А. Н, Гнутов, В. К. Дьячков и др. Под общ. ред. Ю. А. Пертена // – Л.; Машиностроение, 1984. – 367 с.
[4] Зелинский, О.В. Справочник по проектированию ленточных конвейеров / О.В. Зелинский, А.С. Петров // – М.: Машиностроение, 1986. – 500 с.

References

[1] Zhuravlev, N. P., and O. B. Malyn. *Transportno-Hruzovye Systemy*. M.: UMNTs, p. 629, 2005.
[2] Yvchenko, V.N., and S.V. Kurov. *Besprosypnye lentochnye konveyery*. M.: Hornaya Promyshlennost', №4, 2005.
[3] Volkov, R.A., Hnutov, A.N., D'yachkov, V.K. y dr. *Konveyery: Spravochnyk*. Pod obshch. red. Yu. A. Pertena. L.: Mashynostroenye, p. 367, 1984.
[4] Zelynskyy, O.V., and A. C. Petrov. *Spravochnyk po proektyrovanyyu lentochnykh konveyerov*. M.: Mashynostroenye, p.500, 1986.

УДК 621.43

МОДИФІКАТОР ВАЖКИХ ПАЛИВНИХ СУМІШІВ

Сандлер А.К.

Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, Україна
E-mail: albertsand4@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0

DOI:

***Анотація**: Зменшення витрат усіх видів палив може значно поліпшити екологічну ситуацію за рахунок зменшення викиду в атмосферу забруднюючих і токсичних продуктів згоряння палива і зменшення споживання кисню з повітря. Це, в свою чергу, повинно зменшити економічні втрати, пов'язані з природоохоронними заходами, обумовленими роботою транспорту і енергетичних об'єктів. Саме тому розробка засобів, що дозволяють більш ефективно використовувати вуглеводневе паливо в суднових енергетичних установках, на морському транспорті, є системоутворюючим фактором його розвитку.*

У той же час, застосування існуючих пристроїв виявило їх недостатню стійкість до впливу неконтрольованих дестабілізуючих факторів, що генеруються компактно розташованими об’єктами суднової енергетичної установки. Для пошуку шляхів поліпшення характеристик пристроїв модифікації властивостей та структури палив проаналізовані конструкції найпоширеніших конструкцій.

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення модифікатора. Для розв`язування поставленої задачі запропонована схема модифікатора паливних сумішів.

Під впливом тиску, що створюється паливним насосом високого тиску, паливо надходить до корпусу розпилювача та потрапляє у вхід каналів особливого рельєфу та до незворотного клапану. У каналах, завдяки складному профілю, що характеризується варіативною геометрією по кроку, профілю та глибині, відбуваються процес деструкції внутрішньої структури палива, що рухається з субзвуковою швидкістю. У паливі, що потрапляє крізь незворотній клапан до об’єму втулки, відбувається мікроелектрогідравлічний удар.

За рахунок багаточисельних гідравлічних ударів, що виникають при просуванні палива крізь канали, що характеризуються значною кількістю поворотів, та шайби генеруються дефект структури паливної суміші. Після мікроелектрогідравлічного удару та проходження каналів й сопел Лаваля відбувається процес генерації дефектів структури важкого палива. Дефекти, що виникають, являють собою розрив у безперервної орієнтації, тобто розрив у полі директора $n(r)^2$. Завдяки таким розривам утворюються краплі лінійним розміром який не перебільшує 20 мкм при виході з сопла форсунки. Розпилювання палива з таким лінійним розміром дозволяє отримати більшу поверхню згоряння та поліпшити якість робочого процесу.

***Abstract:** Reducing the cost of all types of fuels can greatly improve the environmental situation by reducing the emission of polluting and toxic combustion products into the atmosphere and reducing the consumption of oxygen from the air. This, in turn, should reduce the economic losses associated with environmental measures imposed by the work of transport and energy facilities. That is why the development of tools that allow more efficient use of hydrocarbon fuels in marine power plants, on sea transport, is a system-forming factor for its development.*

At the same time, the use of existing devices revealed their insufficient resistance to the uncontrolled destabilizing factors generated by the compactly located objects of the ship's power plant. In order to find ways to improve the characteristics of the devices for the modification of properties and structure of fuels, the designs of the most common designs are analyzed.

In the prevailing conditions, it was expedient to develop a new circuit design modifier solution. For the solving of the task, a scheme of the modifier of fuel mixtures is proposed.

Under the influence of pressure created by the fuel pump of high pressure, fuel enters the body of the sprayer and enters the entrance of the channels of a special relief and to an irreversible valve. In the channels, due to the complex profile, characterized by variational geometry along the step, profile and depth, there is a process of destruction of the internal structure of the fuel moving at a sub-sound velocity. In the fuel that enters through the non-return valve to the volume of the sleeve, a microelectrohydraulic blow occurs.

Due to the numerous hydraulic shocks that arise when the fuel is propelled through channels characterized by a significant number of turns, and the washer generates a defect in the structure of the fuel mixture. After the microelectrohydraulic blow and passage of Laval's canals and nozzles, the process of generating defects in the structure of heavy fuel is taking place. The emerging defects represent a gap in the continuous orientation, that is, the gap in the director's field n (r) ². Due to such discontinuities, droplets of linear size do not exceed 20 microns when exiting the nozzle nozzle. Sawing fuel with such a linear size allows you to get a larger combustion surface and improve the quality of the workflow.

Ключові слова: модифікатор, паливо, гідравлічний удар
Key words: modifier, fuel, hydraulic impact

1. Вступ

Сьогодні проблема енергоефективності та енергозбереження розглядається як найважливіший аспект проектування, створення і використання морських і річкових суден. Це обумовлено як збільшенням кількості судів в світовому судноплавстві, так і зростанням потужності суднових енергетичних установок. В силу величезної протяжності морських комунікацій світова економіка не може успішно розвиватися без випереджаючого розвитку транспортної системи, яка є одним з основних споживачів копалин паливних ресурсів і, перш за все, нафти.

Зменшення витрат усіх видів палив може значно поліпшити екологічну ситуацію за рахунок зменшення викиду в атмосферу забруднюючих і токсичних продуктів згоряння палива і зменшення споживання кисню з повітря. Це, в свою чергу, повинно зменшити економічні втрати, пов'язані з природоохоронними заходами, обумовленими роботою транспорту і енергетичних об'єктів.

Саме тому розробка засобів, що дозволяють більш ефективно використовувати вуглеводневе паливо в суднових енергетичних установках, на морському транспорті, є системоутворюючим фактором його розвитку.

Для зміни властивостей паливних сумішів застосовується широкий спектр пристроїв на основі різноманітних фізичних принципів роботи, які серійно виробляються промисловістю.

2. Аналіз літературних джерел і постановка питання

У той же час, застосування існуючих пристроїв виявило їх недостатню стійкість до впливу неконтрольованих дестабілізуючих факторів, що генеруються компактно розташованими об’єктами суднової енергетичної установки [1, 2, 3].

Для пошуку шляхів поліпшення характеристик пристроїв модифікації властивостей та структури палив проаналізовані конструкції найпоширеніших конструкцій [3, 4, 5].

Відомий п`єзоелектричний модифікатор, який складається з корпусу-фіксатора, двох напівциліндричних п’єзоелектричних силових елементів, що накладаються зовні на трубопровід, ліній живлення та п’єзоелектричного модулятора [4] (рис. 1).

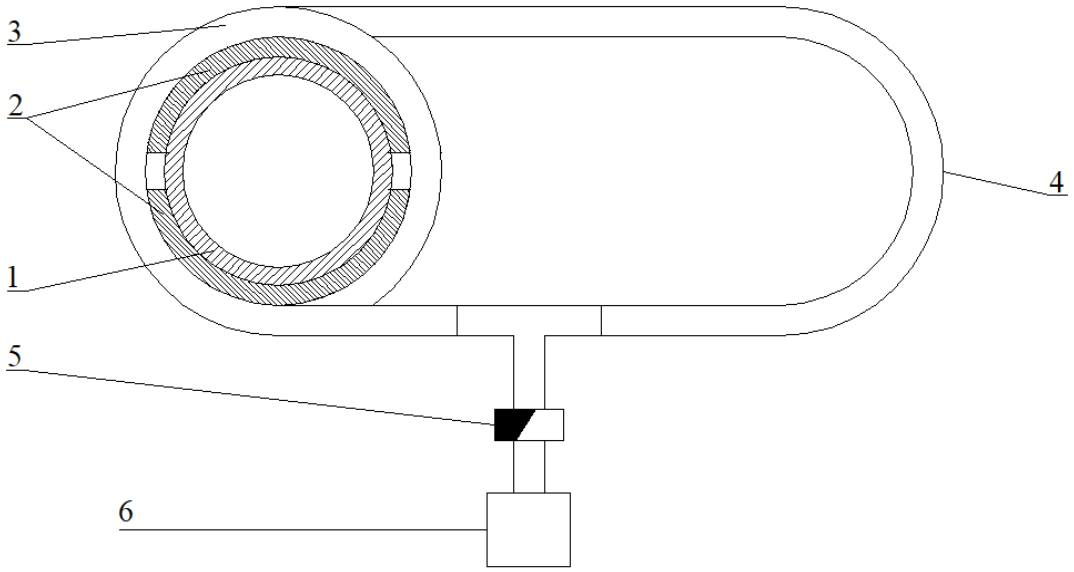


Рис. 1 – П`єзоелектричний модифікатор: 1 – паливний трубопровід; 2 – напівциліндричні п’єзоелектричні силові елементи; 3 – корпус-фіксатор; 4 – лінії живлення; 5 - п’єзоелектричний модулятор; 6 – блок живлення.

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням п`єзоматеріалів:

наявність елементів, виконаних з матеріалів з коефіцієнтами теплового поширення, що відрізняються один від одного;

неможливість застосування при температурах палива понад 120°С;

неможливість наближення пристрою до місця вприску палива у робочий циліндр;

підвищена пожежонебезпечність пристрою.

У меншій мірі експлуатаційні та конструктивні фактори впливають на характеристики пристрою, що містить корпус розпилювача, шайби перемінного діаметру, канали рельєфу особливого профілю на корпусі розпилювача та зовнішньому боці шайб [5] (рис. 2).

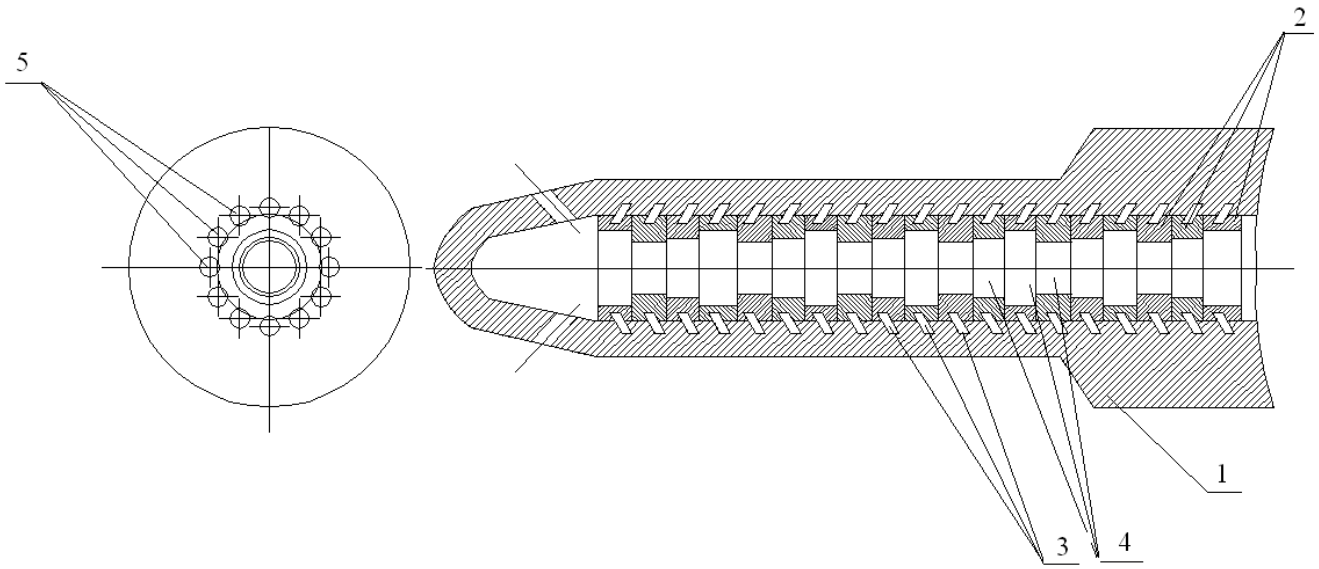


Рис. 2 – Модифікатор структури важкого палива: 1 – корпус розпилювача; 2 – шайби; 3 – канали рельєфу особливого профілю на корпусі розпилювача зовнішньому боці шайб та; 4 – перемінний прохідний діаметр шайб; 5 – вхід каналів особливого профілю.

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням шайб перемінного діаметру:

швидке коксування шайб важкими фракціями палива;

втрата пристроєм своїх властивостей деструкції паливних сумішей після коксування;

необхідність ретельного та частого очищення пристрою;

необхідність прецизійного складання пристрою після регламентних робіт.

3. Мета і задачі дослідження

В умовах, що склалися, доцільною стала розробка нового схемотехнічного рішення модифікатора. Передбачалося, що конструктивне виконання повинне забезпечити пристрою:

відсутність порушення цілісності паливного трубопроводу,

відсутність прецизійних регламентних робіт;збереженість температурного діапазону та ступені деструкції структури палива відомих типів модифікаторів.

Для розв`язування поставленої задачі запропонована схема модифікатора паливних сумішів.

Суть запропонованого схемотехнічного рішення пояснюється кресленням (рис. 3).

4. Основні пункти дослідження

Модифікатор, що складається з каналів *3*, які сформовані на внутрішньому боці отвору для палива корпусу розпилювача *1* у вигляді рельєфу особливого профілю, та втулки *2* з верхньою *4* та нижньою *7* кришками, вмонтованих у отвір для палива розпилювача, які також мають на зовнішньому боці канали *3* у вигляді рельєфу особливого профілю. У верхній кришці змонтований незворотній клапан *5* з пружиною *6*. А у нижній кришці виконано 12 отворів у формі сопла Лаваля. До корпусу модифікатора підключений вихід від електричної схеми створення мікроелектрогідравлічного удару, яка складається з зарядного опору *9* , трансформатора *10*, випрямляча *11*, конденсатора *12*, проміжку, утворюючого іскру *13*, електрода з ізоляцією *14*. Електрод введено до внутрішнього простору втулки від входу електросхеми.

