



Автоматизація
Технологічних і
Бізнес
Процесів

ISSN 2312-3125 (print)

ISSN 2312-931X (online)

ISO 26324:2012

<http://www.atbp.onaft.edu.ua/>

Автоматизація технологічних і бізнес-процесів Automation of technological and business-processes

✚ Stability analysis of control system based on two-channel fuzzy controller

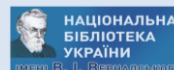
✚ Research of the synchronous waven coordination model of production processes

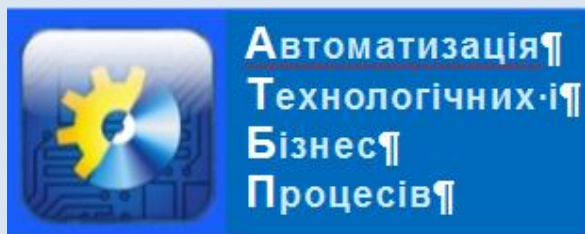
✚ Passive identification of multivariable stabilization system elements' dynamics

✚ Automatic control system invariant to controlled perturbations with forecasting of correction signal by cubic spline

✚ Web technologies in smart library

And so on...





Автоматизація
Технологічних і
Бізнес
Процесів

Volume 12, Issue 1 /2020

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

УДК 681.5+66-933.6+338.364

Головний редактор:

Артеменко С.В., д.т.н., проф. (Одеса)

Почесний науковий консультант:

Хобін В.А., д.т.н., проф. (Одеса)

Заступники головного редактора:

Котлик С.В., к.т.н., доц. (Одеса)

Сгоров В.Б., к.т.н. (Одеса)

Редакційна колегія:

Монтік П.М., проф. (Одеса, Україна)

Князева Н.О., проф. (Одеса, Україна)

Плотніков В.М., проф. (Одеса, Україна)

Дорофеев Ю.І., доц. (Харків, Україна)

Тимченко В.Л., проф. (Миколаїв, Україна)

Жученко А.І., проф. (Київ, Україна)

Кіріченко Л.О., проф. (Харків, Україна)

Радівілова Т.А., доц. (Харків, Україна)

Коновенко Н.Г., доц. (Одеса, Україна)

Apostolos Korlos, prof. (Thessaloniki, Greece)



Журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» було ініційовано до видання рішенням складу І Всеукраїнської науково – практичної конференції «Інформаційні технології та автоматизація – 2008», що відбулась у стінах Одеської національної академії харчових технологій та продовжує проводитися щорічно:

www.itia.com.ua

Журнал зареєстровано
Міністерством Юстиції України
Серія КВ №15895-4367Р від 16.10.2009 р.

Щоквартальний науково-виробничий журнал «Автоматизація технологічних і бізнес-процесів» включено до категорії "Б" Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук згідно наказу МОН України від 11.07.2019 № 975 «Про затвердження рішень атестаційної колегії міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 23 квітня 2019 року» за спеціальностями 122, 123, 151.

www.atbp.onaft.edu.ua

Відповідальний редактор:

Бодюл О.С., к.т.н. (Одеса)

Комп'ютерний дизайн та верстка:

Козуб О.О. (Одеса)

Засновник:

Одеська національна академія харчових технологій

Адреса редакції:

м. Одеса, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039,
тел.: (048)712-42-54, e-mail: journal.atbp@gmail.com

Підписано до друку 03.03.2020 р.

Рекомендовано до друку та розташування в мережі
Інтернет Вченою радою Одеської національної
академії харчових технологій

03 березня 2020 р., протокол № 13

Відповідальність за достовірність інформації несе
автор публікації.

Матеріали друкуються мовою оригінала.

Передрукування матеріалів журналу дозволяється
лише за згодою редакції. Ліцензія СС-ВУ.

Надруковано у видавництві «Diol Print»

Тираж 101 прим.



Volume 12, Issue 1 /2020

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:

Bodiul O.S., 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 23.03.2020.

It's recommended for printing and publishing online by academic council of Odessa National Academy of Food Technologies

03 March 2020, protocol № 13

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 101 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.

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 ідентифікатор DOI номер (Digital 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 Attribution, 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).



ЗМІСТ

Зінченко І. І., Шершун О. О., Іванова А. Г. Веб технології в smart бібліотеці.....	4
Волкова А. Ю., Харахаш О. В., Сакалюк О. Ю., Козуб О. О. Розробка електронного дайджесту наукових доробків.....	12
Хараш К. М., Ольшевська О. В., Титуренко Ж. А. Принципи побудови хмар тегів даних.....	17
Новіков П. В., Штіфзон О. Й. Аналіз стійкості системи керування на базі двоканального нечіткого регулятора.....	25
Осадчий С. І., Зозуля В. А. Пасивна ідентифікація динаміки елементів багатовимірної системи стабілізації.....	32
Дубовий В. М., Юхимчук М. С. Дослідження моделі синхронної хвильової координації виробничих процесів.....	40
Плотніков В. М., Борцова Ю. В. Алгоритмізація шифрування цифрового підпису.....	48
Очеретяний Ю. О., Головань А. І., Федорова Ю. М. Оптимізація експлуатації суднових систем комфортного кондиціонування повітря за рахунок використання програмованих логічних контролерів.....	55
Степанов М. Т., Хобин В. А. Система автоматичного регулювання інваріантна до контрольованих збурень з прогнозуванням сигналу корекції по кубічному сплайну.....	67
Мазур О. В., Грабанова К. Є., Гудзь С. С. Розробка та дослідження імітаційної моделі процесу термовакuumної обробки харчових продуктів як об'єкту керування.....	75

CONTENT

Zinchenko I. I., Shershun O. O., Ivanova A. G. Web technologies in smart library.....	4
Volkova A.Yu., Kharakhash O.V., Sakaliuk O.Yu., Kozub O. O. Development of electronic digest of scientific achievements.....	12
Kharash K. M., Olshevska O. V., Tyturenko Zh. A. Principles of data tag cloud construction.....	17
Novikov P., Shtifzon O. Stability analysis of control system based on two-channel fuzzy controller.....	25
Osadchy Sergei I., Zozulia Valerii A. Passive identification of multivariable stabilization system elements' dynamics.....	32
Dubovoi V. M., Yukhymchuk M. S. Research of the synchronous waven coordination model of production processes.....	40
Plotnikov V. M., Bortsova Iu. V. Digital signal encryption algorithm.....	48
Ocheretianyi Iu. O., Golovan A.I., Fedorova Iu.M. Ships air condition system operation optimization through the use of programmable logic controllers.....	55
Stepanov M. T., Khobin V. A. Automatic control system invariant to controlled perturbations with forecasting of correction signal by cubic spline.....	67
Mazur O. V., Grabanova K. Ie., Gudz S. S. Development and research of a model of the process of thermal-vacuum processing of food products as a object of control.....	75



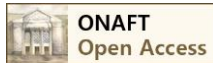
УДК 004.738.5.057.2:027-021.431

ВЕБ ТЕХНОЛОГІЇ В SMART БІБЛІОТЕЦІ

Зінченко І. І.¹, Шершун О. О.², Іванова А. Г.³^{1,2,3}Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, УкраїнаORCID: ²<http://orcid.org/0000-0002-0914-7362>E-mail: ¹ lib.onaft@gmail.com, ² aleksander.shershun@gmail.com, ³ ivanovaanast29@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1696>

Анотація. Розглянута проблема неправильного та застарілого трактування діяльності бібліотеки, а також її позиціонування у сучасному світі. Складена інформаційна модель майбутнього програмного забезпечення, тобто ціль та засоби, якими система може оперувати для досягання цієї цілі та, що саме вимагають ці засоби, щоб їх можна було використовувати. За результатами дослідження, для систематизації сучасного уявлення про бібліотеку, було вирішено впроваджувати стандарт Library 3.0, який, в свою чергу, відповідає за модернізацію форми надання послуг бібліотекою за використанням таких технологій, як семантична мережа, хмарові сервіси, мобільні пристрої, у діяльність науково-технічної бібліотеки. Library 3.0 – це стандарт, який відповідає за електронну систематизацію сервісів, що забезпечують життєву діяльність академічної бібліотеки на основі комунікації між підрозділами та користувачем. На даний момент, це є найбільш захоплюючим досягненням у області наукових досліджень та розвитку бібліотек закладів вищої освіти, оскільки представлений стандарт підкреслює контекст, а не тільки засіб надання інформаційних послуг. Було проведено ретельний аналіз на підставі діючих методологій та підходів для створення концептуальної моделі проекту, основних принципів та засад розробки програмного продукту, допоміжних параметрів та засобів для досягнення бажаного результату, аналітичних даних. Був розроблений веб-ресурс для представлення Науково-технічної бібліотеки ОНАХТ за принципами Library 3.0 з урахуванням новітніх можливостей Web 2.0.

Abstract. The problem of incorrect and outdated interpretation of the library activity, as well as its positioning in the modern world, is considered. Compiled information model of the future of software, that is the goal and the means by which the system can operate for achieving this goal and that is demanding these features, so they can be used. According to the results of the research, in order to systematize the modern view of the library, it was decided to implement the Library 3.0 standard, which, in turn, is responsible for modernizing the form of library services using such technologies as semantic network, cloud services, mobile devices, in the scientific- technical library. Library 3.0 is the standard that is responsible for the electronic systematization of services that ensure the life of the academic library through communication between departments and the user. At the moment, this is the most exciting achievement in the research and development of higher education libraries, as the standard presented emphasizes context, not just the means of providing information services. A thorough analysis was carried out on the basis of existing methodologies and approaches to create the conceptual model of the project, basic principles and principles of software development, auxiliary parameters and tools for achieving the desired result, analytical data. A web resource was developed to present the Library of Science and Technology ONAHT on Library 3.0 principles, taking into account the latest Web 2.0 capabilities.

Ключові слова: Library 3.0, Web 2.0, веб-ресурс, HTML5, CSS, API, програмне забезпечення, сучасні технології, науково-технічна бібліотека, розробка програмного продукту, діджиталізація, JSON

Keywords: Library 3.0, Web 2.0, web resource, HTML5, CSS, API, software, modern technologies, scientific and technical library, software development, digitization, JSON

1. Теоретична складова

Невід'ємною складовою розвитку та становлення наукової діяльності закладів вищої освіти є науково-технічна бібліотека. У даному підрозділі знаходиться освітньо-кваліфікаційний обсяг робіт наукових діячів навчального закладу, більш сучасні тематичні роботи випускників та здобувачів вищої освіти, а також загальна література. Для



зручності та покращення якості доступу до будь-яких наукових робіт, у сучасному світі розроблено великий обсяг сервісів, для збереження та відтворення необхідної інформації, якими користується більшість науково-технічних бібліотек у вищих навчальних закладах по всьому світу. Для систематизації сучасного уявлення про бібліотеку, було розроблено стандарт Library 3.0, який, в свою чергу, відповідає за модернізацію форми надання послуг бібліотекою за використанням таких технологій, як семантична мережа, хмарові сервіси, мобільні пристрої. Отже, завдяки імплементації стандарту Library 3.0 у діяльність науково-технічної бібліотеки, кожен користувач отримує зручний та зрозумілий зовнішній вигляд сервісу, швидкий доступ, із будь-якого місця, до наукового фонду бібліотеки, зворотній зв'язок з адміністрацією та співробітниками підрозділів та постійне оновлення для задоволення потреб користувачів.

Актуальність даної теми полягає у постійному розвитку сучасних технологій спрямованих на покращення зручності використання сервісів та доступу до необхідної інформації. На сьогодні, великою проблемою є неправильне та застаріле трактування діяльності бібліотеки, а також її позиціонування у сучасному світі. Науково-технічна бібліотека ОНАХТ намагається слідкувати за новітніми стандартами у світовій науковій спільноті, враховувати бажання та потреби як науково-педагогічно складу академії, так і здобувачів вищої освіти, та впроваджувати сучасні технології до діяльності свого підрозділу у академії.

Головною метою дослідження була розробка веб-ресурсу для представлення Науково-технічної бібліотеки ОНАХТ за принципами Library 3.0 з урахуванням новітніх можливостей Web 2.0.

Для досягнення поставленої мети необхідно: проаналізувати основні засади та принципи стандарту Library 3.0; проаналізувати можливості та переваги стандарту Web 2.0; встановити зв'язок між приведеними стандартами; визначити основні потреби та забаганки користувачів ресурсу; провести аналіз сучасних технологій UI/UX; побудувати залежність між підрозділами НТБ ОНАХТ; виявити основні переваги та недоліки комплексу стандартів; описати взаємодію НТБ ОНАХТ та користувача допомогою структуризації сервісів в одному місці; обрати основні методи розробки програмного забезпечення; розробити сервіс для взаємодії з Науково-технічною бібліотекою ОНАХТ на основі проведеного аналізу.

2. Результати проведеного експерименту

Для розробки серверної частини веб-ресурсу було обрано фреймворк Flask для створення веб-додатків на мові програмування Python. До особливостей даного фреймворку необхідно віднести простоту, добре налагоджену маршрутизацію, вбудований веб сервер та зручність у роботі з API. Для розробки бази даних було обрано MongoDB, яка є документноорієнтованою системою управління базами даних. Приведена СУБД не потребує опису схеми таблиць та використовує JSON подібні документи, а також схему бази даних.

Для розробки клієнтської частини реферативного менеджера було використано середовище розробки PHPStorm з інтелектуальним редактором, який підтримує передові технології розробки та включає в себе підтримку PHP та баз даних, також володіє повним набором інструментів для розробки Інтернет ресурсу. Інтерфейс реферативного менеджера було побудовано за допомогою HTML5/CSS3, для побудови інтерактивного та функціонального додатку було використано мову TypeScript, а також фреймворк Angular 7 для покращення розробки.

Під час дослідження предметної області, було проведено ретельний аналіз на підставі вхідних даних. Вхідними даними виступають: діючі методології та підходи для створення концептуальної моделі проекту, основні принципи та засади розробки програмного продукту, допоміжні параметри та засоби для досягнення бажаного результату, аналітичні дані. На отриманих, методом аналізу, результатах за допомогою методу об'єктно-орієнтованого проектування була розроблена інформаційна модель майбутнього ПЗ. Та було обрана наступна концепція ІС, тобто ціль та засоби, якими система може оперувати для досягання цієї цілі та, що саме вимагають ці засоби, щоб їх можна було використовувати.

Концепція ІС продукту полягає у представленні даних, за допомогою веб-ресурсу, у зручному вигляді, зважаючи на новітні стандарти та основні забаганки користувачів. Опираючись на основні принципи та засади стандарту Library 3.0, необхідно поширювати інформацію та будувати комунікацію на основі потреб цільової аудиторії.

Для отримання інформації про вплив відповідних стандартів на сприйняття користувачем вихідного результату було побудовано графічне зображення обсягу аудиторії, попиту, впливу та якості роботи програмного продукту. Було використано такий інструментарій, як сервіс Google Analytics.