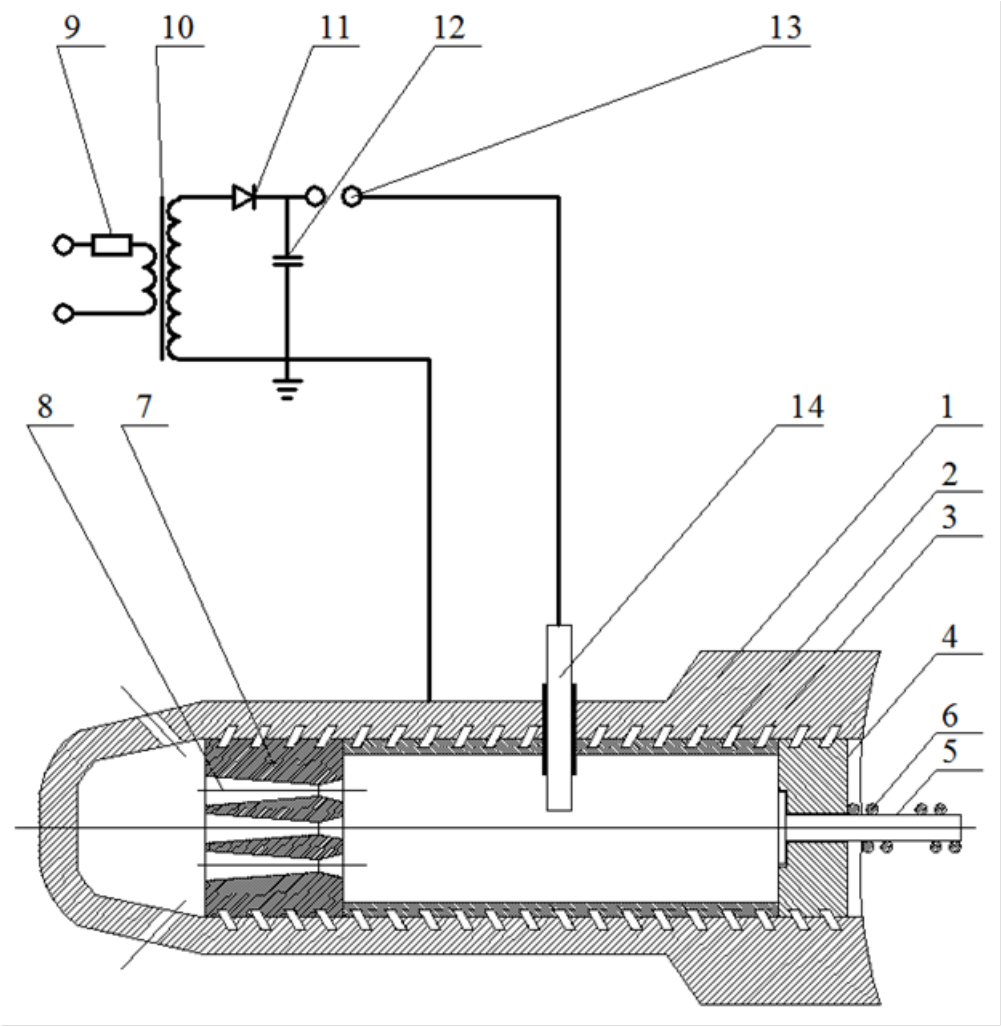


Рис. 3 – Модифікатор структури важкого палива: 1 – корпус розпилювача; 2 – втулка; 3 – канали рельєфу особливого профілю на корпусі розпилювача та зовнішньому боці шайб; 4 – верхня кришка; 5 – незворотний клапан; 6 – пружина; 7 – нижня кришка; 8 – сопло Лаваля; 9 – зарядний опір; 10 – трансформатор; 11 – випрямляч; 12 – конденсатор; 13 – проміжок, утворюючий іскру; 14 – електрод з ізоляцією.

Елементи модифікатора для збереження необхідних робочих зазорів виконуються безпосередньо на деталях паливних форсунок без порушення міцності і цілісності елементів паливної системи, що функціонують під підвищеним тиском паливної суміші.

Під впливом тиску, що створюється паливним насосом високого тиску, паливо надходить до корпусу розпилювача та потрапляє у вхід каналів особливого рельєфу та до незворотного клапану. У каналах, завдяки складному профілю, що характеризується варіативною геометрією по кроку, профілю та глибині, відбуваються процес деструкції внутрішньої структури палива, що рухається з субзвуковою швидкістю. У паливі, що потрапляє крізь незворотній клапан до об'єму втулки, відбувається мікроелектрогідравлічний удар.

Після мікроелектрогідравлічного удару та проходження каналів й сопел Лаваля відбувається процес дисклинації (генерації дефектів структури) важкого палива. У наслідок цього процесу формуються краплі з лінійним розміром який не перебільшує 20 мкм при виході з сопла форсунки. При розпилюванні важких паливних сумішів з лінійним розміром краплі, який не перебільшує 20 мкм, досягається їх більш повне та якісне згоряння у циліндрі дизеля.

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію каналів рельєфу особливого профілю на корпусі розпилювача й зовнішньому боці набору втулки, сопел Лаваля у нижній кришці, а також електричної схеми для створення мікроелектрогідравлічного удару.

Під впливом тиску, що створюється паливним насосом високого тиску, паливо надходить до корпусу розпилювача та потрапляє у вхід каналів особливого рельєфу та до незворотного клапану. У каналах, завдяки складному профілю, що характеризується варіативною геометрією по кроку, профілю та глибині, відбуваються процес деструкції

внутрішньої структури палива, що рухається з субзвуковою швидкістю. У паливі, що потрапляє крізь незворотній клапан до об'єму втулки, відбувається мікроелектрогідравлічний удар.

За рахунок багаточисельних гідравлічних ударів, що виникають при просуванні палива крізь канали, що характеризуються значною кількістю поворотів, та шайби генеруються дефект структури паливної суміші.

Після мікроелектрогідравлічного удару та проходження каналів й сопел Лаваля відбувається процес дисклинації (генерації дефектів структури) важкого палива.

Дефекти, що виникають, являють собою розрив у безперервної орієнтації, тобто розрив у полі директора $n(r)^2$ [6]. Завдяки таким розривам утворюються краплі лінійним розміром який не перебільшує 20 мкм при виході з сопла форсунки. Розпилювання палива з таким лінійним розміром дозволяє отримати більшу поверхню згоряння та поліпшити якість робочого процесу.

Запропоноване схемотехнічне рішення відрізняється тим, що втулка на верхньому кінці має кришку, у які вмонтовано незворотній клапан, на нижньому кінці втулки кришка має перфорацію у вигляді сопел Лаваля, а сама втулка залучена до електричної схеми створення електрогідравлічного удару [7].

5. Висновки

Таким чином, в розробленому пристрою комбінація електромеханічних елементів забезпечує:

більш ефективну генерацію дефектів структури паливної суміші;

компенсацію впливу дестабілізуючих факторів на робочий канал модифікатору;

наближення модифікатору до місця вприску палива у робочий циліндр;

підвищення якості функціювання за рахунок використання матеріалів з близьким коефіцієнтом теплового поширення.

Застосування запропонованої моделі пристрою, крім того, дозволить підвищити безпеку і ефективність різних типів технологічних процесів у суднової енергетичної установці і судні в цілому.

Список використаних джерел

[1] Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. /С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; под общей ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

[2] Овсянников М.К. Судовые дизельные установки: Справочник / М.К. Овсянников, В.А. Петухов // – Л.: Судостроение, 1986. – 424 с.

[3] Шарапов В.М. Пьезоэлектрические датчики / В.М. Шарапов, М.П. Мусиенко, Е.В. Шарапова // Под ред. В.М. Шарапова. – М.: Техносфера, 2006. – 632 с.

[4] Добровольский В.В. Энергетические затраты на топливоподготовку судовых малооборотных двигателей / В.В. Добровольский, Л.В. Пизинцали // Проблеми техніки: наук.-техн. збірн. – 2010. – Вип. 3. – Одеса: ОНМУ. – С. 129 – 137.

[5] Деклараційний патент на корисну модель № 78834 Україна, МПК (2013.01): G01M 11/00. Модифікатор важких паливних сумішей / В.В. Добровольський, С.А. Ханмамедов; заявники та володарі патенту В.В. Добровольський, С.А. Ханмамедов. – № u201203661; заявл. 26.03.2012; опубл. 10.04.2013, бюл. №. – 3 с.

[6] П. де Жен. Физика жидких кристаллов // Перевод с английского А.А. Веденова. /Под редакцией А.С. Сонина. – М.: Мир, 1977. – 400 с.

[7] Сандлер, А.К., Цюпко, Ю.М. Модифікатор важких паливних сумішей. Деклараційний патент України № 119383. МПК (2006): F02B 77/00, B60K 15/00– заявл. 30.03.2017. // Опубл. 25.09.2017, бюл. № 18/2017.

References

[1] S.Y. Efymov, N.A. Yvashchenko, V.Y. Yvyn y dr., *Dvyhately vnutrenneho shoranyia: Systemy porshnevikh y kombynyro-vannыkh dvyhatelei*. Pod obshchei red. A.S. Orlyna, M.H. Kruhlova. M.: Mashynostroenye. – 456 s. , 1985.

[2] Ovsiannykov, M.K., Petukhov, V.A., *Sudovse dyzelnye ustanovky: Spravochnyk*. L.: Sudostroenye. – 424 s., 1986.

[3] Sharapov, V.M., Musyenko, M.P., Sharapova, E.V., *Pezoelektrycheskye datchyky*. Pod red. V.M. Sharapova. M.: Tekhnosfera. – 632 s., 2006.

[4] V.V. Dobrovolskyi, L.V. Pyzyntsaly, *Enerhetycheskye zatraty na toplyvopodhotovku sudovskh malooborotnskh dvyhatelei.* Problemy tekhniky: nauk.-tekhn. zbirn. Vyp. 3. Odesa: ONMU. – S. 129 – 137., 2010.

[5] V.V. Dobrovolskyi, S.A. Khanmamedov; zaiavnyky ta volodari patentu V.V. Dobrovolskyi, S.A. Khanmamedov, Deklaratsiinyi patent na korysnu model № 78834 Ukraina, MPK (2013.01): G01M 11/00. Modyfikator vazhkykh palyvnykh sumishei. – № u201203661; zaiavl. 26.03.2012; opubl. 10.04.2013, biul. №. – 3 s.

[6] P. de Zhen., *Fyzyka zhydkykh krystallov*. Perevod s anhlyiskoho A.A. Vedenova. Pod redaktsyei A.S. Sonyna. – M.: Myr. – 400 s., 1977.

[7] Sandler, A.K., Tsiupko, Yu.M. *Modyfikator vazhkykh palyvnykh sumishei.* Deklaratsiinyi patent Ukrainy № 119383. MPK (2006): F02B 77/00, B60K 15/00– zaiavl. 30.03.2017. // Opubl. 25.09.2017, biul. № 18/2017.

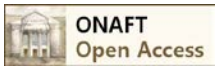
УДК 697

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ПАРОПОВІТРЯНИХ СУМІШЕЙ: РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ, СТРУКТУРНА ТА ПАРАМЕТРИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОСНОВНИХ КАНАЛІВ ОБ'ЄКТУ

Ковальчук Д.А.[1], Мазур О.В.[2], Хобін В.А.[3]

[1,2,3] Одеська Національна Академія харчових технологій
[1]Аспірант, [2]Доцент, к.т.н., [3]Професор, д.т.н.
ORCID: [1]http://orcid.org/0000-0003-0549-5244, [2]http://orcid.org/0000-0001-7104-9010, [3]http://orcid.org/0000-0003-0238-8371
E-mail: [1]radiolomaster@gmail.com, [2]mazur.av.ua@gmail.com, [3]khobin@onaft.edu.ua

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0



DOI:

Анотація: *У статті розглянуто актуальність і необхідність застосування систем, що дозволяють утилізувати тепло пароповітряних сумішей як енергетичних відходів. Розглянуто різні варіанти утилізації на прикладі газових котлів, як джерела великої кількості енергетичних відходів у вигляді димових газів, виділені їх недоліки. Для більш глибокої утилізації тепла пароповітряних сумішей запропоновано можливість застосування теплового насоса, а також удосконалення системи автоматичного керування процесом утилізації тепла димових газів з тепловим насосом у складі, для подальшого підвищення енергетичної ефективності. Представлена параметризована схема технологічного процесу утилізації тепла димових газів. Наведені результати експериментів, по дослідженню процесу утилізації в автоматичному режимі на фізичній моделі, розробленій авторами. Проведено аналіз результатів. Виконана структурна ідентифікація процесу утилізації тепла димових газів як об'єкту керування, виділені основні канали керування, перехресні зв'язки між ними, та найбільш впливові збурення. Складено параметричну схему процесу як об'єкту керування. Проведено параметричну ідентифікацію основних каналів керування, перехресних зв'язків та контрольованих збурень в ході якої отримані математичні моделі основних каналів перетворення координатних дій.*

Annotation: *The article considers the urgency and necessity of using systems that allow to utilize the heat of steam-air mixtures as energy wastes. Different variants of utilization on the example of gas boilers as sources of a large amount of energy waste in the form of flue gases are considered, their drawbacks are highlighted. For a more profound utilization of the steam-air mixtures heat, the possibility of using a heat pump, as well as improving the system of automatic control of the process of utilization of the flue gases heat with a heat pump in the composition, is proposed for further increase of energy efficiency. A parametrized scheme of the process of flue gas heat recovery is presented. The results of experiments, on the study of the utilization process in the automatic mode on the physical model, developed by the authors are presented. The analysis of results is carried out. The structural identification of the process of utilization of heat of flue gases as a control object is carried out, the main control channels, cross-links between them, and the most influential perturbations are allocated. A structural scheme of the process is created as an control object. The parametric identification of the main control channels, cross-links and controlled disturbances was carried out, during which mathematical models of the main channels for transformation of coordinate actions were obtained.*

Ключові слова: дослідження, тепловий насос, утилізація тепла, статичні характеристики, динамічні характеристики

Вступ

Постійне зростання цін на енергоносії все більш загострює питання енергозбереження. В умовах конкуренції підприємства змушені оптимізувати собівартість продукції, яка включає і витрати енергії на її випуск.

Одним з заходів, що дозволяє знизити енергетичні витрати на ведення технологічного процесу, є вдосконалення алгоритмів керування. Це особливо актуально у випадку, коли технологічний процес ведеться в декількох технологічних агрегатах, на функціонування кожного з яких накладені специфічні обмеження, а найбільш ефективні режими їх роботи вступають у протиріччя з цими обмеженнями.

1. Огляд літературних джерел

У [1, 2] було розглянуто тепловий потенціал пароповітряних сумішей, які уявляють собою енергетичні відходи технологічних процесів та актуальність застосування систем утилізації їх тепла. Це дозволяє зменшити енергетичні витрати на ведення технологічного процесу та знизити собівартість готової продукції. Подальше підвищення енергетичної ефективності технологічного процесу можливе за рахунок створення інноваційних систем утилізації тепла ППС, а також за рахунок розробки нових алгоритмів керування.

Значну кількість енергетичних відходів утворює теплогенеруюче обладнання на базі газових котлів. Аналіз основних енергетичних втрат при роботі газового котла проводився у [3, 4]. Найбільш суттєвими є втрати з димовими газами, які можуть складати до 15% [3].

Різноманітні системи утилізації тепла димових газів, поширені у промисловості, розглянуто та досліджено у багатьох джерелах, зокрема у [4, 5, 6, 8]. Зазвичай вони полягають у встановленні на димоході котла спеціальних теплообмінників, які забезпечують охолодження димових газів та нагрів теплоносія з низьким температурним потенціалом. У [9, 10] проводиться огляд різних конструкцій контактних та безконтактних утилізаторів тепла димових газів, які використовуються на газових котельнях. Для отримання максимально можливої кількості теплової енергії необхідно охолодити димові гази суттєво нижче точки конденсації водяного пару, що входить до їх складу. Саме при конденсації водяних парів виділяється найбільша кількість теплової енергії [7]. Точка роси димових газів, тобто початок конденсації водяного пару, в залежності від співвідношення газ/повітря, може змінюватись в діапазоні від 40 до 58 С [7, 11]. Глибина утилізації тепла димових газів буде залежати від того, наскільки вони переохолоджені відносно точки роси. При переохолоджені на кожні 10 С буде утилізовано приблизно 30% енергії пари в ППС.

Для всіх цих засобів існує загальна проблема – для максимальної утилізації тепла потрібно мати навантаження у вигляді споживача теплової енергії з низьким температурним потенціалом (від 10 до 30 °С). В деяких технологічних процесах таке навантаження існує. Наприклад, при роботі парового котла з постійною витратою пари та необхідністю підживлення водою можлива утилізація тепла ДГ за рахунок підігріву живлячої води. При роботі котла на систему гарячого водопостачання можлива утилізація за рахунок попереднього підігріву води. Утилізація також можлива за рахунок підігріву зворотного теплоносія при роботі котла у низькотемпературній системі опалення, наприклад «тепла підлога». В інших випадках, коли низькотемпературне навантаження не доступне, реалізувати глибоку утилізацію теплову енергію димових газів проблематично. Заявлені виробниками високі показники енергетичної ефективності розповсюджених останнім часом газових котлів з вбудованою секцією конденсації (конденсаційних котлів) також підтверджуються тільки при роботі на низькотемпературне навантаження при температурах зворотної води 20-35 °С.

У [3, 7] проводились дослідження режимів роботи системи опалення багатоповерхового будинку, яка являє собою типове теплове навантаження для системи утилізації тепла. Дослідження показали, що температура теплоносія в зворотному трубопроводі системи опалення, яка по суті є температурою води на вході конденсатора ТН, у продовж опалювального сезону змінюється в залежності від температури навколишнього середовища в широкому діапазоні (від 30 до 50 °С). Тому одним з можливих рішень побудови системи глибокої утилізації тепла ДГ є застосування теплового насосу [7, 12]. Це дозволяє знизити температуру охолодження ППС і підняти температурний потенціал отриманої теплової енергії, що суттєво збільшує кількість варіантів можливого її застосування та дозволяє підвищити ефективність системи утилізації в цілому. При зниженні температури охолодження димових газів, глибина утилізації теплової енергії росте, однак при цьому і зростають питомі витрати енергії на роботу теплового насосу і знижується енергетична ефективність системи утилізації в цілому. В роботах [4, 5, 6] були проведені дослідження по визначенню оптимальних температур охолодження димових газів в залежності від температури їх точки роси. В залежності від складу газу та співвідношення газ-повітря на вході котла точка роси може змінюватись в діапазоні від 48 до 58 °С. При цьому оптимальна, з огляду на мінімальні питомі енергетичні втрати, температура охолодження димових газів (ДГ) змінюється відповідно від 30 до 35 °С. Для забезпечення таких режимів, навіть при застосуванні контактного теплоутилізатора, температура води на його вході повинна підтримуватись в діапазоні від 20 до 25 °С відповідно.

Для дослідження процесів утилізації тепла ППС з використанням теплових насосів авторами було створено фізичну модель тепловою потужністю до 8 кВт, яка складається з генератора ППС з заданими параметрами (температурою, вологістю та витратами), утилізатора тепла на базі контактного теплообмінника та теплового насосу. Фізична модель оснащена мікропроцесорною системою збору даних та управління. Детальний опис фізичної моделі приведено у [13].

Підвищення енергетичної ефективності та надійності системи глибокої утилізації ДГ з використанням теплового насосу можливе за рахунок розробки та впровадження вдосконалених алгоритмів керування. Цей етап потребує великої кількості попередніх досліджень. Із застосуванням фізичної моделі було проведено ряд експериментів з дослідження процесу утилізації тепла ППС як об’єкту керування (ОК). Фізична модель дозволяє проводити

експерименти у автоматичному режимі, що суттєво скорочує час на проведення досліджень. Саме завдяки цьому отримані квазістатичні та динамічні характеристики по різним каналам, аналіз яких дозволяє розробити концепцію побудови енергоефективної системи автоматичного управління. Фізична модель дозволяє проводити випробування розроблених алгоритмів керування в квазіреальних умовах роботи.

2. Експериментальні дослідження

Параметризована схема процесу глибокої утилізації тепла ДГ з використанням теплового насосу представлена на рисунку 1.

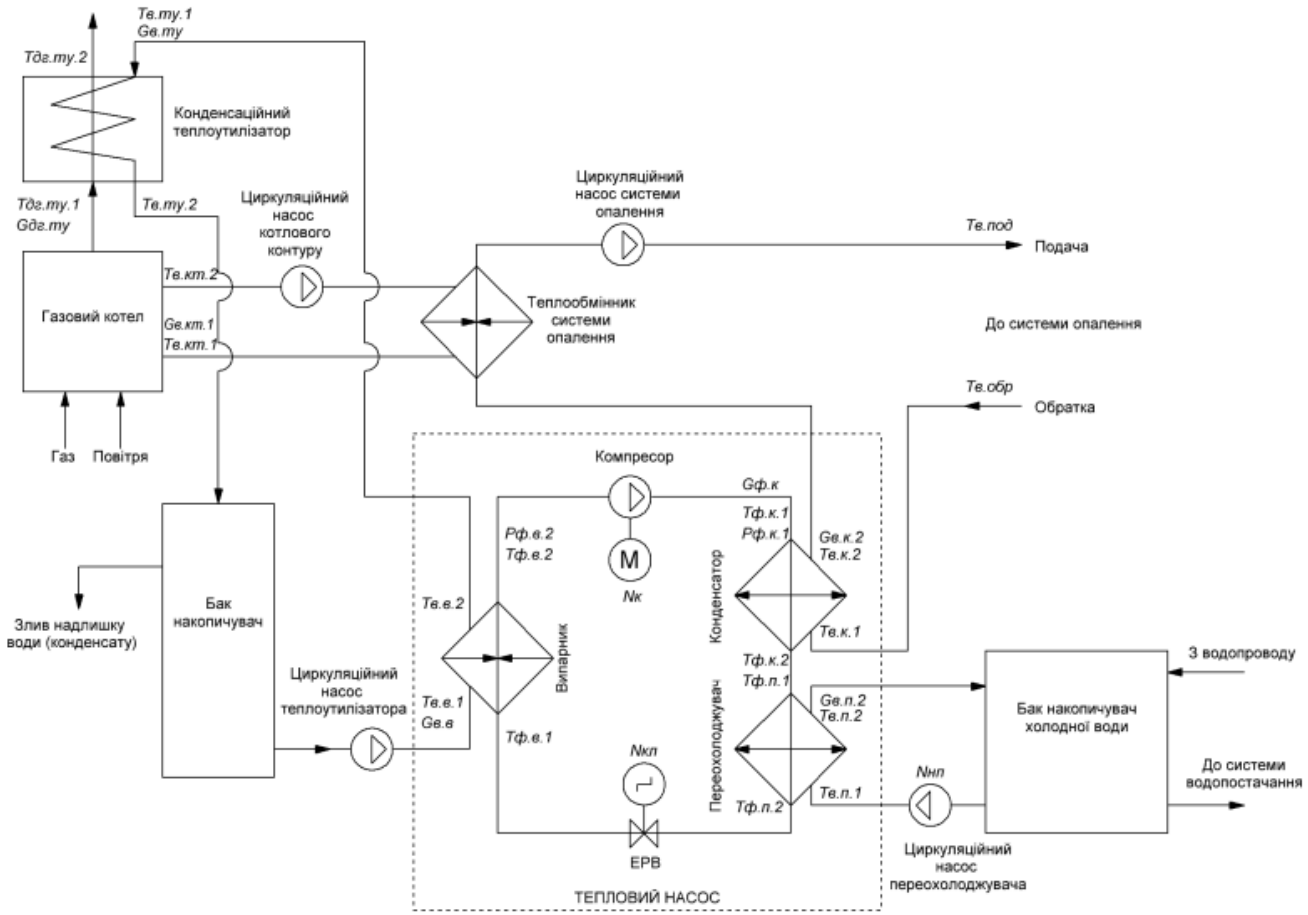


Рис. 1 – Параметризована схема процесу глибокої утилізації тепла ДГ з використанням теплового насосу

Перелік змінних параметризованої технологічної схеми та отримані в результаті аналізу літературних джерел очікувані діапазони їх змін перераховані нижче.

$T_{дг.ту.1}$ – температура димових газів на вході у конденсатор димових газів, $T_{дг.ту.1}$ Є [100…150°C];

$T_{дг.ту.2}$ – температура димових газів на виході теплоутилізатора, $T_{дг.ту.2}$ [20…40°C];

$G_{дг.ту}$ – витрати димових газів, $G_{дг.ту}$ Є [50…100 м^3/год];

$P_{ф.в.}$ – тиск фреону на виході випарника, $P_{ф.в}$ Є [2…6 атм];

$P_{ф.к}$ – тиск фреону у конденсаторі, $P_{ф.к}$ Є [10…20 атм];

$G_{ф.к}$ – витрати фреону;

$T_{ф.в.1}$ – температура фреону на вході випарника, $T_{ф.в.1}$ Є [0…15°C];

$T_{ф.в.2}$ – температура фреону на виході випарника, $T_{ф.в.2}$ Є [0…15°C];

$T_{ф.к.1}$ – температура фреону на вході конденсатора, $T_{ф.к.1}$ Є [30…50°C];

$T_{ф.к.2}$ – температура фреону на виході конденсатора, $T_{ф.к.2}$ Є [30…50°C];

$T_{ф.п.1}$ – температура фреону на вході переохолоджувача;

$T_{ф.п.2}$ – температура фреону на виході переохолоджувача;

$T_{в.в.1}$ – температура води на вході у випарник, $T_{в.в.1}$ Є [30…50°C];
$T_{в.в.2}$ – температура води на виході з випарника, $T_{в.в.2}$ Є [10…30°C];
$G_{в.в}$ – витрати води крізь випарник, $G_{в.в}$ Є [5…15 м^3/год];
$T_{в.к.1}$ – температура води на вході в конденсатор, $T_{в.к.1}$ Є [20…50°C];
$T_{в.к.2}$ – температура води на виході конденсатора, $T_{в.к.2}$ Є [20…50°C];
$G_{в.к}$ – витрати води крізь конденсатор, $G_{в.к}$ Є [5…15 м^3/год];
$T_{в.п.1}$– температура води на вході переохолоджувача;
$T_{в.п.2}$ – температура води на виході переохолоджувача;
Gв.п – витрати води крізь переохолоджувач;
Nк– обороти компресора;
$N_{кл}$ – положення розширювального вентиля із кроковим двигуном.

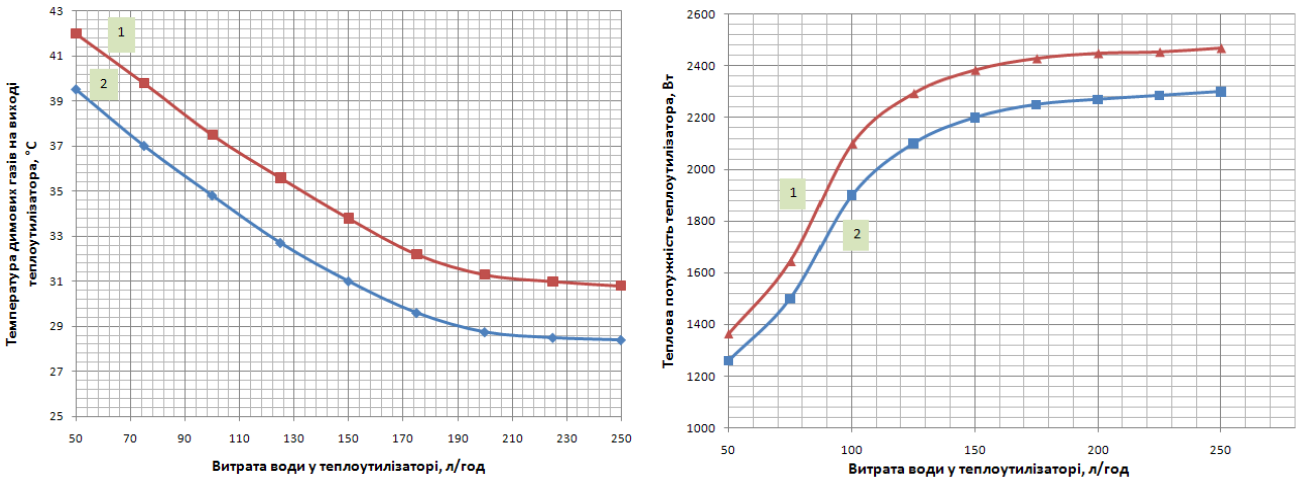
Експериментальні дослідження процесу глибокої утилізації тепла димових газів (УТДГ) з використанням теплового насосу на базі розробленої фізичній моделі проводились у три етапи:

1. дослідження контактного теплоутилізатора як ОК;
2. дослідження теплового насосу як ОК;
3. дослідження системи глибокої УТДГ в цілому як ОК.