Google Analytics - це сервіс від світової компанії Google, який, за допомогою безкоштовного та у вільному доступі API, вбудовується до веб-ресурсів та аналізує повний обсяг вхідних даних, враховуючи основні ключові параметри. Для ефективного аналізу за допомогою наведеного інструментарію було враховано такі показники трафіку, глибокий аналіз поставлених задач та поступових налаштувань у роботі сервісу. Дана методи дозволяє підвищити конверсію сайту та може бути корисною для спеціалістів в галузі пошукової оптимізації, а також для веб-аналітики.

Конверсія - це важливий параметр, який характеризує відношення відвідувачів сайту, які виконали які-небудь цільові дії. Для сайту дуже важливо залучення трафіку, але більш важливим є поведінка користувача, зважаючи на його дії та позицію на веб-ресурсі, як постійного користувача чи клієнта (для Інтернет магазинів). Найбільшим показником ефективності веб-ресурсу є рівень конверсії, який відображає рівень взаємодії користувача з додатком.



Алгоритм роботи Google Analytics наступний: кожного разу, коли користувач виконує які-небудь дії на сторінках сайту, обробляється код вистежування JavaScript; до браузеру записується унікальний cookies; усі дії користувача фіксуються у одному пакеті (hit), який відправляється на сервер системи; відбувається обробка вхідних даних та подальша передача у акаунті системи у вигляді звітів.

Для оцінки результативності роботи веб-ресурсу, приведений інструментарії спирається на такі показники: кількість унікальних відвідувачів, кількість переглянутих сторінок, середній час, який було проведено на сайті, джерело трафіку та ключові слова [1].

На рисунку 1 зображено аналіз попиту серед відвідувачів, за такими критеріями, як їх обсяг, унікальність, кількість сеансів, попиту сторінок веб-ресурсу, час проведення на додатку. На основі перерахованих показників побудовано графік та діаграму, які варіюються за шкалою часу: у годинах, за день, тиждень та місяць. Зважаючи на наведений витяг з Google Analytics, розроблений ресурс у рамках дослідження, користується попитом серед користувачів у обсязі 223 користувачі, у середньому 580 сеансів, по два з половиною сеанси на одного відвідувача, серед загального обсягу переглянуте 712 сторінок при повторній навігації по сайту та середній час сеансів приблизно дві хвилини.

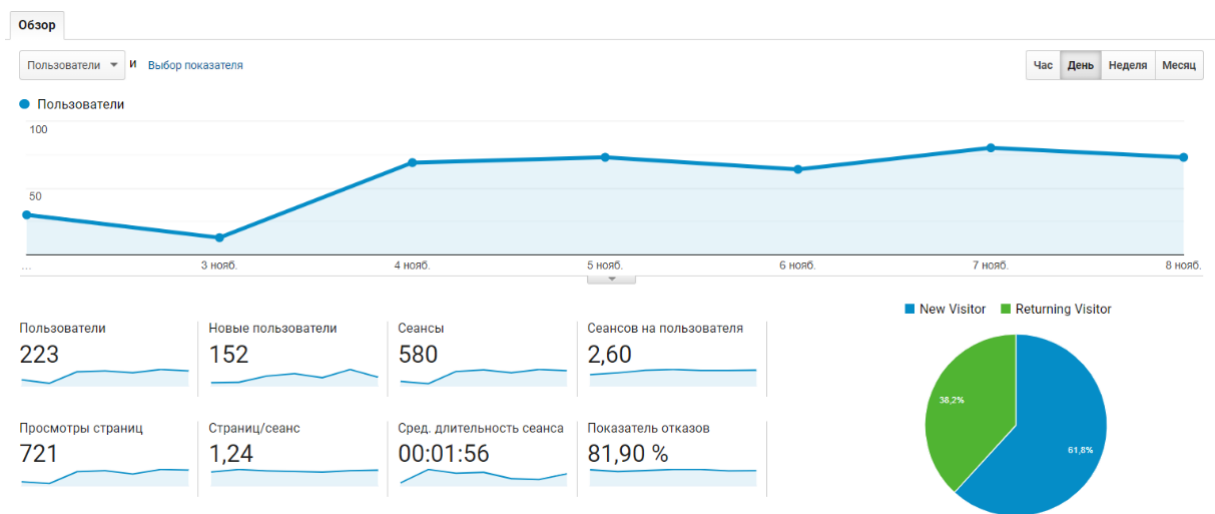


Рис. 1 – Аналіз кількості відвідувачів ресурсу

Для покращення попиту веб-ресурсу серед співробітників та здобувачів вищої освіти академії, необхідно враховувати вподобання серед сучасних браузерів, найбільш популярні пристрої для відображення сайту та коефіцієнт відвідування окремих сторінок веб-додатку.

Найбільш поширеним браузером серед користувачів є Google Chrome (475 відвідувачів), друге місце посідає Opera - загальна кількість 46 осіб, для користувачів продукцією Apple провідним браузером виступає Safari у кількості 16 користувачів. Для запуску ресурсу стартовою сторінкою виступає розділ за адресою /home, іноді до початкової сторінки використовується локалізація російською мовою, при неправильному введенні адреси домашньої сторінки, відбувається переадресація до сторінки з помилкою 404, яка говорить, що сторінки за даною адресою не знайдено.

Також, важливим фактором адаптації веб-ресурсу, для покращення комунікації додатку з користувачем, виступає версія браузера, оскільки технології для розробки програмних додатків у мережі Інтернет мають певні обмеження у тій, чи іншій версії. Зважаючи на проведений аналіз, більшість відвідувачів використовують останні версії браузера Google Chrome.

3. Обґрунтування та опис моделі та/або методу дослідження

При розробці системи дуже складно передбачити усі можливі варіанти поведінки на певні події, що в системі відбуваються, коли уявлення та данні о системі знаходяться в голові у розробника, а при масштабних проектах це не можливо, тому слід використати моделювання для побудови моделі системи, що вирішує дану проблему. Збудована модель системи надає можливість чітко бачити структуру системи та в разі поліпшує можливість прогнозування поведінки системи за рахунок можливості підстановки деяких змінних системи та розрахунку результату, який можемо отримати на виході системи.

Модель - об'єкт, який імітує чи копіює роботу об'єкту-оригіналу, що забезпечує можливість дослідити деякі властивості оригіналу; надає спрощене уявлення роботи системи для більш простого та комфортного її аналізу і передбачення її поведінки й отримання якісних, достовірних і кількісних результатів, які необхідні при прийнятті правильного управлінського рішення. При вирішенні та дослідженні конкретного спектру задач, коли необхідно виявити певні властивості піддослідного об'єкта чи системи, модель являється не тільки ефективним, але й часом



єдиним можливим інструментом для дослідження. Один об'єкт може бути описаний безліччю моделей, а різні об'єкти можуть бути описані однією й тією самою моделлю.

Моделювання – процес уявлення об'єкта реального світу абстрактною моделлю для одержання інформації про нього за допомогою проведення ряду експериментів з його моделлю. Під моделюванням зазвичай розуміють створення точного опису системи та її елементів; метод пізнання, що полягає в побудові та дослідженні повудіки моделей. Моделювання зменшую складність дослідження об'єкта, що надає можливість його відтворити та використати у подальших експериментах. Воно використовується при досліді існуючих систем, коли дослід чи експеримент над реальний об'єктом чи системою неможливі чи не рентабельні у світі певних причин.

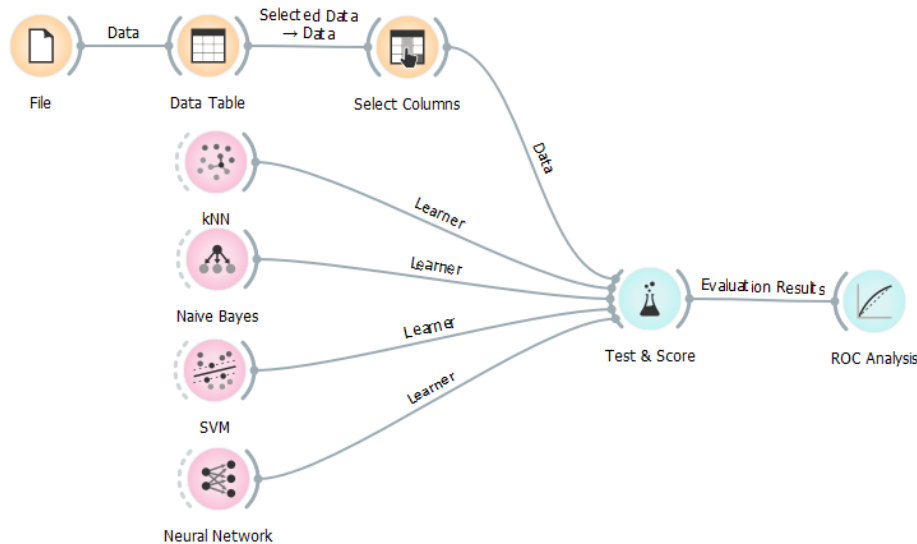


Рис. 2 – Схема проведення аналізу проекту

Для візуалізації процесу моделювання ПЗ, було побудовано аналітичну схему “stack holding” даних для обробки інформації отриманої після дослідження аналітичної складової веб-ресурсу НТБ ОНАХТ у середовищі для візуалізації даних Orange, зображено на рисунку 2.

Для побудови схематичного зображення проведеного експерименту було використано наступні компоненти у середовищі Orange:

1. Data Table – компонент для структурованого виведення даних, на вході отримуються певний файл та за обраними параметрами сортується його зміст для подальшої візуалізації та зручної роботи з необхідною інформацією.

2. Select Columns – компонент для відсортування необхідних рядків для роботи з ними через аналітичні компоненти, обирається відповідні стовпчики та тип роботи з ними.

3. Test and Score – даний компонент відповідає за візуалізацію даних у бажаному вигляді, перша функцію віджету виведення даних у таблицю за класифікаторами, а друга – відтворення результату класифікації даних для подальшого роботи з ними за допомогою інших віджетів.

4. kNN – візуалізація даних за допомогою нейронних зв'язків, на вході отримуються дані та методи для структуризації інформації, результуючою виступає нейронний алгоритм та навчаюча модель.

5. Naive Bayes - цей віджет надає вивчений класифікатор на виході, використовує алгоритм навчання з налаштуваннями, визначеними користувачем. Її можна подавати у віджети для тестування учнів, наприклад тестових членів навчання. Класифікатор – наївний байєсівський класифікатор (підтип загального класифікатора), побудований із навчальних прикладів на вході. Якщо приклади не наводяться, на виході немає класифікатора.

6. SVM – використовує стандартний LibSVM учень, який підтримує кілька вбудованих типів ядра та визначені користувачем функції ядер, написані на Python. Тип ядра позначається константами Linear, Polynomial, RBF, Sigmoid та Custom, визначеними в Orange.classification.svm.kernels. Спеціальна функція ядра повинна приймати два екземпляри даних і повертати поплавок.

7. Neural Network – віджет використовує багатосаровий алгоритм Perceptron sklearn, який дозволяє вивчати лінійні та нелінійні моделі.

8. ROC Analysis – демонструє криві ROC для моделей та відповідний опуклий корпус. Враховуючи витрати на помилкові позитиви та хибні негативи, він також може визначити оптимальний класифікатор та поріг [2].



4. Проектування системи

Інформаційна модель – це модель, що описує інформаційні процеси або містить інформацію про властивості і стан об'єктів, процесів, явищ. На рисунку 3. зображена інформаційна модель взаємодії клієнта з сервером та взаємодія компонентів сервера між собою.

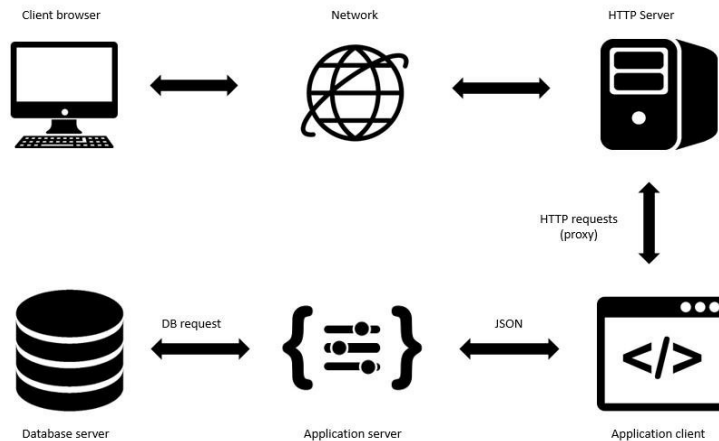


Рис. 3 – Інформаційна модель системи

Пояснення стосовно блоків схеми: Client Browser – клієнтський агент (інакше браузер) для взаємодії з сервером додатку за допомогою передачі гіпертексту; Network – глобальна мережа інтернет; HTTP Server – вільний веб-сервер; Application client – інтерфейс додатку, передає запити клієнта; Application Server – програмне середовище для функціонування серверу-додатків та БД, відповідає на запити клієнта; Database Server – сервер БД, який вміщує базу, побудовану на основі моделі, яка задовольняє потреби додатку.

Для реалізації серверної частини було обрано Flask Framework, який являє собою платформу Python, яка забезпечує можливість розробки веб-додатків мовою Python. Це є мікрофреймворк, тобто каркас додатку, який дозволяє реалізувати базові функції. За необхідності розширення додатку, можливо використовувати сторонні бібліотеки так, ніби їх підтримує сам фреймворк [3].

Поширюється Flask на умовах ліцензії BSD (Berkeley Software Distribution licence), є безкоштовним програмним забезпеченням з відкритим вихідним кодом та може змінюватися спільнотою без обмежень.

Мова Python зі своєю появою дуже швидко поширилася у спільноті розробників ПЗ. Це зумовлено її універсальністю, в тому числі Python придатна для написання веб-серверів. Однак, довгий час користувачі багатьох веб-додатків, створених за допомоги Python, були обмежені у виборі веб-серверів, які можливо було використовувати сумісно з додатками.

Зазвичай, розробники обмежувалися підтримкою одного способу підключення до веб-сервера. Одні додатки могли використовувати протокол CGI (Common Gateway Interface) або Fast CGI, інші прив'язувалися до модуля Apache mod_python, а деякі додатки взагалі були в змозі підтримувати лише API, специфічне для одного сервера. Така ситуація сповільнювала розповсюдження веб-додатків, написаних на Python. З цієї причини з'явився інтерфейс шлюза веб-сервера - протокол WSGI (Web Server Gateway Interface).

Головною метою розробки даного протоколу стало розмеження вибору каркасів для розробки веб-додатків від вибору веб-серверів. Це дозволяє розробникам зосереджуватися на своїх задачах та відрізняє WSGI від інших протоколів зв'язку з сервером.

З точки зору WSGI, веб-додаток поділяють на дві частини: сервер (шлюз) та безпосередньо додаток (каркас для створення додатків). Для звернення до додатку, серверна частина використовує виклик об'єкту. Також, WSGI дозволяє створювати додатки-посередники, які є додатком до веб-сервера та сервером для веб-додатку. Такі посередники можуть бути використані для попередньої обробки запитів до додатку або подальшої обробки його відповідей. Таким чином, сервер викликає додаток для кожного http-запиту, йому призначеного [4].