2.1. Дослідження контактного теплоутилізатора як ОК

В роботах [6, 8, 9] показано, що, в залежності від параметрів теплового насосу та коефіцієнту надлишку повітря, найбільш вигідна з енергетичної точки зору глибина утилізації тепла димових газів досягається при їх охолодженні до температури 30-35 С. Отже регулювання цієї температури є актуальною задачею.

Температурний режим димових газів на виході утилізатора *Тдг.ту.2* можливо підтримувати або за рахунок цілеспрямованої зміни витрат охолоджуючої води через нього *Gв.ту,* або за рахунок зміни температури води на вході в теплоутилізатор *Тв.ту.1*. Технічна реалізація обох засобів не є складною. Вибір між ними повинен ґрунтуватись на доцільності з точки зору якості керування та енергетичної ефективності установки в цілому. Для цього були проведені експериментальні дослідження і отримані статичні залежності температури ДГна виході теплоутилізатора *Тдг.ту.2* та його теплової потужності від витрат теплоносія через теплоутилізатор *Gв.ту*, та від його температури *Тв.ту.1*. Отримані залежності показані на рисунках 2-5.



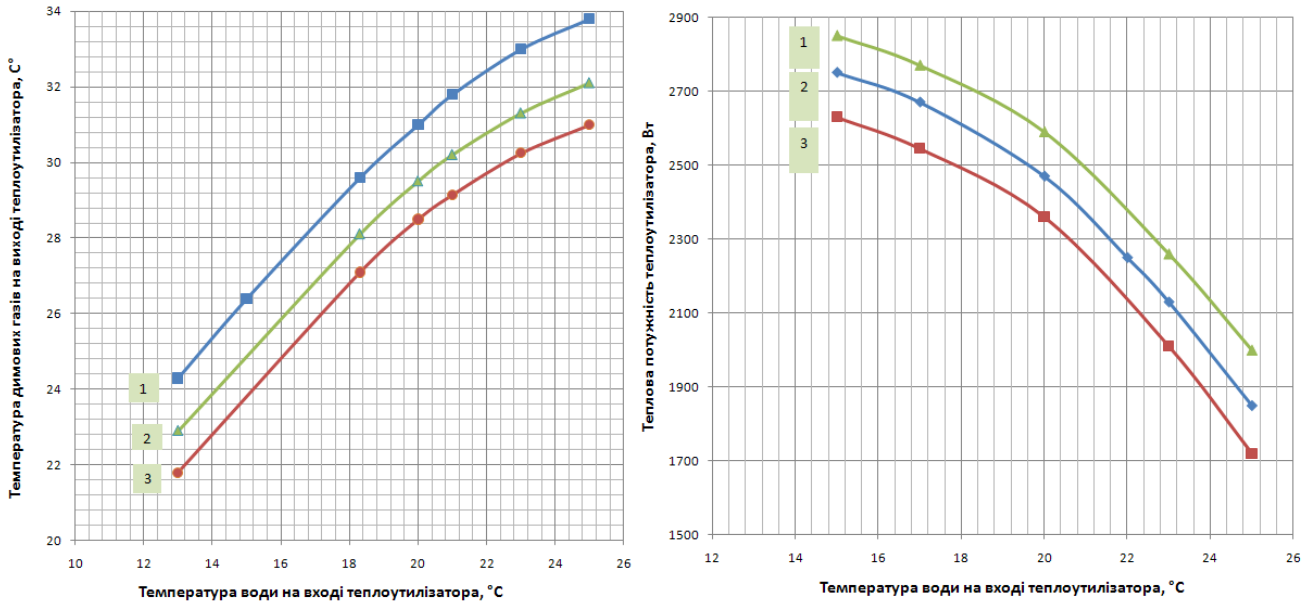
а) б)

Рис. 2 – Статичні характеристики ТУ при зміні витрат охолоджуючої води

На рисунках 2а та 2б наведені залежності теплової потужності ТУ та температури ДГ на виході ТУ Тдг.ту.2, відповідно від витрат води крізь ТУ при сталих температурах води на вході ТУ(1 – 20 °С, 2 – 25 °С).

На рисунку 3а наведено сімейство статичних характеристик по каналу «Температура води на вході ТУ – температура димових газів на виході ТУ» при сталих витратах води крізь ТУ (1 – 150 л/год, 2 – 180 л/год, 3 – 230 л/год).

На рисунку 3б наведені залежності теплової потужності ТУ від температура води на вході ТУ при сталих витратах води крізь ТУ (1 – 230 л/год, 2 – 180 л/год, 3 – 150 л/год).



а) б)

Рис. 3 – Статичні характеристики ТУ при зміні температури охолоджуючої води

З енергетичної точки зору більш вигідно підтримувати максимально можливу температуру охолоджуючої води, тому стабілізацію режиму утилізації, тобто підтримку сталої температури на виході ТУ доцільно здійснювати за рахунок зміни температури води на вході ТУ при сталих витратах води. Крім того, з результатів експериментів видно, що статичні характеристики каналу «Витрати води у ТУ – температура димових газів на виході ТУ» мають більшу нелінійність та досить невеликий робочий діапазон витрат крізь ТУ (при збільшенні витрат вище 180 л/год теплова потужність ТУ майже не змінюється).

Виходячи з цього, на рис. 4 представлена параметрична схема теплоутилізатора як об’єкта керування.

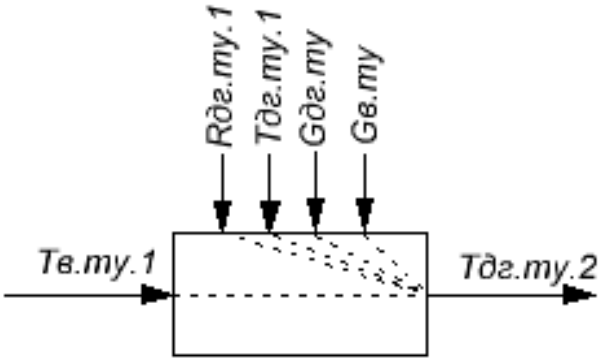


Рис. 4 – Параметрична схема теплоутилізатора як ОК

Регульованою змінною процесу є температура димових газів на виході ТУ (*Тдг.ту.2*), а керуючим впливом – температура води на вході ТУ (*Тв.ту.1*). Всі інші параметри, які можуть впливати на температуру димових газів на виході ТУ, такі як температура (*Тдг.ту.1*), витрати (*Gдг.ту*) і точка роси (*Rдг.ту.1*) димових газів на вході ТУ, та витрати охолоджуючої води крізь ТУ (*Gв.ту*), можно віднести до неконтрольованих збурень. З огляду характеристик наведених на рис. 1, доцільні витрати охолоджуючої води крізь ТУ становлять близько 230 л/год., тому крива №3 на рис. 3 і буде статичною характеристикою каналу керування «*Тв.ту.1- Тдг.ту.2*»

2.2. Дослідження теплового насосу як ОК

На рис. 5 наведено параметричну схему ТН як ОК.

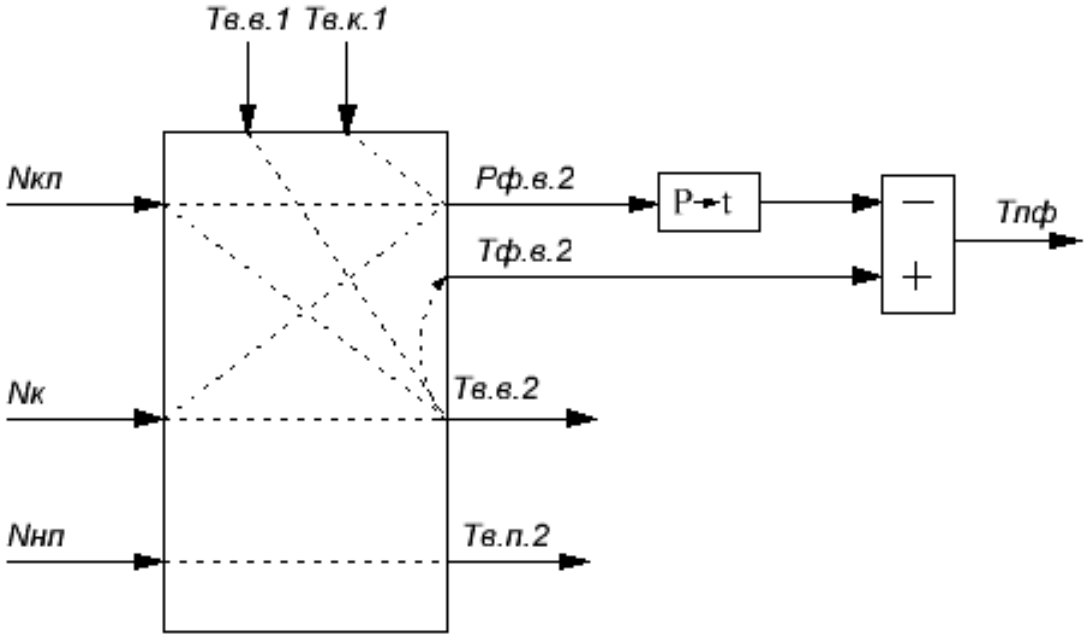


Рис. 5 – Параметрична схема ТН як ОК

Аналіз літературних джерел [8, 9, 17] показує, що для забезпечення нормальної роботи ТН в системі управління ним повинні бути присутні мінімум 2 контури керування:

1. Контур керування температурою перегріву парів холодоагенту на виході випарника (Тпф) Він забезпечує, з одного боку, відсутність в складі холодоагенту на вході в компресор крапельної фази, а з іншого боку - максимально можливе завантаження випарника. При цьому величина перегріву вираховується як різниця між температурою парів холодоагенту на виході випарника (Тф.в.2) та кінцевою температурою кипіння холодоагенту (*Тк.ф.в.*), вирахуваною по рівню тиску парів холодоагенту на виході випарника (Рф.в). Керуючим впливом за звичай є ступінь відкриття електронного розширювального вентиля (ЕРВ). В випадку застосування ЕРВ з кроковим електроприводом керуючою дією буде кількість кроків повороту крокового двигуна (*Nкл*) відносно закритого стану ЕРВ.

2. Контур керування продуктивністю ТН. Регульованою координатою контуру є температура охолоджуючої води на виході випарника (*Тв.в.2*). Керуючим впливом контуру є частота обертання компресора (*Nk*).

Основними збурюючими змінними для цих контурів регулювання є температури води на вході випарника (*Тв.в.1*) та конденсатора (*Тв.к.1*).

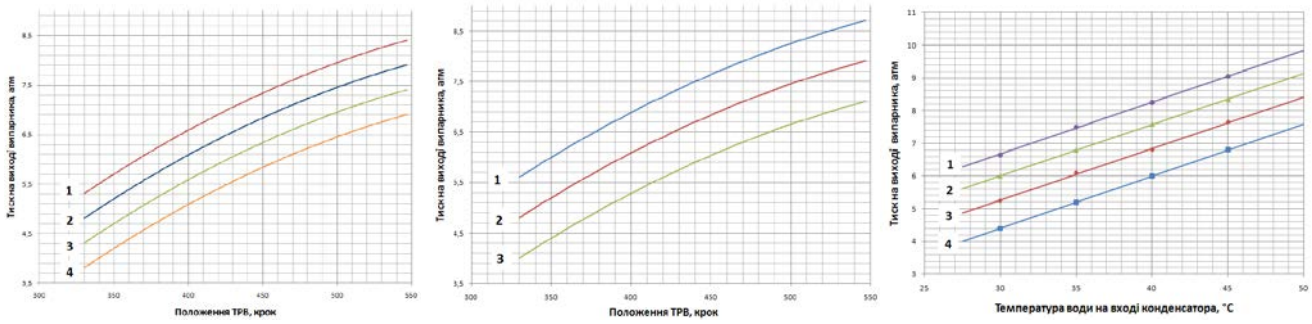
Для підвищення енергетичної ефективності теплового насосу до його складу включають переохолоджувач, який максимально можливо знижує температуру рідкого фреону перед ЕРВ (*Тф.п.2* (див. рис. 5)). Переохолодження здійснюється теплообмінником-переохолоджувачем за рахунок попереднього підігріву питної води, яка поступає до системи гарячого водопостачання. Регульованою змінною контуру є температура води на виході переохолоджувача (*Тв.п.2*), що підтримується на рівні температури води, яка надходить до конденсатора (*Тв.к.1*). А керуючим впливом є витрати води (*Gв.п*) крізь переохолоджувач, що задаються за рахунок зміни частоти обертання насосу переохолоджувача (*Nп*).

При дослідженні режимів роботи теплового насосу були отримані сімейства квазістатичних та динамічних характеристик теплового насоса як об'єкта керування (ОК) по основних каналах керування та контрольованих збурень.

На рис 6а представлені сімейства статичних залежностей по каналу «Положення ЕРВ (*Nкл*) – тиск на виході випарника (*Рф.в*) при різних частотах обертання компресора *Nk* (1 – *Nk* =40 об/сек, 2 – *Nk* =45 об/сек, 2 – *Nk* =50 об/сек, 4 – *Nk* = 55 об/сек, 5 – *Nk* =60 об/сек), а на рис 6б – при різних температурах води на вході конденсатора *Тв.к.1*(1 – *Тв.к.1* =40 °С, 2 – *Тв.к.1* =35 °С, 3 – *Тв.к.1* =30 °С).

На рис. 6в представлені статичні залежності по каналу «Температура води на вході конденсатора Тв.к.1 – Тиск на виході випарника Рф.в» при різних положеннях ЕРВ Nкл (1 – *Nкл* =500 кроків, 2 – Nкл =450 кроків, 3 – *Nкл* =400 кроків, 4 – *Nкл* =350 кроків).