Клієнтська частина була реалізована завдяки набору інструментарію для створення якісного сучасного Інтернет ресурсу. Процес створення веб-додатку є досить трудомістким та потребує багато часу. Для створення проекту було проаналізовано існуючі засоби та методи реалізації програмного продукту, мови програмування, а також технології для поліпшення розробки. Опіраючись на проведений аналіз, для реалізації клієнтської частини були обрано такі технології, як зв'язка HTML5, CSS3, фреймворки Angular 5 та Bootstrap, а також бібліотека JQuery.

HTML (Hyper Text Mark Language) – це мова розмітки гіпертексту для створення веб-сторінок. Дана мова інтерпретується браузером та відображається у вигляді документу зручному та зрозумілому людському оку. HTML є



невід'ємною частиною та основою практично будь-якої веб-сторінки. Саме HTML наділяє зміст сторінки певним сенсом, а реалізується це завдяки спеціально орієнтованим тегам [5].

Згенерований HTML документ інтерпретується браузером, тобто будує його структуру та відображає її у відповідності інструкціям застосованих до файлу, а саме каскадні таблиці стилів та скрипти. Якщо текстова розмітка документу побудована правильно, то у вікні браузера буде відображена HTML сторінка, яка містить усі прописані елементи.

Кожен HTML документ дотримується певної структури для подальшої правильної інтерпретації браузером. Усі основні правила, яких дотримується мова HTML, які містяться у файлі оголошення типу документа, який представляє собою XML документ. Даний документ визначає які теги, атрибути та їх значення відповідають конкретній версії HTML документу.

На протязі багатьох років HTML розвивається та набуває певних змін, на сьогодні існує найбільш сучасна версія під назвою HTML5. В першу чергу, HTML5 є мовою гіпертекстової розмітки, але на відміну від HTML та XHTML, набув великий обсяг функцій та було усунуто основні недоліки [6].

Зазвичай створення веб-сторінок відбувається у зв'язці мови гіпертекстової розмітки HTML та каскадної таблиці стилів CSS. Використання відповідної комбінації покращує зовнішній вигляд веб-сторінки та надає їй необхідної інтерактивності.

CSS (Cascading Style Sheets) чи каскадні таблиці стилів, використовуються для виконання опису зовнішнього вигляду документу, написаного мовою розмітки. Зазвичай CSS використовується для створення та зміни стилю елементів веб-сторінки, написаних на мовах HTML та XHTML.

Головною метою створення CSS було відокремлення опису логічної структури веб-сторінки від оформлення зовнішнього вигляду. Отже, мова HTML описує логічну структуру веб-сторінки, а CSS описує зовнішній вигляд даної структури. Відокремлення опису логічної структури та представлення документа дозволяє більш гнучко керувати зовнішнім видом документа та позбавитись від дублювання частин коду. За допомогою CSS є можливість задавати веб-сторінці та окремим її елементам розміри, кольори, поля та відступи, та інші зміни у зовнішньому вигляді. [14]

CSS3 є останньою версією каскадної таблиці стилів та розширює і додає нові можливості до побудови зовнішнього вигляду веб-сторінки. Головними перевагами виступають комбінація фонового зображення та кольору, додавання тіней та прозорості до блоків, нові можливості до редагування тексту і тому подібне.

HTML та CSS є основою будь якого сайту, незважаючи на напрям розробки серверної чи клієнтською частини, знання даної зв'язки є обов'язковою. Наведена технологія надає можливість створювати сучасні, адаптивні та інтерактивні сайти. Для маніпуляції елементами веб сторінки та наданням їм візуальних ефектів використовується допоміжні технології такі як бібліотека JQuery та фреймворк Angular 5.

Angular - це фреймворк від компанії Google для створення Інтернет ресурсів, насамперед спрямованим на створення односторінкового Інтернет ресурсу. Зважаючи на це, є спадкоємцем іншого фреймворку AngularJS, але потрібно пам'ятати, що Angular це не нова версія AngularJS, а повністю новий фреймворк. Фреймворк володіє таким функціоналом, як двостороннє зв'язування, яке дозволяє динамічно змінювати дані в одному місті клієнтської частини при зміні даних моделі в іншій частині, шаблони, маршрутизація і тому подібне. Використовує мову програмування TypeScript [7].

5. Програмна підтримка дослідження

Опис основних процедур та функцій

Для правильної взаємодії клієнтської частини з інформацією яка поступає з серверу, було створено клас `HttpService` для роботи з API, які формуються на стороні backend. Даний клас містить такі ключові поняття:

- `url` – посилання за яким отримуються дані для подальшої роботи;
- `public responseCache = new Map()` – для хешування даних під час пересування між вкладками сервісу;
- `public getNews(): Observable<any>` – отримання даних для подальшої роботи з ними, у даному методі відбувається занесення даних до змінної, встановлення заголовків та хешування даних до сталої, яка зберігається у сховищі браузера на час проведення відповідної сесії.
- `public postMessage(body)` – метод для відправки даних а сервер з форми зворотного зв'язку.

```
export class HttpService {
  url = 'https://library.onaft.edu.ua/api';
  public responseCache = new Map();
  constructor(private httpClient: HttpClient, private cacheUrl: CacheService) {
    cacheUrl.addToCache(this.url);
  }
  public getNews(): Observable<any> {
    const headers = new HttpHeaders();
    headers.set('Cache-Control', 'public, max-age=31536000');
  }
}
```



```
const newsCache = this.responseCache.get(this.url + '/news');
if (newsCache) {
    return of(newsCache);
}

const response = this.httpClient.get<any>(this.url + '/news', {headers});
response.subscribe(data => this.responseCache.set(this.url + '/news', data));
return response;
}
{...}
public postMessage(body) {
    return this.httpClient.post('https://library.onaft.edu.ua/api', body);
}
}
```

Сервіс для хешування даних CacheService виконує функцію збереження вхідних даних для роботи у браузері, під час однієї сесії, без постійного звернення до сторони backend за необхідним набором даних.

```
export class CacheService {
    private services = [];
    constructor() {}
    public addToCache(serviceUri: string) {
        return this.services.indexOf(serviceUri) > -1;
    }
    public addCache(serviceUri: string) {
        if (!this.addToCache(serviceUri)) {
            this.services.push(serviceUri);
        }
    }
}
```

6. Рекомендації щодо впровадження та використання

Для початку роботи з програмним продуктом розробленим у рамках дослідження потрібно скористатися одним з вище представлених браузерів на будь-якій платформі, яка відповідає вказаним системним вимогам. Також, потрібно зауважити, що розроблений Інтернет ресурс є адаптивним під будь-який пристрій. Отже, у адресному рядку потрібно ввести адресу розташування Інтернет ресурсу: library.onaft.edu.ua. Після введення адреси, потрапляємо на початкову сторінку Інтернет ресурсу, яка зображена на рисунку 4.

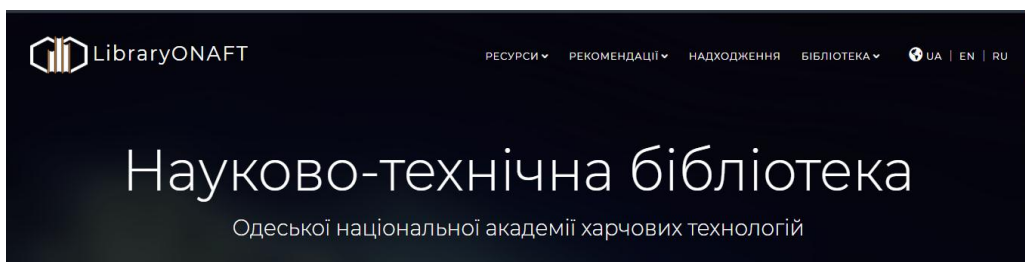


Рис. 4 – Головна сторінка сайту

На головній сторінці веб ресурсу знаходиться секція з основними новинами та заходами Науково-технічної бібліотеки ОНАХТ для інформування співробітників та здобувачів вищої освіти про важливі наукові семінари, нові надходження та можливості наукової бібліотеки. Нижче знаходиться блок з інформацією про бібліотеку. У лівій частині знаходиться описова інформація про діяльність підрозділу академії та технічні зали. Права частина містить багатокутники з назвами підрозділами бібліотеки та інформацією про основну діяльність відділу, при наведенні на один з шестикутників він обертається, та на зворотній стороні відображено інформацію про керівника підрозділу та місце знаходження. За блоком «Про бібліотеку» знаходить форма зворотного зв'язку. За бажанням користувач може звернутись до співробітника бібліотеки та викласти свої побажання чи зауваження. Останній блок головної сторінки ресурсу містить основні питання стосовно функціонування бібліотеки та отримання певного спрямування інформації. Для того, щоб отримати відповідь на одне з приведених питань, необхідно натиснуте на відповідний розділ та буде відображено блок з інформацією. Навігаційне меню поділяється на такі розділи, як «Ресурси», «Рекомендації»,



«Надходження» та «Бібліотека». Також, у правому куті знаходиться вибір мови перекладу ресурсу, представлено три основні мови: українська, російська та англійська.

Якщо навести на пункт меню «Ресурси» з'явиться випадające навігаційне меню, з такими пунктами:

- Електронний каталог – перенаправляє на один з ресурсів бібліотеки, які містять інформацію про основні видання академії, наявний пошук за категоріями, назвою, авторами та розширена форма. Для деяких видань наявна можливість переглянути повний зміст наукової роботи.

- Електронний архів (репозитарій) – науковий репозитарій бібліотеки, який містить перелік всіх наукових робіт на базі академічної діяльності.

- Центр наукової періодики (КЦВ) – веб-ресурс координаційного центру видання, який містить корисні посилання та інформативну складову для наукових діячів.

- Патенти – сторінка, яка містить сортування патентів за роками видання та інформацію про них: назву патенту, основні характеристики та автора

Наступний розділ меню «Рекомендації», який складається з наступних підрозділів:

- Енциклопедія вчених – список видатних діячів Одеської національної академії харчових технологій. На відповідній сторінці ресурсу представлено таку інформацію про діячів: повне ім'я, коротка біографія та, при натисканні на кнопку «Детальніше», відкривається сторінка з повною біографією та науковими роботами видатного діяча академії.

7. Практичне значення отриманих результатів

У рамках дослідження було розроблено програмний продукт, а саме веб-додаток для доступу до наукового фонду, основної інформації, актуальних заходів та ресурсів Науково-технічної бібліотеки Одеської національної академії харчових технологій. Даний ресурс реалізує основні переваги світового стандарту Library 3.0 для покращення сприйняття користувачами представленої інформації у вигляді веб-додатку, який розроблено за допомогою технології Web 2.0. Практичне значення отриманих результатів - це програмний продукт, який задовольняє всіх основним потребам користувачів, завдяки зручному та зрозумілому дизайну, правильній структуризації представленої інформації, організованій навігації по веб-додатку з використанням анімації та новітніх стандартів дизайну, підтримка програмного продукту та постійне оновлення даних для кінцевого відображення для здобувачів вищої освіти та співробітників академії.

Список використаних джерел:

- [1] Егорова И. Н., Кадушкевич О. Н. МЕТОДИКА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ GOOGLE ANALYTICS // Scientific Journal «ScienceRise». 2016. Т. 1, вып. 18. С. 40-44. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.58765>.
- [2] Documentation // Orange: [Веб-сайт]. URL: <https://orange.biolab.si/docs/> (дата звернення: 12.11.2019).
- [3] Object Relational Tutorial [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.sqlalchemy.org/en/latest/orm/tutorial.html> - Назва з екрану. - Дата перегляду: 15.04.2018.
- [4] The Architecture of Open Source Applications (Volume 2) SQLAlchemy [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://aosabook.org/en/sqlalchemy.html> - Назва з екрану. - Дата перегляду: 15.04.2018.
- [5] Науменко Д. HTML, CSS, PHP, JavaScript, SQL – что и зачем? [Електронний ресурс] / Дмитрий Науменко – Режим доступу до ресурсу: <http://codeharmony.ru/materials/125>.
- [6] Язык HTML 5 – преимущества и недостатки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://seodirection.ru/html5/>.
- [7] Введение в Angular [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://metanit.com/web/angular2/1.1.php>

References

- [1] Egorova I. N., Kadushkevich O. N., “METODIKA E`FFEKTIVNOGO ISPOL`ZOVANIYa INSTRUMENTOV GOOGLE ANALYTICS”, *Scientific Journal «ScienceRise»*, 2016, V.1, Iss. 18., p. 40-44. <https://doi.org/10.15587/2313-8416.2016.58765>.
- [2] Bioinformatics Laboratory and University of Ljubljana, *Orange Data Mining - Documentation*. [Online]. Available: <https://orange.biolab.si/docs/>. [Accessed: 05-Mar-2020].
- [3] “SQLAlchemy 1.3 Documentation,” *Object Relational Tutorial - SQLAlchemy 1.3 Documentation*. [Online]. Available: <https://docs.sqlalchemy.org/en/latest/orm/tutorial.html>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [4] “SQLAlchemy,” *The Architecture of Open Source Applications (Volume 2): SQLAlchemy*. [Online]. Available: <http://aosabook.org/en/sqlalchemy.html>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [5] “HTML, CSS, PHP, JavaScript, SQL – что и зачем?” [Online]. Available: <http://codeharmony.ru/materials/125>. [Accessed: 10-Mar-2019].
- [6] “SEO Direction,” *Jazik HTML 5 – preimushestva I nedostatki*. [Online]. Available: <https://seodirection.ru/html5/>. [Accessed: 05-Mar-2019].
- [7] “Vvedeniye v Angular,” [Online]. Available: <https://metanit.com/web/angular2/1.1.php>. [Accessed: 05-Mar-2020].



УДК 004.738.5:655.41(048):001.816

РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОНОГО ДАЙДЖЕСТУ НАУКОВИХ ДОРОБКІВ

Волкова А. Ю.¹, Харахаш О. В.², Сакалюк О. Ю.³, Козуб О. О.⁴^{1,2,3,4}Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, УкраїнаORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0002-4414-6592>, ² <http://orcid.org/0000-0002-7405-4517>, ³ <http://orcid.org/0000-0002-5051-518X>, ⁴ <http://orcid.org/0000-0002-0481-9203>E-mail: ¹ volkovanastasia.w@gmail.com, ² sash.harahash@gmail.com, ³ sakaliuk.olexiy@gmail.com,⁴ oksana.olegovna.kozub@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1698>

Анотація. Метою проекту було створення програмного забезпечення, а саме веб-платформи, який надає можливість впорядкувати, нормалізувати та спростити пошук наукового доробку, що міститься серед періодичних наукових видань. Для досягнення поставленої мети, в розробці програмного продукту, було сформовано наступні задачі: проаналізувати основні проблеми предметної області; проаналізувати існуючі аналоги; обрати засоби реалізації програмного продукту; розробити програмний продукт.