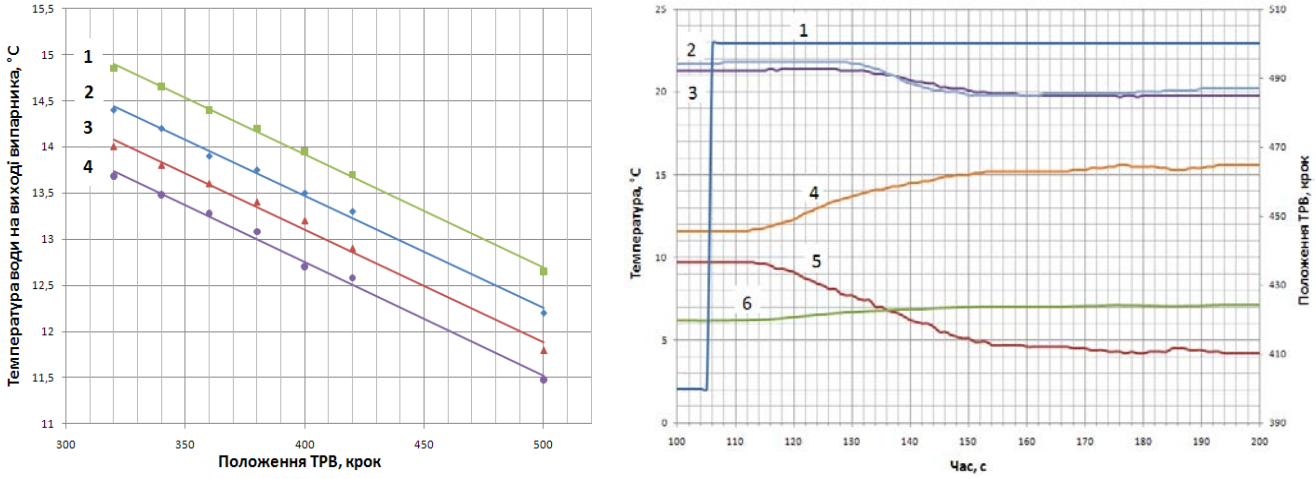
Отримані залежності демонструють суттєвий вплив режиму роботи конденсатора (температури води на його вході *Тв.к.1*) та режиму роботи компресора (частота обертання *Nк*) на тиск холодоагенту на виході випарника *Рф.в*. Це свідчить про наявність значного перехресного зв'язку по каналу *Nкл – Рф.в* і сильного збурення по каналу *Тв.к.1 – Рф.в*, та існуючу потребу компенсувати ці впливи за рахунок вдосконалення алгоритмів керування.



а) б) в)

Рис. 6 – Статичні характеристики ТН при зміні положення ЕРВ *Nкл* (а, б) та температури води на вході конденсатора *Тв.к.1*(в)

На рис 7а представлено сімейство статичних залежностей по каналу «Положення ЕРВ *Nкл* – температура води на виході випарника Тв.в.2» при різних частотах обертання компресора Nk (1 – *Nk* =45 об/сек, 2 – *Nk* =50 об/сек, 3 – *Nk* =55 об/сек, 2 – *Nk* =60 об/сек) при Тв.к.1 = 35 °С та Тв.в.1 = 20 °С. Залежності мають лінійний характер, а вплив частоти обертання компресора – нелінійний.



а) б)

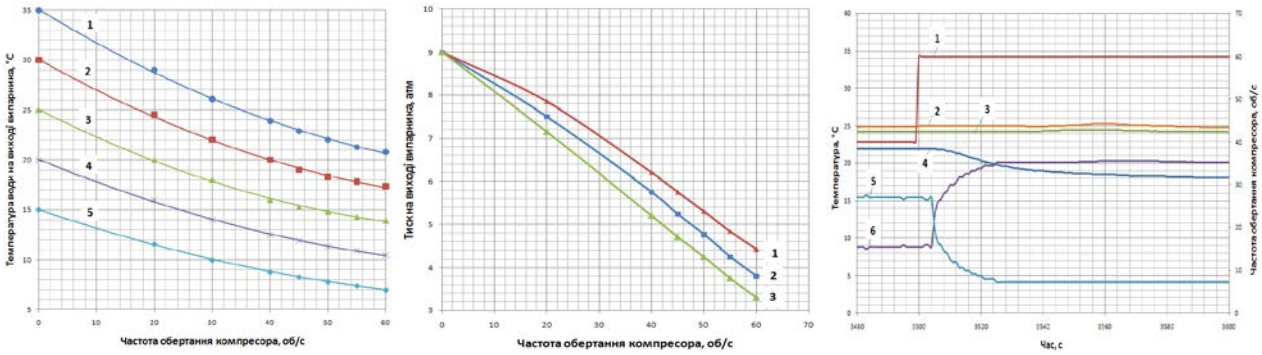
Рис. 7 – Статичні характеристики ТН по каналу «Nкл – Тв.в.2» (а), та реакція ОК на ступінчасту зміну *Nкл* (б).

Рис. 7б демонструє реакцію ОК на ступінчасту зміну положення ЕРВ (Nкл) з 400 до 500 кроків. На рисунку: 1 – положення ЕРВ *Nкл*, 2 – температура води на виході випарника *Тв.в.2*, 3 – температура холодоагенту на виході випарника *Тф.в.2*, 4 – температура холодоагенту на вході випарника *Тф.в.1*, 5 – температура перегріву парів холодоагенту на виході випарника *Тпф*, 6 – тиск холодоагенту на виході випарника *Рф.в*.

На рис. 8а представлено отримане сімейство статичних характеристик ТН як ОК по каналу «Частота обертання компресора (*Nк*) – температура води на виході випарника (*Тв.в.2*)» при різних температурах води на вході випарника *Тв.в.1* (1 – *Тв.в.1*=35°С, 2 – *Тв.в.1*=30°С, 3 – *Тв.в.1*=25°С, 4 – *Тв.в.1*=20°С, 5 – *Тв.в.1*=15°С), та сталих витратах води через випарник (*Gв.в* = 250 л/год) і сталій температурі перегріву парів холодоагенту на виході випарника (*Тпф* = 5°С). Представлені залежності свідчать про суттєвий вплив температури води на вході в випарник на режим його роботи. При зниженні температури води на вході випарника знижується продуктивність теплового насосу та, відповідно, його енергоефективність.

На рис. 8б представлено сімейство статичних характеристик по каналу «Частота обертання компресора (*Nк*) – тиск на виході випарника (Рф.в)» при різних положеннях ЕРВ (1 – *Nкл* = 450 кр., 2 - *Nкл* = 400 кр., *Nкл* = 350 кр.), при сталій температурі води на вході конденсатора (*Тв.к.1* = 30 °С) та сталих витратах води крізь випарник (Gв.в = 250 л/год).

На рис. 8в представлена реакція ОК на зміну частоти обертання компресора з 40 об/сек до 60 об/сек. На рисунку: 1 – частота обертання компресора, 2 – температура води на виході випарника, 3 – температура фреону на виході випарника, 4 – температура фреону на вході випарника, 5 – температура кипіння фреону, 6 – перегрів фреону на виході випарника.



а) б) в)

Рис. 8 – Статичні характеристики ОК при зміні частоти обертання компресора (а, б) та реакція ОК на ступінчасту зміну *Nк* (в)

2.3. Дослідження системи утилізації тепла ДГ в цілому, як ОК

Структурна схема системи УТДГ з застосуванням ТН в цілому як ОК представлена на рис. 9.

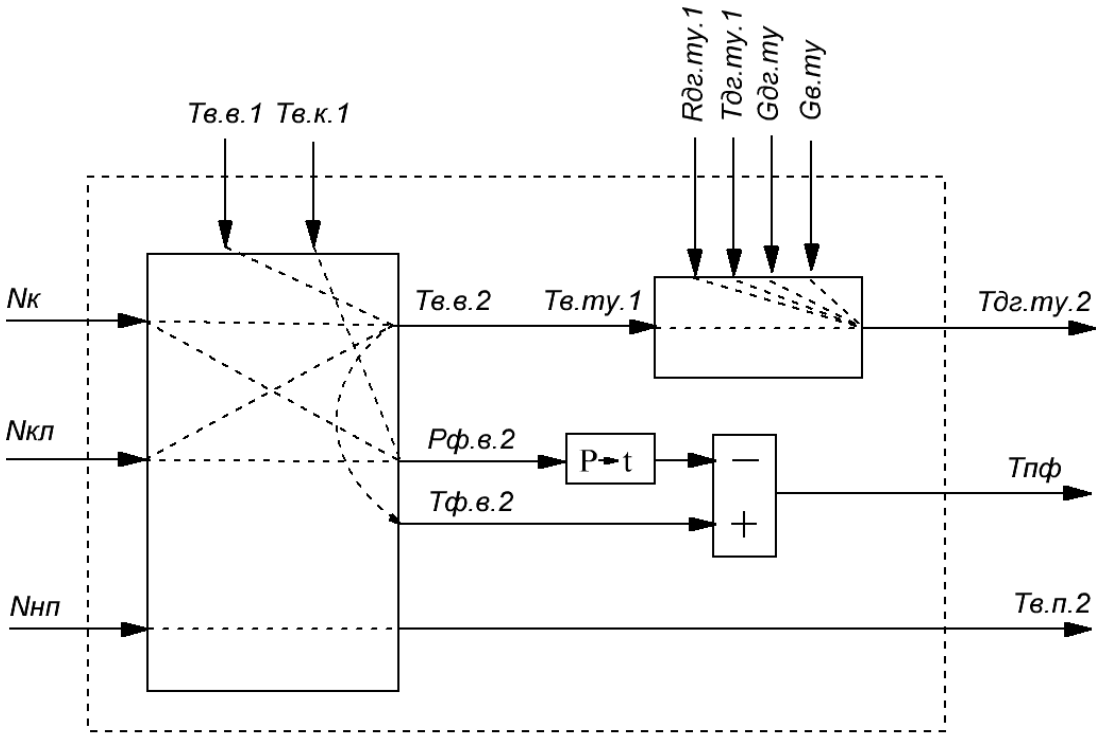
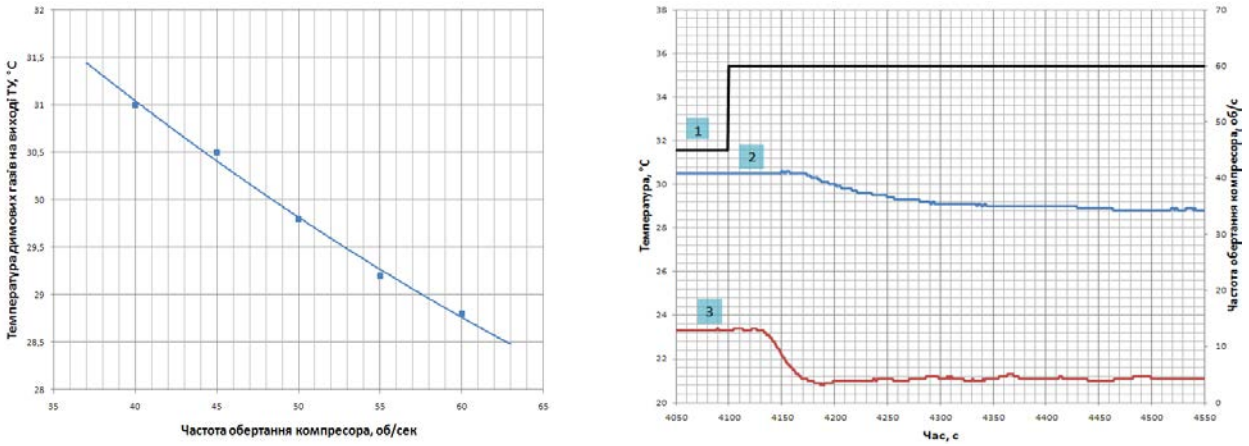


Рис. 9 – Структурна схема системи УТДГ як ОК

При дослідженні системи утилізації тепла ППС в цілому по каналу «Частота обертання компресора *Nк* – температура ДГ на виході ТУ *Тдг.ту.2*» вода з виходу випарника подавалась безпосередньо до теплоутилізатора, а з його виходу знов до випарника. При цьому стабілізація температури води вже не відбувалась. Керуючим впливом була частота обертання компресора. Дослідження проводились при сталій температурі перегріву парів холодоагенту на виході випарника (при працюючій системі стабілізації рівня перегріву, Тпф = 5 °С) та при сталих температурі, вологовмісту та витратах димових газів. Отримана в результаті експерименту статична характеристика по каналу «Частота обертання компресора *Nк* – температура ДГ на виході ТУ *Тдг.ту.2*» представлена на рис. 10а. Її вигляд свідчить про те, що при сталій температурі перегріву холодоагенту на виході випарника (працюючому контурі регулювання перегріву) залежність температури димових газів на виході з теплоутилізатора від частоти обертання компресора має майже лінійний характер.



а) б)

Рис. 10 – Статична (а) та динамічні (б) характеристики системи УТДГ по каналу «Nk – Тдг.ту.2»

На рис 10б представлена реакція системи УТДГ як ОК по каналам температури охолоджуючої води на виході випарника ТН *Тв.в.2* тобто вхідної води ТУ *Тв.ту.1* (графік 3) та температури ДГ на виході ТУ *Тдг.ту.2* (графік 2) на ступінчасту зміну частоти обертання компресора *Nк* з 45 до 60 об/с (графік 1).

3. Параметрична ідентифікація моделей каналів перетворення координатних дій процесу глибокої УТДГ як ОК

Виходячи з фізичної суті теплових процесів, що протікають в ОК, відомо, що відносно у повній мірі математично ці процеси можуть бути описані нелінійними диференційними рівняннями. Але також відомо, що номінальний режим функціонування ОК пов'язаний з порівняно вузьким діапазоном змін регульованих координат. А в такому діапазоні процеси можуть бути описані лінійними диференційними рівняннями, тобто припустимою є лінеаризація моделі ОК.

Результати експериментів підтверджують, що основні канали системи УТДГ як об'єкта керування, який відноситься до класу теплових об'єктів, мають властивість самовирівнювання, тому їх математичні моделі можуть бути описані передатними функціями першого та другого порядку наступного вигляду:

$$W_0(p)=\frac{K_0\cdot e^{-\tau_0 p}}{T_0 p+1};\quad W_0(p)=\frac{K_0\cdot e^{-\tau_0 p}}{(T_0 p+1)^2}\cdot$$

Отримані експериментальні дані дозволили провести ідентифікацію моделей каналів перетворення координатних дій ОК. Для параметричної ідентифікації моделей ОК зі статичними властивостями була використана методика «двох загальних точок» [14]. Результати ідентифікації за цією методикою по каналам керуючих впливів ОК представлені в таблиці 1. В таблиці 2 представлені результати ідентифікації перехресних впливів з каналу на канал. В таблиці 3 представлені результати ідентифікації каналів контрольованих збурень.