Об'єктом дослідження виступив онлайн-сервіс, що впорядковує та спрощує пошук серед наукових публікацій. На даний момент, існує декілька аналогів, але головною відмінністю поміж ними є те, що дані програмні продукти не містять перелік наукових видань Одеської національної академії харчових технологій.

Для розробки серверної частини електронного дайджесту був обраний фреймворк Spring та мова програмування Kotlin. Була розроблена реляційна база даних у вільній об'єктно-реляційній СУБД PostgreSQL. Середовищами розробки були обрані IntelliJ IDEA та DataGrip. Для розробки клієнтської частини електронного дайджесту було використано середовище розробки PHPStorm з інтелектуальним редактором, який підтримує передові технології розробки та включає в себе підтримку баз даних, також володіє повним набором інструментів для розробки Інтернет ресурсу. Інтерфейс дайджесту було побудовано за допомогою HTML5/CSS3, для побудови інтерактивного та функціонального додатку було використано мову JavaScript, а також фреймворк Bootstrap для поліпшення розробки.

Abstract. The aim of the project was to create software, namely a web-based platform, which provides an opportunity to streamline, normalize and simplify the search for scientific content contained in periodicals. In order to achieve this goal, in the development of the software product, the following tasks were formed: to analyze the main problems of the subject area; analyze existing analogues; to choose the means of realization of the software product; to develop a software product.

The object of the study was an online service that streamlines and simplifies the search for scientific publications. At the moment, there are several analogues, but the main difference between them is that these software products do not contain a list of scientific publications of the Odessa National Academy of Food Technologies.

The Spring Framework and the Kotlin programming language were chosen to develop the server side of the electronic digest. A relational database was developed in the free PostgreSQL object-relational database. The development environments were chosen by IntelliJ IDEA and DataGrip. PHPStorm's development environment with a smart editor, which supports advanced development technologies and includes database support, also has a complete set of tools for developing an online resource, was used to develop the electronic digest client part. Digest interface was built using HTML5 / CSS3, JavaScript and Bootstrap framework were used to build the interactive and functional application.

Ключові слова: Web 2.0, Science 2.0 веб-ресурс, база даних, PostgreSQL, HTML5, CSS3, програмне забезпечення, наукові доробки, пошук інформації, науково-технічна бібліотека, розробка програмного продукту, діджиталізація

Keywords: Web 2.0, Science 2.0 web resource, database, PostgreSQL, HTML5, CSS3, software, scientific research, information search, scientific and technical library, software development, digitization

1. Теоретична складова

Інформаційні технології та автоматизація робочого процесу відіграють важливу роль у організації процесів моніторингу, аналізу та популяризації наукових здобутків, зокрема це відбувається за допомогою електронних



ресурсів. Для швидкого доступу та пошуку наукових доробків технології Web 2.0 надають такі переваги, як можливість глобального пошуку у Інтернет мережі, вільний дистанційний доступ до наукових праць, індивідуальні ресурси/платформи наукових видань та повідомлення про оновлення дослідницьких тем.

Кількість наукового контенту, який щорічно потрапляє до мережі налічує сотні тисяч одиниць, серед яких, принаймні декілька тисяча належить науковцям Одеської національної академії харчових технологій. З метою систематизації наукового контенту вчених ОНАХТ було прийнято рішення створити електронний дайджест.

В якості електронного дайджесту наукових публікацій/контенту буде виступати електронний ресурс, який надаватиме вільний доступ до інформації про наукові доробки. Основними етапами розробки електронного ресурсу є визначення структурних цілей, розробка інструментарію, вибір наукових видань, та розробка зручного та функціонального інтерфейсу [2, 3].

Таким чином, застосування Web 2.0 в рамках Science 2.0 є основою для зручної організації моніторингу наукових доробків, та інформації про них.

2. Результати проведеного дослідження

Програмне забезпечення (ПЗ) розроблене в рамках дослідження становить інформаційно-управляючу систему для публікацій науковців ОНАХТ. Розроблене ПЗ має трьохрівневу архітектуру, що складається з клієнта, сервера додатку та серверу бази даних. Клієнтська частина Інтернет ресурсу реалізує інтерфейс, відправляє запити до серверної частини та оброблює відповідь отриману зі сторони серверу. Серверна частина отримує запити від клієнта, виконує обчислення та відправляє сформовану сторінку по мережі. Для безпечного та правильного формування і роботи з даними, була створена реляційна база даних.

В якості системи управління базою даних (СУБД) було обрано PostgreSQL, об'єктно-реляційна база даних. Це означає, що, хоча в першу чергу це реляційна модель, вона також включає в себе такі функції, як успадкування таблиць і перевантаження функцій, які частіше пов'язані з об'єктно-орієнтованими БД. Postgres здатний ефективно обробляти декілька завдань одночасно, ця властивість відома як паралелізм. Це досягається без блокувань читання завдяки реалізації MVCC, що забезпечує атомарність, узгодженість, ізоляцію і довговічність своїх транзакцій, також відомих як відповідність ACID [1, 4]

В якості середовища розробки інтегроване, інструментальне середовище, призначене для допомоги розробникам у створенні програмних додатків за наявності всього необхідного інструментарію. Багато IDE включають додаткові можливості для тестування, організації та рефакторінга коду. Додаткові функції, такі як автозаповнення, поряд з можливостями збірки, значно розширюють можливості розробника і підвищують швидкість їх розробки. Вибір оптимальної IDE залежить від таких факторів, як мовна підтримка, потреби операційної системи і витрат, пов'язаних з використанням IDE і т.д.

IntelliJ IDEA – інтегроване середовище розробки програмного забезпечення з підтримкою багатьох мов програмування. Система поставляється у вигляді урізаної по функціональності безкоштовної версії «Community Edition» і повнофункціональної комерційної версії «Ultimate Edition», для якої активні розробники відкритих проєктів мають можливість отримати безкоштовну ліцензію. Програмне забезпечення JetBrains IntelliJ IDEA – це провідне середовище швидкої розробки на мові програмування Java. IntelliJ IDEA становить високотехнологічний комплекс інтегрованих інструментів програмування, включає інтелектуальний редактор записів з розвинутими засобами автоматизації, потужні інструменти рефакторингу коду, вбудована підтримка стандартів розробки на рівні підприємств, механізм інтеграції середовища тестування та системами керування версій, унікальний інструмент оптимізації та перевірки коду, а також інноваційний візуальний конструктор графічних інтерфейсів.

Для зв'язку бази даних (БД) з додатком використовувалась технологія RESTful API. RESTful API - це прикладний програмний інтерфейс, який використовує HTTP- запити для отримання, вилучення, розміщення і видалення даних. API-інтерфейс RESTful, також званий веб-службою RESTful, заснований на технології передачі стану уявлень (REST), а його архітектурний стиль і підхід до комунікацій, часто використовується при розробці веб-сервісів. Одним з ключових переваг API REST є те, що він забезпечує гнучкість. Дані не прив'язані до ресурсів або методів, тому REST може обробляти кілька типів викликів, повертати різні формати даних. Така гнучкість дозволяє розробникам створювати API, який відповідає їх потребам, а також потребам різних клієнтів [2]. Цей протокол також виділяється завдяки своїй масштабованості. Завдяки розподілу між клієнтом і сервером продукт може бути масштабований командою розробників без особливих труднощів [6, 7].

Як зазначалось вище архітектура серверу була розроблена як RESTful API, клієнтська частина має доступ до даних з БД через посилання конкретних запитів до серверу. URL цих запитів має вигляд «./api/назва_таблиці/http_метод/...». Дані, які відправляються до клієнтської частини мають формат JSON та кодування UTF8. Також ці дані можуть розрізнятися за змістом, якщо наприкінці запиту є постфікс «-tree» - це означає, що в даних відобразатимуться певні обов'язкові зв'язки [5].

3. Програмна підтримка дослідження. Опис основних процедур та функцій

Збережена SQL функція пошуку на рівні БД



Функція `publication_records(title, date, authors, keywords, all_record)` містить 2 курсори `_authors` та `_keywords`, які конвертують прийняті данні у масив. Це дозволяє нам обирати декілька рядків із результату великого запиту. Через створений курсор можна отримувати рядки, застосовуючи команду `FETCH`.

```
_authors = concat('{', authors, '}') :: character varying[];  
_keywords = concat('{', keywords, '}') :: character varying[];
```

Параметр `all_record` приймаючи значення `true` видає усі існуючі записи у базі даних та відправляє їх на клієнт на головну “Книгу”

```
if all_record then  
  <<all_records>>  
  begin  
    for rec in select *  
      from publications  
      where id_publication <> 0  
      order by title asc  
    loop  
      exit all_records when rec isnull;  
      return next rec;  
    end loop;  
  end;
```

Запит у циклі вже дозволяє виконувати пошук по усім параметрам: дата, ключові слова, автори та назва.

```
for rec in select distinct p.id_publication,  
  p.type,  
  p.abstract,  
  p.date,  
  p.id_rating,  
  p.doi,  
  p.title,  
  p.id_journal  
from publications p,  
  authors a,  
  keywords k,  
  publications_authors pa,  
  publications_keywords pk  
where p.id_publication = pa.id_publication  
  and a.id_author = pa.id_author  
  and p.id_publication = pk.id_publication  
  and k.id_keyword = pk.id_keyword  
and case  
  when _title notnull then lower(p.title) ilike concat('%', lower(_title), '%')  
  else p.id_publication = p.id_publication end  
and case  
  when _date notnull then p.date :: character varying ilike concat('%', _date, '%')  
  else p.id_publication = p.id_publication end  
and case  
  when _keywords notnull and _keywords[1] notnull then k.word = any (_keywords)  
  else p.id_publication = p.id_publication end  
and case  
  when _authors notnull and _authors[1] notnull then  
    concat(a.first_name, ' ', a.middle_name, ' ', a.surname) = any (_authors)  
  else p.id_publication = p.id_publication end  
and p.id_publication <> 0  
order by p.title  
loop  
begin  
  exit some_records when rec isnull;  
  return next rec;  
end;  
end loop;
```



При цьому, враховано, що користувач може ввести неповну назву публікації, таким чином, пошук назви працює по принципу “містить слово”. Також враховано можливість ігнорування реєстру тексту, тому не буде важливим у якому форматі отримуються дані для пошуку.

```
when _title notnull then lower(p.title) ilike concat('%', lower(_title), '%')
else p.id_publication = p.id_publication end
```

Пошук по ключовим словам та авторам відбуваються по масиву даних за допомогою оператора ANY. Так як ці запити знаходяться у циклі, проходить пошук по масиву на кожному новому ключовому слові чи авторі.

```
and case
```

```
when _keywords notnull and _keywords[1] notnull then k.word = any (_keywords)
else p.id_publication = p.id_publication end
```

```
and case
```

```
when _authors notnull and _authors[1] notnull then
concat(a.first_name, ' ', a.middle_name, ' ', a.surname) = any (_authors)
else p.id_publication = p.id_publication end
```

SQL функція створення нових записів в БД

Для кожної таблиці в БД було створено по 4 функції для основних операцій:

- вибірка (SELECT FROM);
- видалення (DELETE FROM);
- додавання (INSERT INTO);
- оновлення (UPDATE SET).

Це було зроблено для зручності використання SQL запитів у програмному коді самого додатка.

Кожна така функція має наступний функціонал:

- вхідні параметри мають значення за замовчуванням, тому при виклику в неї можна передавати не всі параметри;
- кожна така функція повертає результат у вигляді запису з таблиці, для якої була створена;
- якщо операція невдала (такого запису не існує, друкарська помилка в переданому параметрі, неможливо додати/оновити через повторення даних тощо) повертається нульовий запис із таблиці, де в кожній комірці міститься «Нульове значення»;

• для запитів на вибірку або деяких видалень присутня можливість вказати параметр «всі записи» та, якщо є, вказати додатковий параметр конкретизації.

Нижче наведено приклад такої функції на додавання нового запису в існуючий розділ публікацій. У переліку вхідних параметрів для кожного задаються значення за замовчуванням. Якщо було передано null або нічого, береться значення default для цього стовпця:

```
create or replace function publication_insert(_type publication_type DEFAULT NULL::publication_type,
_abstract text DEFAULT NULL::text,
_date date DEFAULT NULL::date,
_doi character varying DEFAULT NULL::character varying,
_title character varying DEFAULT NULL::character varying,
_stars double precision DEFAULT NULL::double precision,
_seen integer DEFAULT NULL::integer,
_title_journal character varying DEFAULT NULL::character varying)
returns SETOF publications
language plpgsql
```

```
as
```

```
$$
```

```
declare
```

```
rec publications%rowtype;
```

```
__id_rating int;
```

```
__id_journal int;
```

```
begin
```

```
begin
```

```
__id_rating = (
select (rating_insert(
_stars,
_seen
)).id_rating );
```

```
__id_journal = (
select (journal_record(
_title_journal
```



```
)).id_journal);
```

```
insert into publications (type, abstract, date, id_rating, doi, title, id_journal)
```

```
values (_type, _abstract, _date, __id_rating, _doi, _title, __id_journal) returning * into rec;
```

Якщо при створенні виникає помилка, оператор exception перехопить її та функція поверне інформацію про помилку

```
when sqlstate '23505' then
```

```
begin
```

```
raise notice 'Запис вже існує';
```

```
select into rec (publication_record(_doi => _doi)).*;
```

```
select rating_delete(__id_rating);
```

```
end;
```

```
when sqlstate '23502' then
```

```
begin
```

```
raise notice 'Нульове значення';
```

```
select into rec (publication_record()).*;
```

```
-- select rating_delete(__id_rating);
```

```
end;
```

3.Рекомендації щодо впровадження та використання

Програмне забезпечення, яке розроблено в рамках дослідження, має класифікацію клієнт-серверного додатку з тривірневою архітектурою: клієнт, сервер додатків та сервер бази даних. Для користування даним веб-додатком необхідно мати браузер – програмне забезпечення для перегляду веб-сторінок. Рекомендується використовувати такі браузери як: Google Chrome, Safari, Mozilla FireFox, Microsoft Edge або Internet Explorer. В інших браузерах робота даного веб-додатку не перевірялась. Ресурс не передбачає мобільної версії, так як, від самого початку створювався виключно як десктопний проект.

На рисунку 1 можна побачити головну сторінку сайту, на якій можна знайти соціальні мережі організації та фіксоване меню з основними можливостями сайту.