Таблиця 1 – Моделі каналів керуючих впливів

Канал	Перший порядок	Другий порядок
$N_{кл} - P_{ф.в}$	$W_0(p)=\frac{0{,}0455\cdot e^{-9{,}25p}}{18{,}13p+1}$	$W_0(p)=\frac{0{,}0455\cdot e^{-3{,}7p}}{(11{,}38p+1)^2}$
$N_{кл} - T_{ф.в.2}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}08\cdot e^{-28p}}{10p+1}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}08\cdot e^{-23{,}5p}}{(6{,}88p+1)^2}$
$N_{к} - T_{в.в.2}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}112\cdot e^{-24{,}2p}}{16{,}5p+1}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}112\cdot e^{-15{,}05p}}{(12{,}06p+1)^2}$
$N_{к} - T_{д.г.2}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}077\cdot e^{-54{,}5p}}{58{,}75p+1}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}077\cdot e^{-36{,}5p}}{(36{,}88p+1)^2}$
$N_{п} - T_{в.п.2}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}135\cdot e^{-63.2p}}{256p+1}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}077\cdot e^{-42{,}5p}}{(192.3p+1)^2}$

Таблиця 2 – Моделі каналів перехресних звязків

Канал	Перший порядок	Другий порядок
$N_к - P_{ф.в}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}034\cdot e^{-0{,}22p}}{0{,}375p+1}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}034\cdot e^{-0{,}01p}}{(0{,}275p+1)^2}$
$N_{кл} - T_{в.в.2}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}08\cdot e^{-23p}}{8p+1}$	$W_0(p)=\frac{-0{,}08\cdot e^{-18p}}{(5.8p+1)^2}$

Таблиця 3. Моделі каналів контрольованих збурень

Канал	Перший порядок	Другий порядок
$T_{в.в.1} - T_{в.в.2.}$	$W_0(p)=\frac{1\cdot e^{-10.2p}}{18.1p+1}$	$W_0(p)=\frac{1\cdot e^{-7.1p}}{(14.2p+1)^2}$
$T_{в.к.1} - P_{ф.в}$	$W_0(p)=\frac{0{,}16\cdot e^{-12.5p}}{25.1p+1}$	$W_0(p)=\frac{0{,}16\cdot e^{-6.2p}}{(15.3p+1)^2}$

Представлені у таблиці передатні функції адекватно описують лише динамічні властивості об'єкта, тому що їх статичні характеристики є досить складними функціями декількох змінних. Так, наприклад, тиск холодоагенту на виході випарника (*Рф.в.2*) і температура води на виході випарника (*Тв.в.2*) є функціями мінімум трьох змінних – положення ЕРВ, частоти обертання компресора та температури води на вході в конденсатор, при цьому залежності температури води на виході випарника від частоти обертання компресора і температури води на вході випарника є суттєво нелінійні.

4. Висновки.

В результаті проведених досліджень отримані експериментальні залежності по основним каналам перетворення координатних дій процесу УТДГ. Проведена структурна ідентифікація процесів в контактномому теплоутилізаторі, тепловому насосі та УТДГ в цілому. Складена структурна схема процесу як ОК. Проведено параметричну ідентифікацію та отримані математичні моделі основних каналів

Отримані результати свідчать про наявність досить сильних перехресних впливів керуючих дій та збурень в результаті того що статичні характеристики основних каналів УТДГ як ОК є досить складними функціями декількох змінних.

Список використаних джерел

[1] Тюрин М. П. и др. Эффективные типовые устройства для утилизации теплоты от теплотехнологического оборудования / М.П. Тюрин //Успехи в химии и химической технологии. – 2010. – Т. 24. – №. 1 (106).
[2] Сухоцкий А. Б. Вторичные энергетические ресурсы. – 2014.
[3] Ковальчук Д. А. Оценка энергетической эффективности газового конденсационного водогрейного котла как объекта управления / Д.А. Ковальчук, О.В. Мазур, С.С. Гудзь // Наукові праці ОНАХТ. – 2017. – Т. 80. – №. 2.
[4] Жовмір М.М. Утилізація низькотемпературної теплоти продуктів згорання палив за допомогою теплових насосів / М.М. Жовмір // Промышленная теплотехника. — 2008. — Т. 30, № 2. — С. 90-98. — Бібліогр.: 10 назв. — укр.
[5] Использование теплоты конденсата «глухого» пара и теплоты паровоздушной смеси [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://studbooks.net/1897332/
[6] Ефимов А. В. Система глубокой утилизации теплоты газов, уходящих из котельных агрегатов / А.В. Ефимов, А.Л. Гончаренко, А.В. Гончаренко// – 2013.
[7] Kovalchuk D., Mazur A., Hudz S. The model for power efficiency assessment of condensation heating installations //Автоматизація технологічних та бізнес-процесів. – 2017. – Т. 9. – №. 3.
[8] Ротов П. В. и др. Повышение эффективности работы централизованных систем теплоснабжения за счет применения теплонасосных установок //Промышленная энергетика. – 2014. – №. 7. – С. 27-31.
[9] Чепурний М. М., Резидент Н. В. Використання теплоти відхідних продуктів згорання палива в теплонасосних установках. – 2013.
[10] Солодкая А. В. Изучение процессов теплопереноса в теплообменнике с гранулированной насадкой //Scientific Works. – 2016. – Т. 80. – №. 2.
[11] Петрикеева Н. А. и др. Использование полной теплоты сгорания топлива в котельных установках //Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2014. – Т. 2. – №. 4. – С. 76.

[12] Клименко В. Н. Некоторые особенности применения парокомпрессионых тепловых насосов для утилизации сбросной теплоты отопительных котлов //Промышленная теплотехника. – 2011.
[13] Ковальчук Д. А. Дослідження процесів утилізації тепла пароповітряних сумішей: лабораторна установка, вимірювані змінні, автоматизація експериментів / Д.А. Ковальчук, О.В. Мазур, С.С. Гудзь //Automation of technological and business processes. – 2018. – Т. 10. – №. 2.
[14] Хобин В. А. Системы гарантирующего управления технологическими агрегатами: основы теории, практика применения //Одесса: ТЕС. – 2008. – Т. 306.
[15] Жук А. Ю. Адаптивные системы управления //Молодежный научно-технический вестник. – 2013. – №. 5. – С. 24-24.
[16] Ибраев А. М. и др. Анализ энергетических потерь парокомпрессионной холодильной машины, связанных с процессом перегрева рабочего тела в испарителе //Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – №. 21.
[17] Петраков Г. Н. Повышение эффективности работы теплового насоса в системах теплоснабжения за счет модернизации конденсатора : дис. канд. техн. наук : 05.14.04 / Петраков Г. Н. – Воронеж, 2006. – 206 с.

References

[1] Tyurin M. P. et al, *Effektivnyie tipovyie ustroystva dlya utilizatsii teplotyi ot teplotehnologicheskogo oborudovaniya*, Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii, vol. 24, no. 1, p. 106, 2010.
[2] A. B. Suhotskiy, *Vtorichnyie energeticheskie resursyi*, 2014.
[3] D.A. Kovalchuk, A. V. Mazur, S. S. Hudz, *Otsenka energeticheskoy effektivnosti gazovogo kondensatsionnogo vodogreynogo kotla kak ob'ekta upravleniya*, Naukovi pratsi ONAHT, vol. 80, no. 2, 2017.
[4] ZhovmIr M.M., *UtilIzatsIya nizkotemperaturnoyi teploti produktiv zgorannya paliv za dopomogoyu teplovih nasosIv*, Promyishlennaya teplotehnika, vol. 30, no. 2, pp. 90-98, 2008.
[5] Ispolzovanie teplotyi kondensata «gluhogo» para i teplotyi parovozdushnoy smesi [Online]. Available at: http://studbooks.net/1897332/
[6] A. V. Efimov, A. L. Goncharenko, *Sistema glubokoy utilizatsii teplotyi gazov, uhodyaschih iz kotelnyih agregatov*, 2013.
[7] D. A. Kovalchuk, A. V. Mazur, S. S. Hudz, *The model for power efficiency assessment of condensation heating installations*, AvtomatizatsIya tehnologIchnih ta bIznes-protsesIv, vol. 9, no. 3, 2017
[8] P. V Rotov et al, *Povyishenie effektivnosti rabotyi tsentralizovannyih sistem teplosnabzheniya za schet primeneniya teplonasosnyih ustanovok*, Promyishlennaya energetika, no. 7, pp. 27-31, 2014.
[9] M.M. Chepurniy, N.V Rezident. *Vikoristannya teploti vIdhIdnih produktIv zgorannya paliva v teplonasosnih ustanovkah*, 2013.
[10] A. V. Solodkaya, *Izuchenie protsessov teploperenosa v teploobmennike s granulirovannoy nasadkoy*, Scientific Works, vol. 80, no. 2, 2016.
[11] N. A. Petrikeeva et al, *Ispolzovanie polnoy teplotyi sgoraniya topliva v kotelnyih ustanovkah*, Nauchnyiy zhurnal. Inzhenernyie sistemyi i sooruzheniya, vol. 2, no. 4, p. 76, 2014.
[12] V. N. Klimenko, *Nekotoryie osobennosti primeneniya parokompressionyih teplovyih nasosov dlya utilizatsii sbrosnoy teplotyi otopitelnyih kotlov*, Promyishlennaya teplotehnika, 2011.
[13] D. A. Kovalchuk, A. V. Mazur, S. S. Hudz, *DoslIdzhennya protsesIv utilIzatsIYi tepla paropovItryanih sumIshey: laboratorna ustanovka, vimIryuvanI zmInnI, avtomatizatsIya eksperimentIv*, Automation of technological and business processes, vol. 10, no. 2, 2018.
[14] V. A. Hobin, *Sistemyi garantiruyuschego upravleniya tehnologicheskimi agregatami: osnovyi teorii, praktika primeneniya*, Odessa: TES, vol. 306, 2008.
[15] A. Yu. Zhuk, *Adaptivnyie sistemyi upravleniya*, Molodezhnyiy nauchno-tehnicheskiy vestnik, no. 5, p. 24-24, 2013.
[16] A. M.Ibraev et al, *Analiz energeticheskih poter parokompressionnoy holodilnoy mashinyi, svyazannyih s protsessom peregreva rabochego tela v isparitele*, Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta, vol. 16, no. 21, 2013.
[17] G. N. Petrakov, *Povyishenie effektivnosti rabotyi teplovogo nasosa v sistemah teplosnabzheniya za schet modernizatsii kondensatora*. dis. kand. tehn. nauk : 05.14.04. – Voronezh, 2006.

UDC 502.131.1:502.15:504.12

TECHNICAL OBJECTS' ECOLOGICAL EFFICIENCY INDICATORS CONTROL

Voinova S.A.

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa
ORCID: http://orcid.org/0000-0003-0203-0599
E-mail: voinova_s@yahoo.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0

DOI:

Abstract: *Traditional automatic control systems do not solve the task of limiting the harmful effects of technical objects on the environment. The problem is to increase the effectiveness of means of its protection against the harmful effects of industry. Relevant is the use of indicators of environmental performance of technical objects as controlled parameters. A new approach to the control of technical objects is proposed. As the main control parameter it proposed to adopt the level of their ecological efficiency. Complicating circumstances of solving the problem is the insufficient knowledge of the factors of harmful effects on objects of living nature, their intensity, interrelation, mechanism, strength, and dynamics of exposure. Improving the economic efficiency of technical objects leads to an increase in their ecological efficiency. The solution to the problem is facilitated by the fact that traditional ACS should be left in action, adding to them an ecological efficiency control component. Heat-power engineering has a large impact on the environment through emissions and discharges of harmful substances and heat. To give to ASC the functions of controlling the ecological efficiency of the boiler (for SO_y emission), it is necessary to apply an additional, new control loop - regulator of SO_y concentration in furnace gases. An urgent task in the use of direct control of the ecological efficiency of boiler-furnace systems is the development and production of physical quantity sensors, reflecting the level of aggressiveness of the source of hazard, working in real time. Direct control of indicators of ecological efficiency is much easier in other branches of industry, in particular, in its food branch, where objects do not have a large-scale complex negative impact on the environment.*

Анотація: *Традиційні системи автоматичного управління не справляються із завданням необхідного обмеження шкідливого впливу технічних об'єктів на навколишнє середовище. Проблема полягає в підвищенні ефективності засобів її захисту від шкідливого впливу виробництва. Актуальним є використання показників екологічної ефективності функціонування технічних об'єктів як керованих параметрів. Запропоновано новий підхід до управління технічними об'єктами. Головним керованим параметром запропоновано прийняти рівень їх екологічної ефективності. Ускладнюючими обставинами рішення проблеми є недостатня вивченість чинників шкідливого впливу на об'єкти живої природи, їх інтенсивності, взаємозв'язку, механізму, сили, динаміки впливу. Підвищення економічної ефективності технічних об'єктів обумовлює підвищення їх екологічної ефективності. Рішення проблеми полегшується тим, що традиційні САУ слід залишити в дії, додавши до них компонент управління екологічною ефективністю. Теплоенергетика масштабно впливає на навколишнє середовище шляхом викидів і скидів шкідливих речовин і теплоти. Для додання САУ функцій управління екологічною ефективністю котла (по викиду SOy), необхідно застосувати додатковий, новий контур управління з регулятором концентрації SOy в топкових газах. Нагальним завданням на шляху використання прямого управління екологічною ефективністю котельно-топкових систем є розробка і виробництво датчиків фізичних величин, що відображають рівень агресивності джерела шкідливості, що працюють в реальному масштабі часу. Пряме управління показниками екологічної ефективності значно простіше в інших галузях промисловості, зокрема, в харчовій її галузі, де об'єкти не надають масштабного комплексного негативного впливу на навколишнє середовище.*

Ключові слова: управління, экологічна ефективність, технічний об'єкт, система автоматичного управління (САУ), котельно-топкова система, навколишнє середовище.

Keywords: control, ecological efficiency, technical object, automatic control system (ACS), boiler-furnace system, environment.

Introduction

The successful functioning of the socio-economic system of the state is the basis of potential for its further development. However, the emerging resource, economic, social and ecological problems are largely due to its activities. Therefore, a targeted reduction of the integral ecological load from production and consumption processes is a global vital issue of the entire global community in the context of the transition to sustainable development.

Automatic control systems (ACS) of technical objects (TO) traditionally solve, mainly, the task of maintaining the parameters of the technological process, which affect the reliability and / or economic efficiency of these objects, at a given level. At the same time, their ecological efficiency (EE) is formed spontaneously and in most cases turns out to be extremely unfavorable for the natural environment. The result of this is the effects of anthropogenic destructive actions on the natural environment. They are increasingly becoming irreversible. Such a traditional concept of TO control under conditions of accelerated development of industry, and a corresponding increase of the volume of harmful effects on nature, is untenable. Therefore, the problem of developing a new concept, focused on a radical reduction of the impact of TO on the natural environment, was formed.

Statement of problem

In accordance with the new concept, it is necessary to accept as the main controlled technological parameter of the TO functioning the level of their EE. At the same time, to save, if it is necessary, control of other significant technological parameters, but as additional ones, which make it possible to maintain the parameters of the said process within the limits of its adopted regulations.

TO EE is a complex property. One should control one of the indicators forming it. Choice of it is a responsible and difficult task. In each case, this indicator represents the factor that is the most aggressive and dangerous for the environment among the existing ones. When assessing aggressiveness, as an object of impact should be chosen not only a man, but also representatives of flora and fauna in the area of TO. They are most often the most vulnerable to harmful actions.

The solution of these problems is complicated by a number of circumstances, in particular the following:

- mechanism, strength and dynamics of the harmful effects of various factors on objects of living nature, including the chains of their mediated effect on the biosphere, have not been studied enough;
- effect of the intensity of the impact of each factor on the nature and extent of damage to animate nature, have not been studied enough;
- it was accumulated little data on the quantitative side of influence, on the mechanism and strength of the joint influence of two or several factors, it was insufficiently developed methodological and instrumental base for the operational control of the strength of influence of factors and control of its consequences;
- there is a psychological barrier in the way of abandoning the former and the transition to a new concept (direct control of the level of TO EE) [1].

You should pay attention to the fact that the increase in the economic efficiency of TO, usually accompanied by a corresponding reduction in energy and raw materials consumption per unit of production, causes an increase in the EE of these objects [2].

Because of the aforementioned, the solution of the problem under consideration is facilitated by the fact that in TO the traditional ACS of the economic efficiency of the technological process should be save in action, but as the second one by importance. Other ACS may have to be given the same status, save them or update. It seems appropriate saved to use ACS to combine into a comprehensive system with enhanced functionality. Priority in it should belong to ACS EE.

To solve the above problems, it is advisable to use advanced ACS, with an increased intellectual level of their algorithms that are capable of implementing high-dimensional technological process control. The creation of such systems should be problem-oriented towards the direction and future development of the industry of application [3 - 7].

Solutions of problem

Using the idea of EE control is of interest for all branches of modern industry. Of particular interest are industries that are highly responsible for damage to the natural environment. This applies primarily to the heat-power engineering. Boiler plants used in station and industrial power engineering, as well as at each plant, have a detrimental effect on living nature. They, in particular, made emission and dumping of harmful substances and heat into the environment. In boiler plants they make a lot of effort to maintain high efficiency of equipment. Transferring efforts to EE control can bring a major ecological effect in this important sector of industry.

It should be noted that the harmful effects exerted by boiler equipment on the environment depends on the state of these objects. During the operation of power equipment, as the resource is consumed, the level of its technological efficiency decreases, including the level of ecological efficiency: the degree of harmful effects is progressively increasing. The analysis shows that the fleet of boiler plants operating in Ukraine (not counting micro-boilers) is about 60 thousand units of different unit capacities, operating on different types of fuel: solid, liquid, gaseous. Moreover, more than 95% of these units have worked more than 1.5 - 2.5 resources. The level of technological efficiency of this equipment is extremely low. This applies primarily to the level of ecological efficiency. Among the tasks of national importance facing the energetics sector of Ukraine, the most important, impatient should be recognized the task of updating power equipment, first of all, the park of boiler plants.

The high complexity of solving this problem, which has a problem character, is due to the fact that the domestic boiler-building industry is represented by only one engineering enterprise located in the town of Monastyryshche, Cherkasy region. The company produces a limited number of boilers of small unit capacity. At the same time, the country's energetics sector needs to renovation of thousands of boilers: power units of high unit capacity, industrial and heating units of medium and small unit capacity. The above shows that the solution of the problem under consideration requires very high resources, the level of which exceeds the possibilities that are currently available.

The analysis shows that along with the solution of the considered problem, it is necessary to solve another related problem that has emerged in the current energetics sector of Ukraine. It is necessary to normalize the structure of the fuel balance of the energetics industry. The share of solid fuel, amounting to about 55 percent, needs to be increased to a level of 85-90 percent, displacing the expensive imported gaseous and liquid fuels from the balance. At the same time, an increase in the share of solid fuel burned, respectively, will increase the emission of ash into the atmosphere, that is, increase the harmful effects of power engineering on the environment. To compensate for this negative effect, it will be necessary to implement a complex of research, production and technical measures. To solve this problem will require large resources. The positive effect of these events will be to increase the energetic independence of the domestic power engineering and industry as a whole.

When they burn in boilers sulfur fuel formed in furnaces sulfur oxides (SO_2 and SO_3) - SO_y - enter the atmosphere, have a harmful effect on the environment. Traditional ACS of burning process in the furnace does not have a direct effect on the emission of SO_y.

As an example, we present the proposed solution to the issue of controlling the emission of these oxides.

In boilers, the combustion process is traditionally controlled by an air regulator (economy) and a fuel regulator (heat load). The first one controls the flow of blow air in the furnace. It operates on the “steam flow” signal, the signal from the fuel regulator and the feedback signal on the amount of incoming air. The fuel regulator controls its feed and operates by the signal “steam pressure behind the boiler” and the feedback signal on fuel consumption or the position of the final control element on its flow.

To give to the ACS control functions of the boiler's EE (for SO_y emission), it is necessary to apply an additional, new control loop - regulator of SO_y concentration in furnace gases. It restricts SO_y from above, keeping with it the specified minimum level of boiler's EE (for this indicator). The regulator operates by the signal “SO_y“. To reduce the dynamic error, it is also given to it a dynamic (disappearing in statics) feed signal from the heat load regulator. The regulator controls the flow of solid bulk additives containing CaO or MgO (for example, ground limestone), introduced with the fuel into the furnace. Additive in the process of burning of fuel chemically binds sulfur oxides to solid products removed from the furnace with ash.

The example illustrates the availability of direct control of boiler-furnace systems’ EE. However, for this it is necessary to have sensors of physical quantities that reflect the level of aggressiveness of the source of harmfulness (in our example, by sensor of concentration of SO_y in gases) working in real time. Such devices are scarce now. The development and evolution of their production is an urgent scientific and technical challenge.

Technical objects control on the basis of limiting their impact on the environment using direct control of environmental efficiency indicators is much simpler in other branches of industry, in particular, in its food branch, where objects do not have such a large-scale complex negative impact as in the energetics sector.

The world community is seriously concerned about the increasing harmful effects of world production on the environment, living and inanimate nature. A manifestation of this concern about the deteriorating state of the environment is the events held in all countries, international meetings. The decisions of world-class meetings, the Stockholm Conference (1972), the International Environmental Conference in Rio de Janeiro (1992), the Kyoto Protocol (1992) and the Paris Climate Conference (2015), became important. A vivid manifestation of the need to protect the natural environment is the adoption of an energy saving program that has an environmental protection substance.

The implementation of energy saving program activities is carried out in all countries of the world, including Ukraine. Participation in the implementation of the activities of the program is necessary and not only for energetics sector workers. Ecological culture should be inherent in every inhabitant of the planet Earth.

Conclusions

1. Traditional systems of automatic control of technical objects do not cope with the task of the necessary limitation of the harmful effects of these objects on the environment.
2. The problem is to increase the effectiveness of environmental protection from the harmful effects of industry.
3. It is relevant to use indicators of ecological efficiency of technical objects as controlled parameters.
4. A new approach to the control of technical objects was proposed on the basis of limiting their impact on the natural environment.
5. As the main control parameter it is proposed to adopt the level of ecological efficiency of the technical object.
6. Complicating circumstances of solving the problem is the insufficient knowledge of the factors of harmful effects on objects of living nature, their intensity, interrelation, mechanism, strength, and dynamics of exposure.
7. Improving the TO cost-effectiveness sets conditions for increases their ecological efficiency.

8. The solution to the problem is facilitated by the fact that traditional ACS should be left in action by adding the EE control component to them.
9. EE control is of interest for all branches of modern industry, especially for that ones, which is responsible for damage to the natural environment.
10. Heat-power engineering has a large impact on the environment through emissions and discharges of harmful substances and heat.
11. The harmful effect exerted by boiler equipment on the environment depends on the state of these objects.
12. Important task of Ukraine energetics sector is updating of boiler plants.
13. To give to ASC the functions of controlling the ecological efficiency of the boiler (for SO_y emission), it is necessary to apply an additional, new control loop - regulator of SO_y concentration in furnace gases
14. An urgent task in the use of direct control of the ecological efficiency of boiler-furnace systems is the development and production of physical quantity sensors, reflecting the level of aggressiveness of the source of hazard, working in real time.
15. Direct control of indicators of ecological efficiency is much easier in other branches of industry, in particular, in its food branch, where objects do not have a large-scale complex negative impact on the environment.

References

[1] Kirsanova, T., Kirsanova, E., Luk'yanihin, V. *Ekologicheskij kontrolling – instrument ekomenedzhmenta*. Pod red. V. Luk'yanihina. Sumy: Kazackij val, pp. 1-222, 2004.
[2] Mel'nik, L. *Ekologichna ekonomika*. Sumi: Universitets'ka kniga, pp. 1-346, 2002.
[3] Voinova, S. "Pro aktual'nist' upravlinnya ekologichnoyu efektivnistyu tekhnichnih ob'ektiv", *Energetika ta elektrifikaciya*, no. 1, pp. 64-67, 2012.
[4] Voinova, S. "Problematika upravleniya ekologicheskoj effektivnost'yu predpriyatiya pishchevoj promyshlennosti", *Avtomatizaciya tekhnologichnih ta biznes-procesiv*, no. 17, pp. 10-15, 2014.
[5] Voinova, S. "Upravlenie effektivnost'yu funkcionirovaniya proizvodstva kak sredoohrannaya koncepciya", *Visnik ODABA*, iss. 60, pp. 449-453, 2015.
[6] Voinova, S. "About significance of the control problem of ecological efficiency of functioning of technical objects", *Automation of technological and business-processes*, vol. 8, iss. 2, p.p. 19-22, 2016.
[7] Voinova, S. and Voinov A. "Vozdejstviem mirovogo proizvodstva na prirodnuyu sredu neobhodimo upravlyat'" *Materiali naukovo-praktichnї konferencii «Energiya. Biznes. Komfort»*. Odesa: ONAHT, pp. 7-8, 2017.

Список використаних джерел

[1] Кирсанова Т.А., Кирсанова Е.В., Лукьянихин В.А. Экологический контроллинг – инструмент экоменеджмента / Под ред. В.А. Лукьянихина. – Сумы: Казацкий вал, 2004. – 222 с.
[2] Мельник Л.Г. Екологічна економіка. – Суми: Університетська книга, 2002. – 346с.
[3] Воінова С.О. Про актуальність управління екологічною ефективністю технічних об'єктів / Енергетика та електрифікація, 2012, №1.- С. 64 – 67.
[4] Воинова С.А. Проблематика управления экологической эффективностью предприятия пищевой промышленности / Автоматизація технологічних та бізнес-процесів, 2014, № 17. – Одеса: ОНАХТ, 2014.- С. 10 - 15.
[5] Воинова С.А. Управление эффективностью функционирования производства как средоохранная концепция / Вісник ОДАБА, 2015, Вып. №60.- Одеса: ОДАБА, 2015.- С. 449 – 453.
[6] Voinova S.A. About significance of the control problem of ecological efficiency of functioning of technical objects / Automation of technological and business-processes, 2016, Volume 8, Issue 2, p.p. 19 – 22.
[7] Воинова С.А., Воинов А.П. Воздействием мирового производства на природную среду необходимо управлять / Матеріали науково-практичнї конференції «Енергія. Бізнес. Комфорт», 16 листопада 2017р.- Одеса: ОНАХТ, 2017.- С. 7 - 8.

УДК: 004.4

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Сулейманов Т.И.[1],Мустафазаде Н.Х.[2], Гулузаде Р.К.[3], Гаджиев М.М.[4], Иванова Л.В.[5]

1,2,3 – Национальное Аэрокосмическое Агентство, Азербайджанская Республика.
4 – Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова, Украина
5 – Одесский технический колледж Одесской национальной академии пищевых технологий, Украина
ORCID: [4]http://orcid.org/0000-0001-7280-3863, [5]http://orcid.org/0000-0003-1738-7697
E-mail: [1]humbataliyev52@mail.ru,[4]gadjievmm@ukr.net, [5]ivanova_l_v@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
http://creativecommons.org/licanses/by/4.0

DOI:

Аннотация: *В работе описана новая программа для автоматизации обработки данных мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения. Предложена модель системы мониторинга атмосферного загрязнения, которая позволяет выразить зависимость концентрации выбранного загрязнителя атмосферы от совокупности метеорологических факторов. Модель строится по методу группового учета аргументов, хорошо зарекомендовавшему себя при многофакторном моделировании. Построение модели осуществляется путем выбора из списка необходимого числа аргументов, что позволяет получать различные модели, отражающие зависимости конкретных загрязнителей атмосферы от переменного числа аргументов. Представлена программная часть модели, состоящая из набора программных модулей для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования. Приведены объектная модель программно-инструментальной системы для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнениями алгоритм работы программы. Исходными данными программно-инструментальной системы для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения являются: список всех параметров, измерения которых проводились во время мониторинга, которые разделяются на две группы, а именно, загрязнителей атмосферы и метеорологических факторов; список всех мест проведения измерений; начальная и конечная даты мониторинга. Вывод результатов работы программно-инструментальной системы для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения осуществляется в табличном и графическом режимах, в том числе, в виде электронной карты. По результатам мониторинга построена электронная карта загрязнения атмосферы г. Одессы и г. Баку.*

Annotation: *The article describes a new program for automating the processing of monitoring data, modeling and forecasting atmospheric pollution. A model of a monitoring system for atmospheric pollution is proposed, which allows us to express the dependence of the concentration of a selected atmospheric pollutant on a set of meteorological factors. The model is based on the method of group accounting of arguments, which has proven itself in multi-factor modeling. The construction of the model is carried out by choosing from the list the required number of arguments, which makes it possible to obtain various models reflecting the dependence of specific air pollutants on a variable number of arguments. The software part of the model is presented, consisting of a set of software modules for monitoring, modeling and forecasting. An object model of a software and instrumental system for monitoring, modeling and forecasting atmospheric pollution with an algorithm for program operation is presented. The initial data of the software-instrumental system for monitoring, modeling and forecasting atmospheric pollution are: a list of all parameters measured during monitoring, which are divided into two groups, namely, atmospheric pollutants and meteorological factors; a list of all measurement sites; start and end date of monitoring. The output of the work of the software-instrumental system for monitoring, modeling and forecasting atmospheric pollution is carried out in tabular and graphical modes, including in the form of an electronic map. According to the results of the monitoring, an electronic map of air pollution in the city of Odessa and Baku was constructed.*

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, мониторинг, моделирование, прогнозирование, электронная карта, объектная модель.