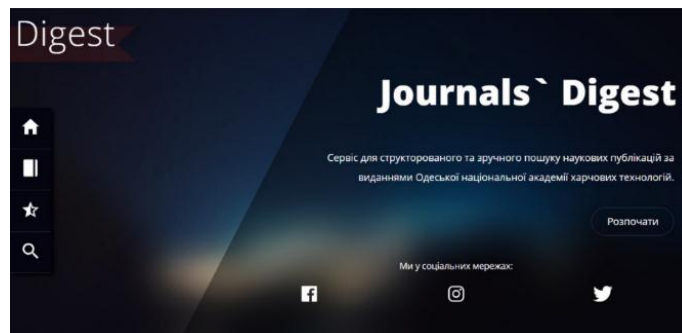


Рис. 1 – Головна сторінка сайту

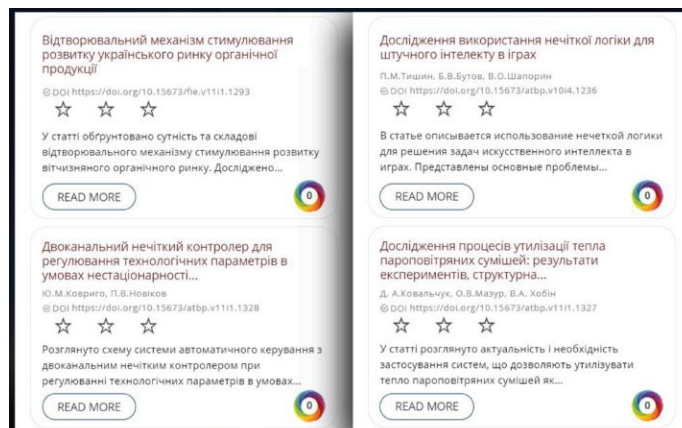


Рис. 2 – Книга сайту

Після натискання на один з цих елементів, користувача перенаправляє на сторінку з книгою публікації, як показано на рисунку 2.



Ця сторінка містить вже знайоме користувачу фіксоване бокове меню, книгу с публікаціями, та новий елемент - кнопка з розділами журналів видання ОНАХТ.

Також необхідно відзначити, що було розроблено веб-додаток який задовольняє майже всі потреби для людей які будуть його використовувати з урахуванням предметної області.

4. Практичне значення отриманих результатів

Результатом дослідження є електронний науковий дайджест, який включає в себе реалізацію всіх поставлених вимог, рішення побудованих задач та усунення виявлених проблем. Розроблений електронний науковий дайджест є повноцінним, адаптивним і функціональним ПЗ, який може бути запровадженим для використання у роботі ОНАХТ для співробітників та здобувачів вищої освіти.

Список використаних джерел:

- [1] Kwanya T., Stilwell C., Peter G. Library 3.0 Intelligent Libraries and Apomediation. Chandos Publishing, 2015. 190 p.
- [2] B. van Wyk, H. Geldenhuys. Learn 3.0 Meets Library 3.0: A Case Study / International Conference on e-Learning. 2018. 480 p.
- [3] A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning // Skymind: [Веб-сайт]. URL: <https://skymind.ai/wiki/neural-network> (дата звернення: 07.11.2019).
- [4] Object Relational Tutorial [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.sqlalchemy.org/en/latest/orm/tutorial.html> - Назва з екрану. - Дата перегляду: 15.04.2018.
- [5] The Architecture of Open Source Applications (Volume 2) SQLAlchemy [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://aosabook.org/en/sqlalchemy.html> - Назва з екрану. - Дата перегляду: 15.04.2018.
- [6] Науменко Д. HTML, CSS, PHP, JavaScript, SQL – что и зачем? [Електронний ресурс] / Дмитрий Науменко – Режим доступу до ресурсу: <http://codeharmony.ru/materials/125>.
- [7] Язык HTML 5 – преимущества и недостатки [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://seodirection.ru/html5/>.

References:

- [1] T. Kwanya, C. Stilwell, and P. G. Underwood, *Library 3.0: intelligent libraries and apomediation*. Amsterdam: Chandos Publishing is an imprint of Elsevier, 2015.
- [2] B. van Wyk, H. Geldenhuys, “Learn 3.0 Meets Library 3.0: A Case Study”. International Conference on e-Learning, 2018.
- [3] “A Beginner's Guide to Neural Networks and Deep Learning,” *Pathmind*. [Online]. Available: <https://skymind.ai/wiki/neural-network>. [Accessed: 07-Nov-2019].
- [4] “SQLAlchemy 1.3 Documentation,” *Object Relational Tutorial - SQLAlchemy 1.3 Documentation*. [Online]. Available: <https://docs.sqlalchemy.org/en/latest/orm/tutorial.html>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [5] “SQLAlchemy,” *The Architecture of Open Source Applications (Volume 2): SQLAlchemy*. [Online]. Available: <http://aosabook.org/en/sqlalchemy.html>. [Accessed: 15-Apr-2018].
- [6] “HTML, CSS, PHP, JavaScript, SQL – что и зачем?” [Online]. Available: <http://codeharmony.ru/materials/125>. [Accessed: 10-Mar-2019].
- [7] “SEO Direction,” *Jazik HTML 5 – preimushestva I nedostatki*. [Online]. Available: <https://seodirection.ru/html5/>. [Accessed: 05-Mar-2019].

УДК 004.383.2:004.738.5:004.771

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ХМАР ТЕГІВ ДАНИХ

Хараш К. М.¹, Ольшевська О. В.², Титуренко Ж. А.³

^{1,2,3}Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

ORCID: ² <http://orcid.org/0000-0002-4512-3915>, ³ <http://orcid.org/0000-0001-6774-1688>

E-mail: ² olshevskia.olga@gmail.com, ³ janettrnk@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1699>



Анотація. Розглядаються механізми візуалізації для побудови термінологічних хмар. На прикладі JSON, HTML, CSV, XLSX, XML, TXT наведений перелік типів файлів та ресурсів. Проаналізовано можливості добування та збереження вхідних даних. Проведено дослідження аналогічних систем, на основі якого було обрано два оптимальні типи файлів, а саме CSV та TXT. Виявлено підхід формування списку ключових слів для наукових публікацій або виокремлення провідної тематики різних текстів. Встановлено, що у разі необхідності обробки великих текстів спільної спрямованості, якими наприклад можуть бути літературні твори, наукові статті, судові вирoki тощо, достатнім буде використання малих веб-додатків для побудови тегових хмар. Тегові хмари на основі алгоритму k-середніх здатні досить ефективно виявити ключові поняття, найбільш уживані слова та провідні концепції. При порівнянні між собою форматів CSV та TXT, було підтверджено, що швидкість обробки залежить скоріше від об'єму вхідної інформації, ніж від структури файлу. Звідси, можна стверджувати, що використання одного або іншого формату зумовлено вибором користувача. Проведено аналіз з якого відзначено, що формат CSV потребує верхнього рядка, в якому вказують атрибути. Для більшої коректності подальшого аналізу, атрибути слід вказати і формувати кожний наступний рядок даних строго по черзі. Така незначна особливість структури допомагає досліднику орієнтуватися серед набору текстової інформації, а при подальшій обробці перший рядок можна не враховувати. На відміну від попереднього формату, формат TXT не потребує формування першого рядка атрибутів. Це ускладнює візуальне сприйняття наявної інформації. Не рекомендовано вводити атрибути самостійно, в подальшому при обробці це буде впливати на коректність результатів кластеризації в негативний бік.

Abstract. Visualization mechanisms for constructing terminological clouds are considered. An example of JSON, HTML, CSV, XLSX, XML, TXT is a list of file types and resources. Possibilities of extraction and storage of input data are analyzed. Studies of similar systems were performed, on the basis of which two optimal file types were selected, namely CSV and TXT. The approach of forming a list of keywords for scholarly publications or distinguishing the leading topics of different texts was discovered. If the need is to handle large collaborative texts, such as literary works, scientific articles, judgments, etc., it will be sufficient to use small web applications to build tag clouds. K-mean tag clouds are able to effectively identify key concepts, most commonly used words, and leading concepts. When comparing CSV and TXT formats, it was confirmed that the processing speed depends more on the amount of input than on the file structure. Hence, it can be argued that the use of one or the other format is conditioned by the user's choice. An analysis has been conducted that noted that the CSV format needs an upper line that specifies attributes. For the sake of correctness of the further analysis, the attributes should be specified and formed each successive row of data in strict order. Such a slight feature of the structure helps the researcher to navigate among the set of textual information, and in further processing the first line can be ignored. Unlike the previous format, the TXT format does not require the formation of the first line of attributes. This complicates the visual perception of the information available. It is not recommended to enter the attributes yourself, in the future, when processing it will affect the correctness of the clustering results in the negative.

Ключові слова: Термінологічні хмари, наукометричні системи, хмари тегів, JSON, HTML, CSV, XLSX, XML, TXT, аналітика великих даних, кластерний аналіз, кластеризація, алгоритм Дейкстри, манхеттенська відстань, відстань міських кварталів, регресійні дерева (CART), евклідова відстань, алгоритм DBSCAN, алгоритм k-means.

Keywords: Terminological clouds, scientometric systems, tag clouds, JSON, HTML, CSV, XLSX, XML, TXT, Data Mining, bag of words, bag of terms, cluster analysis, clustering, Dijkstra's algorithm, Manhattan distance, city block distance, regression trees (CART), Euclidean distance, DBSCAN algorithm, k-means algorithm.

Актуальність теми. В науковій, як і в освітній сфері неможливо впоратись без візуального представлення матеріалу, що досліджується або викладається. Науковці оперують великим набором вихідних даних, або результатів досліджень, які варто кластеризувати і представити у більш адаптованому вигляді. Візуалізація даних є одним з методів опрацювання наукових доробків. Методи візуалізації потрібно впровадити глибше та розширити охоплювані області.

Метою даної роботи є дослідження принципів побудови термінологічних хмар та моделювання системи обробки даних, яка може представити велику кількість даних візуально у вигляді понятійних кластерів або тегових хмарових структур. Система повинна базуватися на досвіді та додатках, які вже використовуються в даній області знань. Окрім того, необхідно змоделювати не лише процес обробки та кластеризації даних, а й способи його візуального представлення.

Візуалізація може бути досягнена шляхом впровадження обробки розрізнених даних для формування термінологічних хмар. Термінологічні хмари являють собою структури схожі на хмари тегів, які часто можна зустріти на веб-ресурсах. Термінологічні хмари є допоміжним інструментом аналізу відносно малих обсягів даних, однак тяжко сприйманих людиною. Перевага таких хмар у меншій кількості ресурсів, необхідних для побудови у порівнянні з повноцінними графічними моделями. Отже, термінологічні хмари є більш доцільним методом візуалізації у сфері навчання та локальних дослідів у малих організаціях. Аби дослідити термінологічні хмари з точки зору принципів їх створення, необхідно розібрати поняття кластерного аналізу даних.



Вибір, які елементи врахувати у формуванні термінологічної хмари, а які пропустити, лежить на користувачеві. Реалізація такої структури включає синтаксичну фільтрацію та опущення непотрібних елементів. Непотрібними елементами можна вважати знаки пунктуації, числа або похідні форми конкретних термінів [1].

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження та моделювання системи обробки даних, яка реалізує алгоритм побудови термінологічних хмар, адаптованої до використання у малих організаціях, учбових установах та з навчальною метою. Система повинна базуватися на досвіді та додатках, які вже використовуються в даній області знань.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і розв'язані наступні задачі: визначити ключові концепції для побудови термінологічних хмар; проаналізувати ключові концепції та відокремити провідний механізм побудови термінологічних хмар; визначити механізми візуалізації для побудови термінологічних хмар; визначити перелік типів файлів та ресурсів на прикладі JSON, HTML, CSV, XLSX, XML, TXT; дослідити можливості форматів та вивчити аналоги; побудувати тестовий файл для завантаження його на ресурс; провести порівняльний аналіз розробленого файлу з аналогічними; обрати найбільш доцільний тип файлу.

1. Теоретичні складові

До базових методів Data Mining відносять алгоритми, засновані на переборі, елементи теорії статистики, основний недолік яких – усереднення значень, яке може привести до втрати інформативності даних [3-4]. А наразі в технології Data Mining використовують методи нечіткої логіки, генетичні алгоритми, нейронні мережі та ін.

Робота [5] від самого початку акцентує увагу читача на тому, що обробка великих даних являє собою велику проблему. Таке ставлення автор пояснює тим фактом, що здатність створювати дані зростає значно швидше ніж здатність їх аналізувати. Комп'ютерні додатки сильніше наближуються до росту об'ємів даних для аналізу. Тенденція до потреби аналітики даних разом із більшою швидкістю обробки привели до виникнення такого поняття як «Аналітика великих даних».

Існують три види задач, які тісно пов'язані з проблемою великих даних. Перша задача полягає у зберіганні та керуванні цими даними. Друга ставить питання про те, як можна організувати неструктуровані дані. Третя є найцікавішою і полягає саме у аналізі великих даних. Як можна на основі Великих Даних будувати прості наочні звіти, будувати та впроваджувати поглиблені прогностичні моделі? У цій самій роботі автор намагається відповісти на поставлені питання. Зокрема, питання аналізу великих даних потребує використання нових технологій комп'ютерної графіки, середовищ віртуальної та доповненої реальності. А тому виникає необхідність проведення поглиблених досліджень не лише з точки зору інформаційних систем та математики, а й у області когнітивної психології. Вивчення особливостей сприйняття інформації людиною дозволить ліпшим чином адаптувати аналітичні системи саме під потреби окремої людини, що дозволить опрацювати більше даних і робити це значно швидше, а отже, і прискорювати технологічний прогрес. Тема когнітивної психології є безумовно цікавою, однак не стосується даного дослідження. З точки зору інформаційних систем можна зробити висновок, що проблема обробки великих даних залишиться невирішеною до кінця доти, доки не з'явиться система, здатна адаптуватися до перманентного збільшення об'єму вхідних даних. Це питання лежить вже у площині штучного інтелекту та на стику біологічної свідомості та кремнієвих обчислювальних потужностей [2].

Ще одна проблема, яка виникає в процесі індексування документів полягає у виборі структури списку ключових слів. Питання полягає в тому, чи повинен такий список складатися виключно з одиночних слів або може включати в себе і складні вирази. Справедливим є факт, що складні вирази краще описують предметну область і досліджуване питання, однак морфологічно обробити такі ключові слова важче. На таку проблему звернув увагу автор у роботі [12] і продемонстрував практичні переваги кластеризації документів на базі ключових словосполучень.

Зазвичай така проблема вирішується використанням засобу аналізу, який засновано на тезаурусі досліджуваної предметної області. Однак такий підхід має великий недолік – з використанням тезаурусу неможливо індексувати тексти вільної тематики. Автор має рацію, однак крім такого зауваження, слід звернути увагу ще й на той факт, що категоризація інформації наукометричних баз даних значно ускладнюється. Це зумовлено тим, що бази містять у собі наукові доробки з різних наукових областей. Наскільки точним буде загальний тезаурус або наскільки релевантною буде така оцінка?

Оскільки слов'янські мови більш варіативні за формами слів, ніж, наприклад, мови германської групи, виникає питання як категоризувати спільнокореневі ключові слова. Одним із варіантів є ведення наукової роботи виключно одною мовою у всій світовій науковій спільноті, однак таке вирішення не є правильним.