Key words: atmospheric pollution, monitoring, modeling, prognostication, e-map, object model.

Система мониторинга загрязнение атмосферного воздуха

Глобальные изменения климата, происходящие в наше время, являются одной из основных проблем, которые нужны решить человечеству. Загрязнение атмосферы как одна из главных причин этих изменений, напрямую влияет на качество среды обитания.Вся жизнь на планете зависит от состояния воздуха, которым мы дышим каждый день. Атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей природной среды, неотъемлемой частью среды обитания человека, растений и животных. Именно поэтому одной из наиболее важных экологических проблем Украины и всего мира является загрязнение атмосферного воздуха. Задача поиска новых методов прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха и создание на их основе программных продуктов нового поколения является актуальной задачей мониторинга окружающей среды. В Национальном аэрокосмическом агентствег. Баку была разработана программно-инструментальная система для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения Апшеронского полуострова [1]. Программная часть системы включает набор программ для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования, а также для вывода результатов в табличном и графическом режимах, в том числе, в виде электронной карты. Предложенная модель атмосферного загрязнения выражает зависимость концентрации выбранного загрязнителя атмосферы от совокупности метеорологических факторов. Испытания программы показали высокую точность моделирования (около 5%) и прогнозирования (менее 10%)[2]. Однако система имела ряд недостатков. Все разработанные программы функционировали отдельно друг от друга и не имели общего графического интерфейса. Также, для построения моделей различных загрязнителей атмосферы применялся один и тот же набор влияющих параметров, что ограничивало гибкость моделирования. Все вышесказанное говорило о необходимости совершенствования данной системы.

Цель статьи: Представить усовершенствованную программно-инструментальная систему для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения.

Программно-инструментальная система для проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования атмосферного загрязнения

В результате проведенной модернизации отдельные программы получили возможность вызова из главной формы, появилось единое рабочее пространство, система была дополнена новыми функциями. Новая программа написана в среде MATLAB с использованием объектно-ориентированного программирования. Поэтому для описания ее функций удобно показать схему программы, состоящей из отдельных программных модулей, условно называемых объектами. Каждый из этих объектов предназначен для выполнения своего определенного набора функций. Объекты взаимодействуют друг с другом и главной формой (рис. 1).

Работа программы управляется ее главной формой (MainForm). После подключения к базе данных мониторинга (MonitoringDatabase) программа в ответ получает следующую информацию:

- список всех параметров, измерения которых проводились во время мониторинга, которые разделяются на две группы, а именно, загрязнителей атмосферы и метеорологических факторов;
- список всех мест проведения измерений;
- начальную и конечную даты мониторинга.

Оператор выбирает из списка интересующий загрязнитель, отмечает один или несколько пунктов проведения мониторинга, задает начальную и конечную дату измерений. На основе введенных значений объект программы TQuery генерирует запрос к базе данных. Значения измерений, удовлетворяющие вышеуказанным критериям, передаются в объект TPreprocessor для предварительной обработки, включающей усреднение данных по заданным временным отрезкам, к примеру, по месяцам или годам. После предварительной обработки данные могут быть переданы в объект TProcessor для подготовки к выводу результатов, либо в объект TModel для моделирования. Модель строится по методу группового учета аргументов, хорошо зарекомендовавшему себя при многофакторном моделировании. Для построения модели оператор выбирает из списка необходимое число аргументов. Таким образом, программа позволяет получать различные модели, отражающие зависимости конкретных загрязнителей атмосферы от переменного числа аргументов. Формула модели передается в объект TPrognosis для получения краткосрочного или среднесрочного прогноза. Результат прогнозирования передается в уже упоминавшийся выше объект TProcessor для подготовки к выводу. Вывод результатов мониторинга или прогноза может быть осуществлен в графическом или табличном виде. За вывод таблицы результатов отвечает объект TTable. Выводятся усреднённые за выбранный период времени данные по всем пунктам измерений, а также в среднем по всей области проведения мониторинга. Объект TMap предназначен для вывода результатов в виде электронной карты, состоящей из трех слоев. Первый слой представляет собой карту местности мониторинга. На втором слое кружками отмечены все пункты проведения измерений. На третьем слое выводится распределение концентрации выбранного загрязнителя атмосферы, построенное с помощью метода триангуляции Делоне.

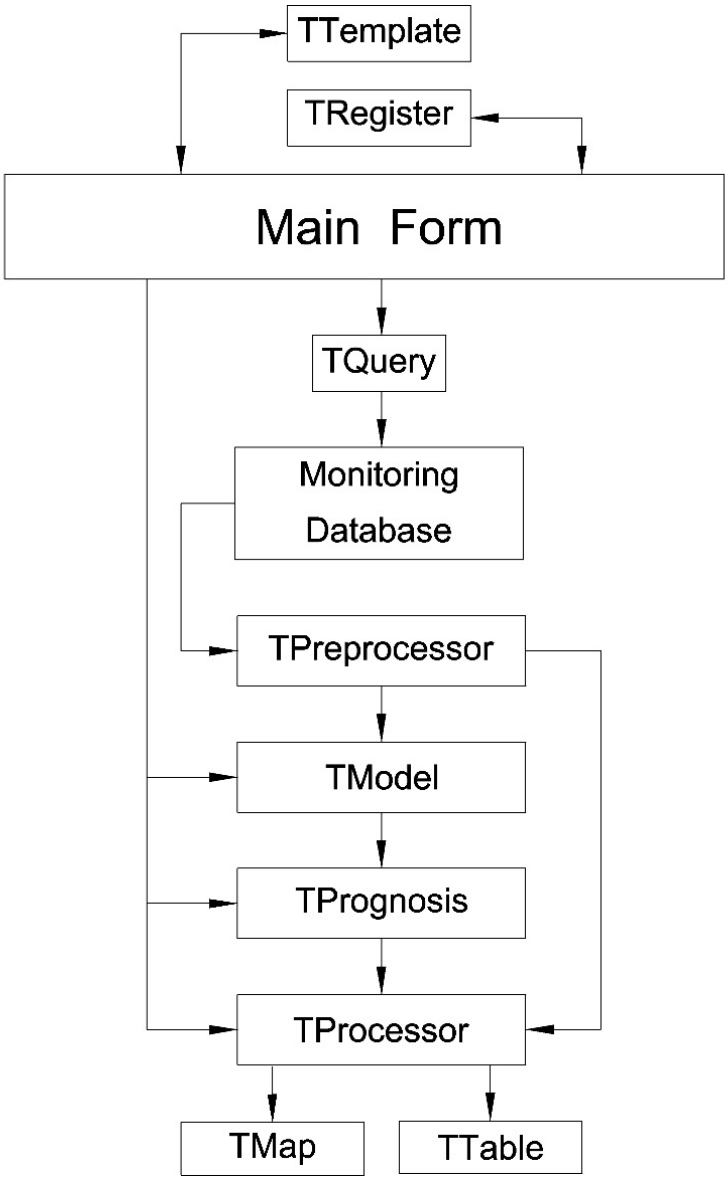


Рис. 1 – Объектная модель программы

Как указывалось, выше, программа позволяет моделировать зависимости концентраций различных загрязнителей атмосферы от разных метеорологических факторов. Чтобы каждый раз заново не выбирать, какие параметры использовать в качестве аргументов, настройки моделей можно сохранять в шаблонах. Для этого предназначен объект TTemplate. Файл шаблона может включать информацию о загрязнителе, учитываемых при моделировании метеорологических факторах, пунктах и датах наблюдений, типе модели и прогноза. Тип модели указывает на то, какую предварительную статистическую обработку информации из базы данных мониторинга следует производить. Тип прогноза указывает на краткосрочные (день, неделя, месяц) или среднесрочные (полугодие, год) прогнозы. Если в шаблоне какая-то информация отсутствует, принимаются значения по умолчанию. Информация в шаблоне записывается в виде тегов и их значений.

Наконец, объект TRegister служит для взаимодействия с реестром Windows, в котором хранятся настройки программы по умолчанию. С помощью реестра можно открывать новый рабочий проект с настройками из шаблона по умолчанию, последний использованный проект или любой другой существующий проект.

Всю вышеописанную процедуру получения выборки, построения модели и прогноза, а также представления результатов мониторинга или прогнозирования можно представить в виде алгоритма, который приведен на рис. 2.

Рис. 2 – Алгоритм процедуры обработки данных мониторинга атмосферного загрязнения

Графический интерфейс программы представляет собой главную форму с несколькими панелями для формирования запроса, вывода табличных результатов и электронной карты, а также вспомогательные окна для моделирования, прогнозирования и выбора параметров. На рис. 3 приведена электронная карта, показывающая распределение максимальной концентрации в атмосфере загрязняющего вещества 4-х оксид азота по результатам мониторинга, проведенного в г. Баку в 2018 г.

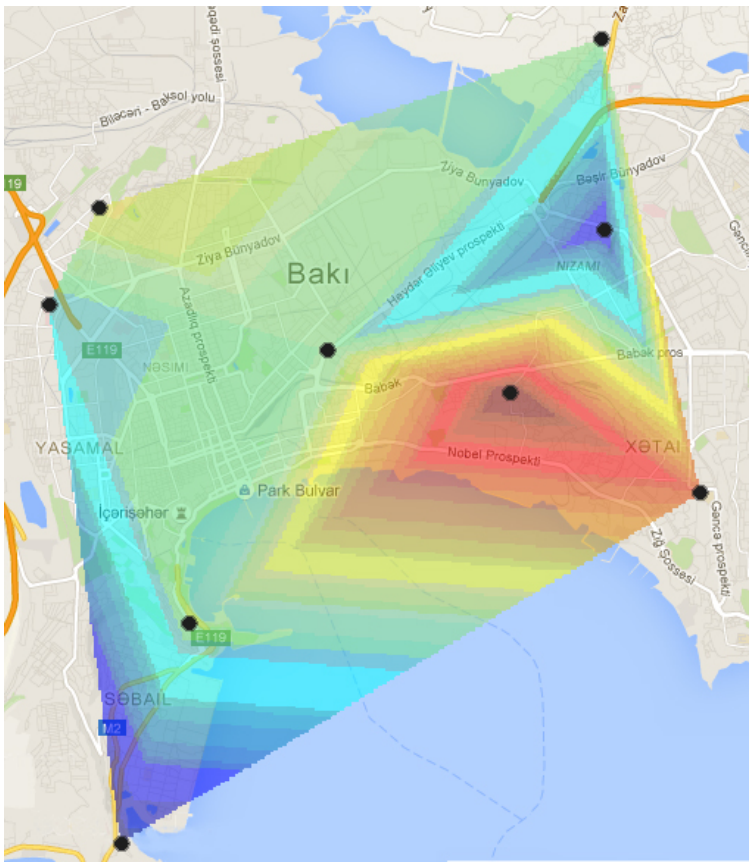


Рис. 3 – Распределение максимальных годовых значений Азот-4-оксида по г. Баку

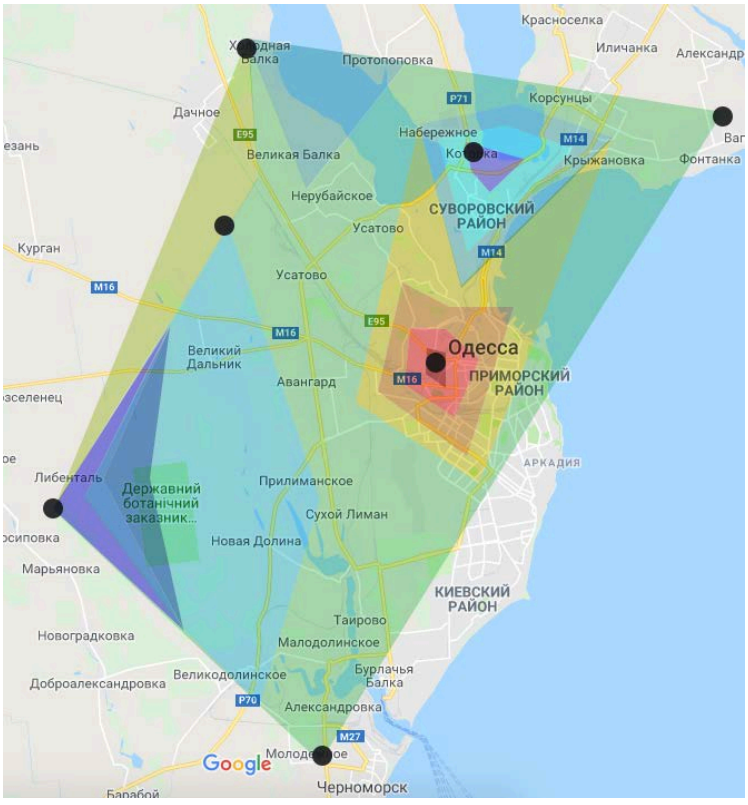


Рис. 4 – Распределение максимальных годовых значений Азот-4-оксида по г. Одесса

Заключение

Таким образом, разработанная программа подтвердила свою работоспособность, удобство в работе, высокую точность моделирования и прогнозирования, гибкость в выборе аргументов для моделирования и наглядность представления результатов.

Литература

[1] Сулейманов Т.И. Обработка данных мониторинга атмосферных загрязнений города Баку / Т.И. Сулейманов, Н.Х. Мустафазаде, Р.К. Гулузаде //Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика – Москва. – 2016. – №10. –С. 41-45.

[2] Мамедов М.И. Применение метода группового учета аргументов для обработки данных мониторинга загрязнения атмосферы / М.И. Мамедов, Р.К. Гулузаде, Н.Х. Мустафазаде // Известия Азербайджанского Национального Аэрокосмического Агентства. –Баку. – 2015. – том 18. – №3. – С. 40–44.

Referens

[1] SuleymanovT.I., Mustafazade, N.H.,Huluzade R.K., *Processing of monitoring data on atmospheric pollution in Baku*."Instruments and systems. Management, control, diagnostics" №10 (2016): 41-45.

[2] Mamedov, M.I.,Mustafazade, N.H., Huluzade R.K., *Application of the group-based argument method for processing air pollution monitoring data*. News of the Azerbaijan National Aerospace Agency №3 (2015): 40-44.