Логічно кластеризація текстових даних поділяється на два етапи. На першому етапі текстові представлення документів переводять у векторні, а на другому до отриманих векторних представлень застосовують методи кластеризації, які базуються на пошуку відстані між векторами. У статті [6] автор розглядає такі методи на основі «пакунку слів» (bag of words), «пакунку термінів» (bag of terms), тематичного моделювання, векторних систем, семантичної кластеризації та оглядає міри оцінки ефективності. Досвід автора показує, що найкращим методом кластеризації даних є алгоритм k-means для всіх наборів даних при виконанні деяких умов. Окрім того, автор аналізував кластеризацію на наборах анотацій до наукових публікацій і на повних текстах публікацій, що показало



більшу ефективність у випадку повних текстів. Такий висновок є логічним, адже більше заглиблення в тему дає більше даних для аналізу, а отже кластеризація надасть точніший результат з точки зору глибини вивчення

2. Дослідження проблеми:

Було проаналізовано основні властивості найбільш поширених форматів файлів JSON, XML, HTML, CSV, XLSX, TXT:

JSON – формат, що має структуру ключ-значення. Є найбільш поширеним на сьогодні, широко використовується для обміну даними, у випадках, коли необхідно надіслати запит і отримати відповідь. Наприклад, в обміні REST-запитами. Будь-яка сучасна мова програмування здатна оброблювати такий формат завдяки простоті реалізації. Файли типу JSON також легкі для сприйняття людиною, однак за умов наявності кольорової розмітки. Інакше, редагування файлу значно ускладнюється. До недоліків варто віднести неможливість потокової обробки даних.

XML – формат файлів, заснований на парах тег-значення. Був значно поширений раніше, але зараз з кожним днем все більше витісняється іншими форматами. Це зумовлено наявністю доволі складної граматики мови, яку вже не можна спростити. Головним чином, XML використовують у системах, які були спроектовані і впроваджені на початку століття, через складність перепроєктування. Оскільки, складність синтаксису XML перевищує аналогічний показник JSON, то і швидкість обробки таких файлів менша, що є однією з причин втрати популярності форматом. Формат не відрізняється гнучкістю. Також, до недоліків можна віднести складність редагування та візуального сприйняття людиною і відсутність потокової обробки даних.

HTML являє собою стандартну веб-сторінку. Такий формат майже не використовується для передачі даних, а для обробки такого типу файлів існують веб-браузери.

XLSX заснований на форматі Open XML і за своєю суттю є електронною таблицею. Дані у файлах такого типу прив'язані до комірок, координати яких складаються з номеру рядка та стовпця. Формат використовують у випадках, коли необхідно зберігати саме таблиці з даними, а також для автоматизації розрахунків та спрощеної обробки даних. Для обробки використовуються спеціалізовані офісні програми.

CSV – текстовий файл, у якому міститься таблична інформація. Дуже широко використовується для автоматизованого заповнення даних, виконання операцій на основі певних даних, побудови графіків та інших дій, які імітують користувацьке введення.

На відміну від XLSX такий файл можна продивитися у будь-якому стандартному редакторі без втрати дружнього до користувача вигляду. Рядки таблиці у CSV розділяють переносом на новий рядок, а стовпці – роздільниками, якими можуть слугувати кома, пробіл, табуляція, або крапка з комою. Формат дуже легкий для людського сприйняття, легко редагується, не має жорстких обмежень за суттю. Всі обмеження задає конкретна програма, яка оброблює такий файл.

TXT – файл для зберігання текстових даних. Є найбільш поширеним для зберігання різноманітної інформації. Не має жодних обмежень відносно структури, не має синтаксису. Користувач вільний обирати як такий файл структурувати, що у ньому зберігати та чим оброблювати. Доступний до обробки всіма мовами програмування, а прочитати файли такого формату можна будь-яким текстовим редактором. Недоліком є неможливість автоматизованої структуризації, якщо необхідно зберігати конкретний вид даних, однак за умови уважного підходу до формування та структуризації даних у такому файлі, в даному розширенні можна зберігати будь-яку інформацію так, як зручно користувачеві.

Аби дослідити термінологічні хмари з точки зору принципів їх створення, необхідно розібрати поняття кластерного аналізу даних.

Кластерний аналіз або кластеризація – це задача розбиття множини об'єктів на групи, що називають кластерами. В кожній групі мають опинитися об'єкти найбільш схожі між собою. Так само у різних групах мають опинитися об'єкти найбільш віддалені один від одного.

Однією з цілей кластеризації є знаходження внутрішніх зв'язків між даними шляхом визначення кластерної структури. Це може бути використано для вирішення задачі стиснення даних або виявлення ступеню новизни.

Складність кластеризації та її відмінність від класифікації полягає у тому, що перелік кінцевих груп не заданий наперед, а визначається у ході роботи алгоритму.

Використання кластерного аналізу можна звести до таких етапів [7]:

- Виділення множини об'єктів для кластеризації.
- Виділення множини змінних, за якими об'єкти будуть оцінюватися.
- Виявлення ступені схожості об'єктів між собою.
- Використання методу кластерного аналізу для створення кластерів.
- Представлення результатів роботи.

Постановка задачі:

Нехай множина об'єктів $I = \{x_i\}_{i=1, \dots, n}$, представлених набором атрибутів за формулою (1):

$$x_i = \{t_1^i, t_2^i, \dots, t_m^i\}_{i=1}^n \quad (1)$$



t_v^i де приймає значення із заданої множини T . Задача кластеризації полягає у побудові множини C , представленою формулою (2) і відображення заданої множини об'єктів на множини кластерів.

$$F : \mathcal{J} \rightarrow C \quad (2)$$

Кластер містить об'єкти із загальної множини, схожі між собою за заданим критерієм, що записується формулою (3):

$$x_i \in C_v, x_j \in C_v \Rightarrow d(x_i, x_j) < \varepsilon, \quad (3)$$

де d – ступінь схожості між об'єктами, а ε – найбільше значення порогу, що формує кластер [8].

Аби розв'язати таку задачу потрібно вміти визначати ступінь схожості об'єктів. Для цього необхідно визначити критерії, за якими буде проводитися порівняння – спільні характеристики для всіх об'єктів. Далі ці характеристики потрібно нормалізувати. Аби програма могла обробити вхідну інформацію, потрібно цю інформацію звести до єдиного вигляду. Наприклад, вписати всі дані у певний діапазон величин. І останній етап – знайти «відстань між об'єктами».

Оскільки способів знаходження «відстані» між об'єктами (або ступеня їх відмінності) існує багато, важливо заздалегідь визначити мету кластеризації даних і, в залежності від мети, обрати спосіб знаходження бажаної величини. Серед таких способів варто відзначити нижче приведені.

Вираховується за допомогою формули Піфагора Евклідову відстань, що представляє собою відстань між об'єктами у евклідовому просторі. Іншими словами це відстань між двома об'єктами у тривимірному просторі. Формула являє собою корінь суми квадратів різниці. Математичне представлення записується формулою (4):

$$\sqrt{\sum_{k=1}^n (p_k - q_k)^2} \quad (4)$$

де p та q – точки для яких шукається відстань.

З цим методом можна поєднати і квадрат евклідової відстані. Такий метод обчислення використовують аби надати більшу вагу сильно віддаленим один від одного об'єктам.

Алгоритм Дейкстри для знаходження найкоротшої відстані це алгоритм побудований на теорії графів. Велика перевага даного алгоритму у його наочності. Алгоритм Дейкстри покликаний знайти найкоротшу відстань від однієї вершини графа до всіх інших.

В першу чергу треба створити набори даних пар відстань-«відвідано». Де відстань – натуральне число, а значення відвідуваності є булевим показником. Початкова відстань є нульовою і приймається за поточну. У ході роботи алгоритм ітеративно вимірює відстань між поточним вузлом та сусідами і, якщо нова відстань більше за початкову, поточна відстань оновлюється більшим показником. Ітерація завершується оновленням значення «відвідано». Наступна ітерація починається з вибору нового поточного вузла – з найменшим значенням відстані і нульовим значенням відвідуваності. Знову рахується відстань від поточного вузла до сусідніх, і якщо вона більша за фактичну, значення відстані оновлюється більшим показником. У загальному вигляді алгоритм пошуку найкоротшого шляху можна представити таким чином:

Крок 1. Створити набори даних «відстань» та «відвідано»

Крок 2. Ініціалізувати набори

Крок 3. Обрати початковий вузол і присвоїти йому нульове значення відстані, вважати даний вузол за поточний

Крок 4. Розрахувати відстань від поточного вузла до сусідніх, оновити значення відстані якщо нове значення більше за поточне

Крок 5. Змінити значення «відвідано» для вузла

Крок 6. Змінити поточний вузол на не відвіданий з найменшою відстанню

Крок 7. Повторювати доти, доки всі вузли не стануть відвіданими [9].

Манхеттєнська відстань або відстань міських кварталів. Найчастіше результатом пошуку відстані даним методом стають ті ж величини, що і у випадку використання методу звичайної евклідової відстані, однак вага окремих великих різниць у даній формулі зменшено, адже відстань не підноситься у квадрат. Така відстань являє собою середнє значення різниці координат. Математично записується формулою (5) де p та q – вектори.

$$d_1(p, q) = \|p - q\|_1 = \sum_{i=1}^n |p_i - q_i| \quad (5)$$

Всі алгоритми кластеризації можна класифікувати кількома способами. У першому випадку алгоритми можна поділити на ієрархічні та неієрархічні. Різниця полягає у тому, що ієрархічні алгоритми не враховують кінцевої кількості кластерів, в той час, як неієрархічні одним із вхідних параметрів мають умову зупинки роботи та кількості кластерів. Неієрархічні алгоритми засновані на тезі: зв'язок між ознаками схожості визначається кінцевою кількістю прихованих змінних.



Ієрархічні алгоритми визначають кінцевий результат у ході роботи. У свою чергу, такі алгоритми розділяються на агломеративні та дивізімні. Агломеративні будують кластери за принципом зменшення кількості кластерів шляхом з'єднання схожих елементів. Дивізімні, навпаки, розділяють існуючі великі кластери на менші.

У другому випадку алгоритми поділяються на чіткі та нечіткі. Чіткі алгоритми кожному об'єкту вибірки ставлять у відповідність номер кластеру, тобто кожний об'єкт належить лише одному кластеру. Нечіткі алгоритми кожному об'єкту вибірки ставлять у відповідність сукупність значень, які вказують ступінь відношення об'єкта до кластерів, тобто кожен об'єкт має відношення до кожного кластеру з певною вірогідністю [10].

Варто розглянути деякі алгоритми. Найпопулярнішим є метод k-means, який покликаний опрацювати динамічні дані. Ідея методу полягає у тому, що на початку роботи обирається певна кількість k елементів з початкової множини об'єктів. Потім всі об'єкти розбивають на таку ж кількість груп і знаходять центри знайдених кластерів. Дії повторюються ітераційно, доки не буде досягнуто заданої кількості ітерацій.

Кроки алгоритму можна визначити наступним чином:

Крок 1. Задати кількість груп k, яка відповідає кількості початково обраних елементів. Ці довільні об'єкти стануть центрами кластерів.

Крок 2. Пронумерувати групи за мінімальною нормальною відстанню між об'єктом і центром відповідного кластеру.

Крок 3. Перерахувати центри нових кластерів.

Крок 4. Повторити кроки 2 і 3 доти, доки центри не стабілізують свої значення.

Головна перевага даного алгоритму полягає у його простоті та ефективності. Через простоту обчислень, алгоритм працює досить швидко навіть з великим обсягом даних. До недоліків варто віднести чуттєвість до початкового вибору центральних елементів кластерів, якщо вони підібрані не вірно, результати роботи будуть суттєво спотворені.

Алгоритм DBSCAN. У основі методу лежить об'єднання деяких об'єктів відповідно до їх внутрішньогрупового з'єднання. Аби коректно провести процедуру кластеризації, необхідно задати критерії, у відповідності до яких об'єкти будуть об'єднуватися у кластери.

Для визначення густини об'єктів для певної точки X рішучими відіграють два параметри. Перший параметр це радіус наближеності α , який характеризує ступінь наближеності точки X. Тоді множина сусідніх точок для X включатиме в себе такі точки, де відстань між об'єктами буде менша або дорівнюватиме радіусу наближеності між об'єктами певної вибірки. Математично функція записується формулою (6):

$$\text{dist}(X, f_i) \leq \alpha, \quad (i = \overline{1, n}) \quad (6)$$

де функція $\text{dist}(var1, var2)$ є відстанню між об'єктами вибірки. Дану відстань можна обчислити як евклідову відстань.

Другий параметр це найменша кількість точок, які найближче розташовані до даної точки відповідно радіусу α . Алгоритм виглядає так:

Крок 1. Виділити точки з множини D, які є оточеними.

Крок 2. Для кожної точки визначити:

чи належить дана точка до кластеру

чи є дана точка оточеною точкою

Крок 3. Якщо точка є оточеною, тоді всі об'єкти, які є досяжними, з'єднати у новий кластер. Інакше, якщо точка не є оточеною і не є досяжною від іншої точки, вважати такий об'єкт викидом.

Даний алгоритм на сьогодні є достатньо ефективним і перспективним. До переваг алгоритму можна віднести його нечуттєвість до викидів, це означає, що у процесі кластеризації всі викиди одразу виносять в окремий кластер із заданою заздалегідь позначкою. Окрім того, метод не потребує наперед заданої кількості кластерів і його використання дозволяє опрацювати кластери будь-якої форми. До недоліків можна віднести трудомісткість пошуку необхідних параметрів для коректної роботи алгоритму [11].

На основі отриманих даних було прийнято рішення апробувати модель обраного рішення. З огляду на це, була побудована візуальна модель програмними засобами додатку Orange (рисунок 1).



Рис. 1 – Візуальне представлення моделі обраного рішення

Дана модель відображує дії та структури даних, над якими вони будуть здійснюватися. Після того, як вхідні дані буде зчитано, вони направляються до вихідного каналу. Модель здатна зчитувати дані форматів XLSX, TXT, CSV.

3. Проектування системи

Термінологічні хмари аналогічні за принципом побудови до звичних всім тегових хмар, які часто зустрічаються на веб-ресурсах. Відмінність полягає у природі вхідних даних. Для даного проекту доцільним є використання алгоритму



k-means для обробки вхідних даних, оскільки алгоритм є достатньо швидким для досягнення поставленої у завданні мети і одночасно сбалансованим з точки зору трудомісткості.

Варто описати процес створення термінологічної хмари:

1) Задати кількість бажаних кластерів.

2) Для кожного кластеру визначити центр мас, або ключове слово, навколо котрого будде створюватися кластер. У даному випадку таким центром буде виступати частота зустрічності терміну серед ключових слів у наукових публікаціях.

3) Розрахувати відстань від кожного центру мас до кожного терміну з використанням функції евклідової відстані.

4) Сгрупувати терміни у кластери. Тобто, визначити який кластер є найближчим до певного терміну та додати даний термін у відповідний кластер.

5) Перерахувати центри мас для стабілізації кластеру. Для цього потрібно визначити середнє значення частоти використання тих термінів, які увійшли до кластеру.

6) Пропускати кластери, до яких не увійшов жоден термін.

7) Ітеративно повторювати дії до моменту, коли центри мас перестануть змінюватися.

У загальному випадку ступінь розповсюдженості терміну у вхідному наборі даних сильно впливає на вагу терміна в кінцевій хмарі. Якщо взяти за приклад наукову публікацію, частота терміну відповідатиме кількості вживання терміну та його похідних форм у роботі. На основі такої характеристики формують набір ключових слів для кожної публікації.

Так, на малих наборах даних кількість врахованих елементів зростає відповідно до експоненційного закону розподілення. Якщо розмір вхідного набору зростає, є сенс використати логарифмічне представлення.

Вибір, які елементи врахувати у формуванні термінологічної хмари, а які пропустити, лежить на користувачеві. Реалізація такої структури включає синтаксичну фільтрацію та опущення непотрібних елементів. Непотрібними елементами можна вважати знаки пунктуації, числа або похідні форми конкретних термінів. У рамках даної роботи всі такі елементи не приймають участі у розрахунках.

4. Результати проведеного експерименту

У ході дослідження було встановлено оптимальний формат для зберігання вхідних даних і завантаження їх у програмний додаток для обробки. Серед більшості найчастіше використовуваних форматів для зберігання і передачі даних, було обрано два як найбільш доцільні, а саме формати CSV та TXT. Такий вибір зумовлено простотою створення, обробки та редагування. Такі файли не потребують спеціального ПЗ, а форматування даних проводити простіше, оскільки відсутні строги синтаксичні обмеження.

Другим етапом було виявлено два підходи до реалізації візуального представлення розрізнених текстових даних у вигляді термінологічних хмар або термінологічних кластерів.

Перший підхід полягає у використанні веб-додатків на базі алгоритмів кластеризації k-means або k-середніх. Такі веб-додатки здатні формувати термінологічні хмари, або тегові хмари, або кластерні представлення на основі окремих слів.

Робота таких веб-додатків базується на виокремленні найбільш уживаних слів впродовж аналізованого тексту. Частота вживання візуально відображується розміром шрифту написання слова у вихідній хмарі. Для дослідження провідної тематики тексту такого аналізу достатньо. Недоліком такого підходу є неможливість його використання для більш поглибленого аналізу. Оскільки такі системи дають лише асоціативний наближений результат.

Для визначення зв'язків між кластерами варто використовувати другий з виявлених підходів. Такий підхід базується на використанні спеціалізованого ПЗ, яке здатне на основі вхідних даних не лише формувати кластери, а й встановлювати зв'язки між ними. Окрім того, таке ПЗ враховує особливості сприйняття інформації людиною і здатне формувати візуалізоване представлення у вигляді кольорових плям, або так званих мап щільності.

Останній підхід ефективно себе проявляє для обробки відносно великих, і не пов'язаних спільною тематикою, наборів даних. Більш розширений функціонал та засоби налаштування дають досліднику змогу обирати параметри, за якими буде проведено аналіз, кількість вихідних кластерів тощо. Суттєвою перевагою перед використанням відносно простих веб-додатків на базі алгоритмів k-середніх є можливість формувати кластери, спираючись не лише на слова, а й на словосполучення. У подальшому це надає змогу проводити більш точний та поглиблений аналіз предметної області.

5. Наукова новизна проекту

Для досягнення поставленої мети було визначено ключові концепції для побудови термінологічних хмар. Проаналізовано ключові концепції та виокремлено провідний механізм побудови термінологічних хмар. Також було визначено механізми візуалізації для побудови термінологічних хмар. Дослідження саме візуалізації даних необхідно для кращого розуміння оптимальної побудови структури. Дана задача включала в себе і дослідження особливостей сприйняття інформації, спрямованість на які дозволить налаштувати систему у відповідності до потреб цільової аудиторії.

Для підготовки до практичної реалізації було визначено перелік типів файлів та ресурсів на прикладі JSON, HTML, CSV, XLSX, XML, TXT. Для коректної постановки експерименту, вхідні дані необхідно було зберігати або добувати



динамічно. Оскільки, динамічний спосіб добування даних переважує систему, формувати початковий набір даних було вирішено сторонньо.

За результатами дослідження можна стверджувати, що найбільш придатними до швидкої обробки неструктурованих даних є файли у форматі CSV та TXT. Різниця у швидкості обробки є несуттєвою.

Список використаних джерел

- [1] Современные методы создание мультипредметных веб-ресурсов на базе визуализации и обработки формализованной семантики / В. В. Диковицкий, П. А. Ломов, Р. Р. Сепеда-Еррера, М. Г. Шишаев. // *Вісник Кольського наукового центру РАН*. – 2011. – С. 63–73.
- [2] Кислова О. Н. Интеллектуальный анализ данных: история становления термина / О. Н. Кислова. // *Український соціологічний журнал*. – 2011. – №1. – С. 83–94.
- [3] Нечипорук Д. В. Особенности технологии Data Mining / Д. В. Нечипорук. – 2017. – №1.
- [4] Барсегян А. А. Анализ данных и процессов / А. А. Барсегян. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с.
- [5] Malyarova M. Analysis and visualization "Big Data": why "Big data" is a "Big Problem"? / Maria Malyarova. // *International Scientific review*. – 2016. – С. 66–68.
- [6] Пархоменко П. А. Обзор и экспериментальное сравнение методов кластеризации текстов / П. А. Пархоменко, А. А. Григорьев, Н. А. Астраханцев. // *Труды института системного программирования РАН*. – 2017. – С. 161–188.
- [7] Библиометрические инструменты в помощь исследователю. Ключевые слова. Часть третья: VOSviewer [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://www.eco-vector.com/single-post_lutay4.
- [8] Clusterization [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/cluster/index.html>.
- [9] David P. Graphs & Paths: Dijkstra. [Электронный ресурс] / Pynes David. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://towardsdatascience.com/graphs-paths-dijkstra-4d8b356ad6fa>.
- [10] Обзор алгоритмов кластеризации данных [Электронный ресурс]. – 2010. – Режим доступа до ресурсу: <https://habr.com/ru/post/101338/>.
- [11] Чапланов А. П. Кластеризация с помощью алгоритмов DBSCAN / А. П. Чапланов, О. Б. Чапанова. // *Системы обработки информации*. – 2006. – №9. – С. 82–85.
- [12] Баракхнин В. Б. Кластеризация текстовых документов на основе составных ключевых термов / В. Б. Баракхнин, Д. А. Ткачев. // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии*. – 2010.

References

- [1] V. V. Dykovytskyi et al., “Sovremennyye metody sozdanye mul’typredmetnykh veb-resursov na baze vyzualyzatsyy y obrabotky formalizovannoy semantyky,” (in Russian) *Visnyk Kol’s’koho naukovoho tsentru RAN*, pp. 63–73, 2011
- [2] O. N. Kyslova, “Intellektual’nyi analiz dannykh: istoriia stanovleniia termina,” (in Ukrainian) *Ukrayins’kii sotsiologichnyi zhurnal*, no. 1, pp. 83–94, 2011.
- [3] D. V. Nechyporuk, “Osobennosti tekhnolohii Data Mining,” *Molodoi issledovatel Dona*, no. 1(4), 2017.
- [4] A. A. Barsehyan, *Analiz dannykh i protsessov*, (in Russian), Sankt-Peterburh, Russia: BKhV-Peterburh, 2009, 512 p.
- [5] M. Malyarova, “Analysis and visualization "Big Data": why "Big data" is a "Big Problem"?,” *International Scientific review*, pp. 66–68, 2016.
- [6] P. A. Parkhomenko et al., “Obzor i eksperimentalnoe sravnienie metodov klasterizatsi tekstov,” *Trudy instituta sistemnogo programmirovaniia RAN*, pp. 161–188, 2017.
- [7] *Bibliometricheskie instrumenty v pomoshch issledovateliiu. Kliuchevye slova. Chast tretia: VOSviewer* (2018) [Online]. Available: https://www.eco-vector.com/single-post_lutay4.
- [8] *Clusterization* [Online]. (Dniprovsk State Technical University). Available: <http://pzs.dstu.dp.ua/DataMining/cluster/index.html>.
- [9] P. David. (2018). *Graphs & Paths: Dijkstra* [Online]. Available: <https://towardsdatascience.com/graphs-paths-dijkstra-4d8b356ad6fa>.
- [10] *Obzor algoritmov klasterizatsii dannykh*. (2010). [Online]. Available: <https://habr.com/ru/post/101338>.
- [11] A. P. Chaplanov and O. B. Chaplanova., “Klasterizatsiia s pomoshchiu algoritmov DBSCAN,” *Sistemy obrobky informatsii*, no. 9, pp. 82–85, 2006.
- [12] V. B. Barakhnyin and D. A. Tkachev, “Klasterizatsia tekstovykh dokumentov na osnove sostavnykh kliuchevykh termov,” (in Russian), *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. Seryya: Informatsionnye tekhnologii, 2010.



УДК 004.896

АНАЛІЗ СТІЙКОСТІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НА БАЗІ ДВОКАНАЛЬНОГО НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Новіков П. В.¹, Штіфзон О. Й.²

^{1,2}Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"; м. Київ, пр. Перемоги, 37

ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0002-2790-5809>, ² <http://orcid.org/0000-0003-0011-4617>

E-mail: ¹ p.novikov@kpi.ua, ² oshtifzon@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1700>

Анотація. В статті розглянуто підхід аналізу стійкості нелінійної систем керування, що базується на нечіткій логіці. Метою статті є аналіз існуючих методів дослідження нелінійних інтелектуальних систем керування, що базуються на апараті теорії нечітких множин; розробка методики аналізу стійкості системи керування, що базується на двоканальному нечіткому регуляторі; дослідження стійкості системи автоматичного регулювання температурного режиму котлоагрегату ТЕС, побудованої на основі двоканального нечіткого регулятора. Проведено аналіз існуючих проблем і методів дослідження нечітких систем керування. Для нечітких регуляторів загальноприйнятих, універсальних методів перевірки стійкості не виявлено. Існуючі методи аналізу нечітких систем керування не надають обґрунтування стійкості, а лише забезпечують можливість перевірки працездатності за існуючих збурень, вихідних сигналів тощо. Для аналізу стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором розроблено методику, що ґрунтується на приведенні нелінійної системи до еквівалентної адаптивної системи з підлаштуванням параметрів лінійного регулятора. Обґрунтовано можливість представлення схеми двоканального нечіткого регулятора як еквівалентної до адаптивного І- або ПІ-регулятора. Отримано аналітичні залежності між вихідними параметрами двоканального нечіткого регулятора і налаштуваннями ПІ-регулятора. Для всього діапазону зміни вхідних параметрів двоканального нечіткого регулятора згідно отриманих залежностей визначені комбінації налаштувань еквівалентного ПІ-регулятора. Розраховані запаси стійкості системи керування для всіх ділянок перехідного процесу системи регулювання температурного режиму прямоточного котлоагрегату в усьому діапазоні зміни навантаження енергоблоку. Визначені ділянки перехідного процесу, на яких система керування працює за межею стійкості, забезпечуючи при цьому збільшення швидкості реакції на збурення порівняно зі стандартним ПІД-регулятором з фіксованими налаштуваннями.

Abstract. The article deals with the approach of stability analysis of nonlinear control systems based on fuzzy logic. The purpose of the article is to analyze the existing methods of investigation of nonlinear intelligent control systems based on the fuzzy set theory; development of a methodology for analysis of stability of a control system based on a two-channel fuzzy controller; study of the stability of the control system of the temperature mode of the boiler unit of the TPP, built on the basis of a two-channel fuzzy controller. The analysis of existing problems and methods of investigation of fuzzy control systems is carried out. For fuzzy controllers conventional and universal methods of stability analysis have not been found. Existing methods of fuzzy control systems analysis do not provide a justification for stability, but only provide the ability to test the performance of existing disturbances, output signals, etc. To evaluate the stability of a system with a two-channel fuzzy controller, a methodology has been developed that is based on presenting the nonlinear system to an equivalent adaptive system with adjusting the parameters of the linear controller. The possibility of presenting a two-channel fuzzy controller circuit as equivalent to an adaptive Integral or PI controller is substantiated. Analytical dependencies between the output parameters of the two-channel fuzzy controller and the settings of the PI controller were obtained. For the whole range of change of input parameters of the two-channel fuzzy controller, according to the obtained equations, combinations of settings of the equivalent PI controller are determined. The stability margins of the control system for all sections of the transient process of the temperature control system of the direct-flow boiler unit in the whole range of load changes of the power unit are calculated. The areas of transient processes on which the control system operates beyond stability are determined. At the same time system increases the rate of disturbance response compared to a standard fixed-tuned PID controller.



Ключові слова: стійкість, нечітка логіка, адаптація, система керування.

Key words: stability, fuzzy logic, adaptation, control system.

Вступ

Забезпечення стійкості систем зі зворотним зв'язком є одним з фундаментальних завдань побудови системи керування. Тільки система, що задовольняє певним технологічним критеріям стійкості дозволяє досягати поставленої мети керування. Наприклад, швидке реагування на довільні збурення або швидке досягнення заданого режиму роботи об'єкта. Ці вимоги в рівній мірі відносяться і до систем з fuzzy-регуляторами.

При застосуванні fuzzy-керування, особливо на об'єктах, що мають підвищені вимоги до безпеки та надійності функціонування, необхідна ретельна оцінка стійкості в усій області змін координат системи. Таким чином дослідження і забезпечення стійкості систем з fuzzy-керуванням є обов'язковою задачею. Необхідною базою для перевірки стійкості системи є наявність достатньо точних математичних моделей об'єкта керування [1].

Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для нечітких регуляторів загальноприйнятих, універсальних методів перевірки стійкості на сьогоднішній день не існує, але є спроби адаптації класичних аналітичних підходів [2]. Основна складність аналітичного дослідження стійкості нечітких регуляторів полягає в їх суттєвій нелінійності, неможливості лінеаризації. У тому випадку, якщо математична модель об'єкта управління відсутня, говорити про проведення теоретичного дослідження системи управління взагалі немає сенсу.

Розглянуті в роботі [2] методи аналізу нечітких систем управління мають істотні недоліки, в більшості своїй не дають суворого обґрунтування стійкості, а скоріше забезпечують можливість перевірки працездатності, коли точно відомі початкові умови, збурення та вхідні впливи на систему.

У разі непридатності аналітичних методик можливим рішенням може стати застосування емпіричних, експериментальних підходів. Їх основна ідея полягає в необхідності синтезу і подальшого комп'ютерного аналізу нечітких моделей об'єкта управління і регулятора. Застосування сучасної обчислювальної техніки, програмних пакетів моделювання, таких як MATLAB, дозволяє вести всебічний аналіз складних багатовимірних систем, незалежно від числа сигналів, що на них впливають [3, 4].

Недоліком емпіричних методів є істотна складність або неможливість узагальнення отриманих на їх основі результатів. Вони просто підтверджують стійкість системи для конкретних умов, які розглядаються в ході моделювання [4].

Пошук методів, що дозволяють проводити дослідження стійкості систем управління на основі апарату нечіткої логіки, ведеться давно, але більшість способів є адаптацією методів дослідження стійкості з класичної теорії управління.

Метою дослідження є розробка прийнятної і відносно простої методики аналізу стійкості системи керування, що базується на двоканальному нечіткому регуляторі.

Аналіз структурної схеми двоканального нечіткого регулятора

Для аналізу стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором (рис. 1) в роботі [5] запропоновано методику, що дозволяє адаптувати методи оцінки стійкості з лінійної теорії автоматичного керування.

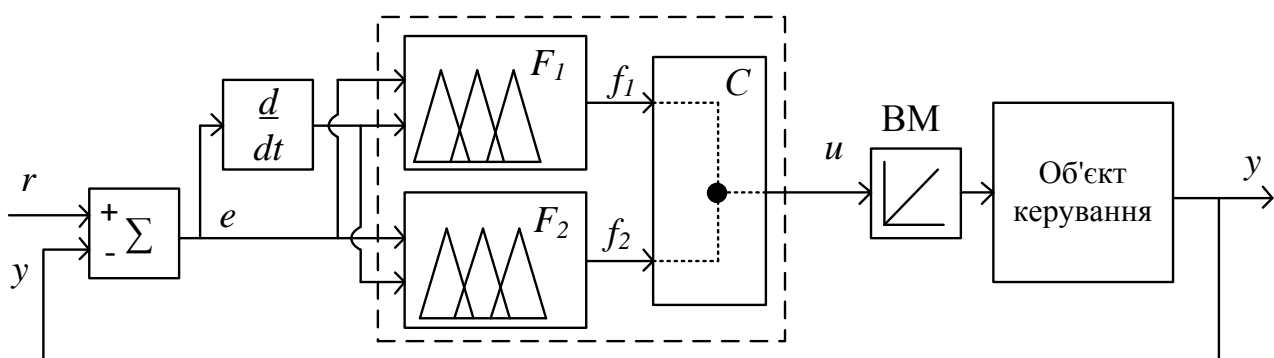


Рис. 1 – Схема з двоканальним нечітким регулятором

При надходженні на входи двоканального нечіткого регулятора сигналу неузгодженості e на виході блоку імпульсів F_1 сформується сигнал керування, який виражається тривалістю імпульсу керування τ_{imp} . Аналогічним чином сформується сигнал тривалості пауз τ_{pause} . При сталості вхідного сигналу e тривалість імпульсів і пауз також буде незмінною, що показано на графіку залежності $\tau(t)$. В такому випадку сигнал на виході інтегратора буде мати поступово наростаючий вигляд, як це показано на графіку $u(t)$ рис. 2. Штрихова похила лінія відображає усереднення ступінчатого вихідного сигналу інтегратора.

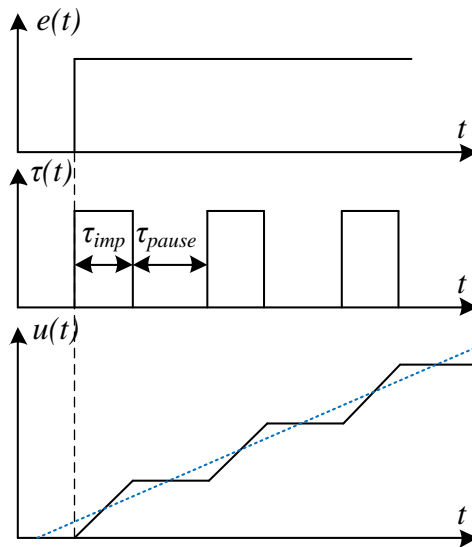


Рис. 2 – Формування вихідного сигналу нечіткого регулятора

Таким чином схему з двоканальним нечітким регулятором, в більшості випадків, з достатньою точністю, можна звести до одноконтурної схеми регулювання з інтегральним регулятором, в якій коефіцієнт підсилення є змінним параметром залежно від вхідних сигналів.

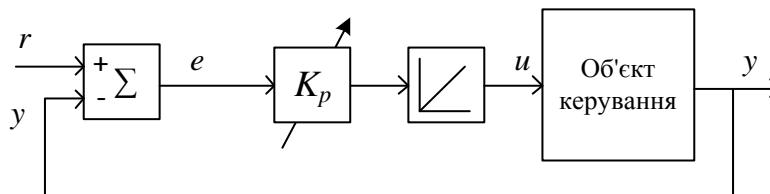


Рис. 3 – Схема керування зі змінним коефіцієнтом підсилення регулятора

Структури з підлаштуванням одного або декількох параметрів залежно від зовнішніх факторів правомірно відносити до адаптивних систем керування [6]. На рис. 4 наведена схема, яка пояснює, яким чином відбувається автопідлаштування коефіцієнту підсилення K_p інтегрального регулятора.

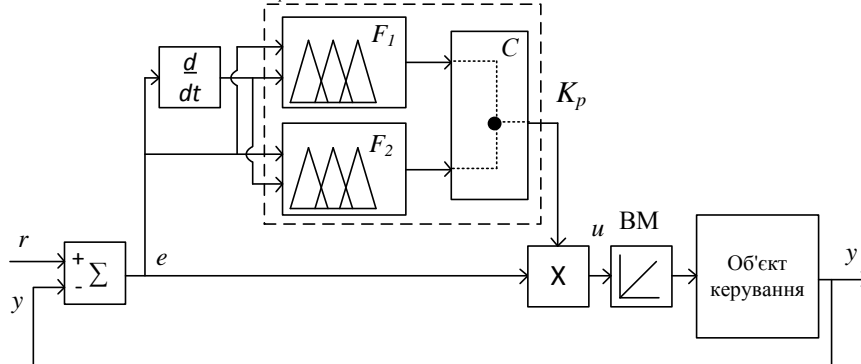


Рис. 4 – Схема з адаптивним підлаштуванням коефіцієнту підсилення регулятора

В ній як ланка інтегрування виступає виконавчий механізм зі своєю сталою часу інтегрування, а швидкість зміни положення регульовального органу можна змінювати за рахунок зміни коефіцієнту підсилення K_p . Залежно від сигналу помилки e , швидкості його зміни de/dt і бази правил fuzzy-блоків адаптації F_1 і F_2 коефіцієнт K_p змінюється від деякого максимального значення K_{pmax} до нуля.

Апроксимація вихідного сигналу двоканального нечіткого регулятора

Для оцінки стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором необхідно визначити, при яких значеннях вхідних змінних комбінація імпульсу і паузи будуть давати найбільше сумарне переміщення виконавчого механізму. Відповідно до рис. 5 комбінація імпульсів і пауз буде формувати ступінчатий сигнал керування, який буде характеризуватися найбільшою швидкістю наростання.

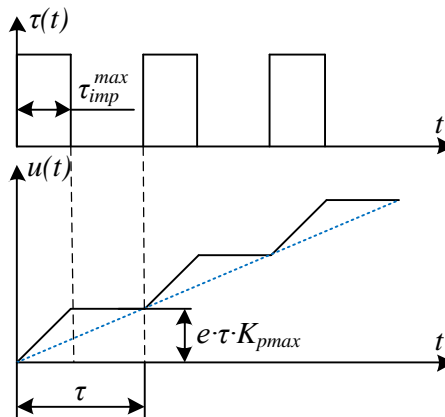


Рис. 5 – Еквівалентність вихідних сигналів інтегрального регулятора і нечіткого регулятора

Еквівалентним цьому сигналу є сигнал у вигляді прямої, кут нахилу якої визначається величиною сигналу неузгодженості e і значенням параметра K_p^{max} інтегрального регулятора. Задача оцінки стійкості зводиться до визначення критичного параметра K_p^{kp} , при якому система виходить на границю стійкості і порівняння цього параметра з K_p^{max} .

Для визначення критичного значення K_p^{kp} зручно користуватися частотним критерієм якості, що визначає запас стійкості системи автоматичного керування за підсиленням Gm (Gain margin) [7, 8]:

$$Gm = \frac{1}{|W_{PC}(\omega_\pi)|} \quad (1)$$

де $|W_{PC}(\omega_\pi)|$ – модуль АФЧХ розімкнутої системи на частоті, що відповідає куту 180° повороту вектора АФЧХ.

Якщо значення модулю АФЧХ $|W_{PC}(\omega_\pi)|$ визначати при $K_p=1$, то критичне значення K_p^{kp} буде дорівнювати запасу стійкості за підсиленням Gm :

$$K_p^{kp} = Gm = \frac{1}{|W_{PC}(\omega_\pi)|_{K_p=1}} \quad (2)$$

Система з двоканальним нечітким регулятором може вважатися стійкою в усьому діапазоні вхідних змінних, якщо максимальна швидкість наростання сигналу керування є меншою, ніж швидкість наростання сигналу керування інтегрального регулятора з параметром K_p^{kp} (див. рис. 6).

Відповідно, якщо швидкість наростання сигналу керування є більшою, ніж у еквівалентної схеми з інтегральним регулятором, то система в цьому діапазоні вхідних змінних вже працює за межею стійкості.

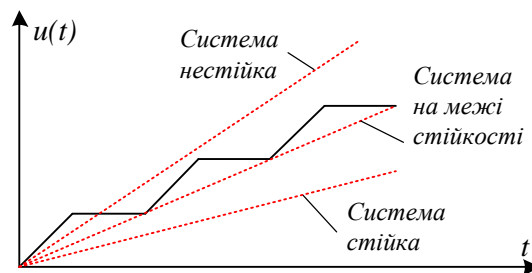


Рис. 6 – Сигнал керування двоканального нечіткого регулятора (суцільна лінія), сигнал керування інтегрального регулятора на межі стійкості (пунктирна лінія)

Якщо швидкість наростання сигналу керування співпадає з швидкістю зміни сигналу керування еквівалентної схеми з інтегральним регулятором, то система в цьому діапазоні вхідних змінних працює на межі стійкості.

Недоліком апроксимації вихідного сигналу двоканального нечіткого регулятора перехідною характеристикою інтегрального регулятора є те, що вихідний сигнал нечіткого регулятора апроксимується прямою, яка проходить по "нижнім" крайнім точкам. Це є причиною уповільнення реакції еквівалентного регулятора, що показано в [5].

Більш точним наближенням вихідного сигналу двоканального нечіткого регулятора є вихідний сигнал ПІ-регулятора, замість І-регулятора (рис. 7). В цьому випадку також однозначно можна визначити параметри налаштування регулятора K_{PI} і T_{PI} .

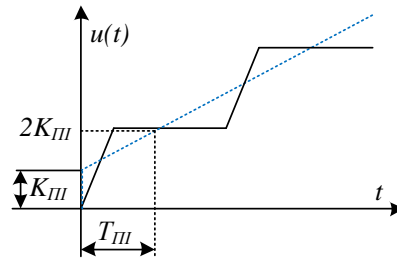


Рис. 7 – Апроксимація вихідного сигналу нечіткого регулятора сигналом ПІ-регулятора, K_{III} – коефіцієнт підсилення регулятора, T_{III} – стала часу інтегрування

Для цього вихідний сигнал двоканального нечіткого регулятора слід апроксимувати лінійною залежністю,

$$y = ax + b \quad (3)$$

яку зручно визначити за допомогою методу найменших квадратів. Для розрахунку коефіцієнтів рівняння (3) достатньо чотирьох точок, які однозначним чином визначаються за значеннями тривалості імпульсу і паузи (рис. 8).

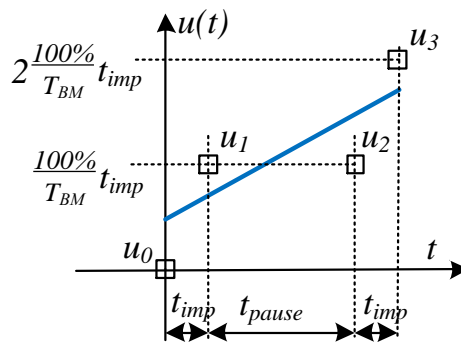


Рис. 8 – Апроксимація вихідного сигналу нечіткого регулятора методом МНК

Коефіцієнти рівняння (3) визначаються за наступними формулами:

$$a = \frac{\sum_{i=0}^3 t_i \sum_{i=0}^3 u_i - 4 \sum_{i=0}^3 u_i t_i}{\left(\sum_{i=0}^3 t_i\right)^2 - 4 \sum_{i=0}^3 t_i^2} \quad (4)$$

$$b = \frac{\sum_{i=0}^3 t_i^2 \sum_{i=0}^3 u_i - \sum_{i=0}^3 t_i \sum_{i=0}^3 u_i t_i}{4 \sum_{i=0}^3 t_i^2 - \left(\sum_{i=0}^3 t_i\right)^2} \quad (5)$$

При структурі ПІ-регулятора:

$$W_p(s) = K_{III} \left(1 + \frac{1}{T_{III}s}\right) \quad (6)$$

налаштування ПІ-регулятора розраховуються як:

$$K_{III} = \left| \frac{b}{e} \right| \quad (7)$$

де e – значення сигналу неузгодженості, для якого проводиться розрахунок,

$$T_{III} = \left| \frac{1}{\frac{a}{K_{III}e}} \right| \quad (8)$$

Таким чином, для всього діапазону вхідних змінних можна розрахувати налаштування ПІ-регулятора, після чого не важко визначити необхідні характеристики системи керування, наприклад, запас стійкості за модулем Gm .



Дослідження стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором

На рис. 9а-9в наведені значення запасів стійкості за модулем для системи регулювання температурного режиму прямоточного котлоагрегату потужністю 300 МВт. Система регулювання побудована на базі двоканального нечіткого регулятора, тому для дослідження стійкості використана вище викладена методика. Рисунки 9а-9в зображують контури поверхонь, які визначаються залежністю:

$$Gm = f\left(e, \frac{de}{dt}, N\right) \quad (9)$$

де Gm – запас стійкості за підсиленням; e – сигнал неузгодженості, de/dt – похідна від сигналу неузгодженості, N – поточне навантаження енергоблоку.

Для різних навантажень енергоблоку визначені робочі діапазони зміни вхідних параметрів системи. При навантаженні 300 МВт (рис. 9а) похідна від сигналу неузгодженості змінюється в діапазоні -0.06 °C/секунду до $+0.06$ °C/секунду. При середньому значенні навантаження 265 МВт (рис. 9б) похідна від сигналу неузгодженості змінюється в діапазоні -0.2 °C/секунду до $+0.2$ °C/секунду, що пояснюється зміною динамічних властивостей контурів регулювання [9, 10]. При мінімальному значенні навантаження 225 МВт (рис. 9в) похідна від сигналу неузгодженості змінюється в найширшому діапазоні -0.3 °C/секунду до $+0.3$ °C/секунду.

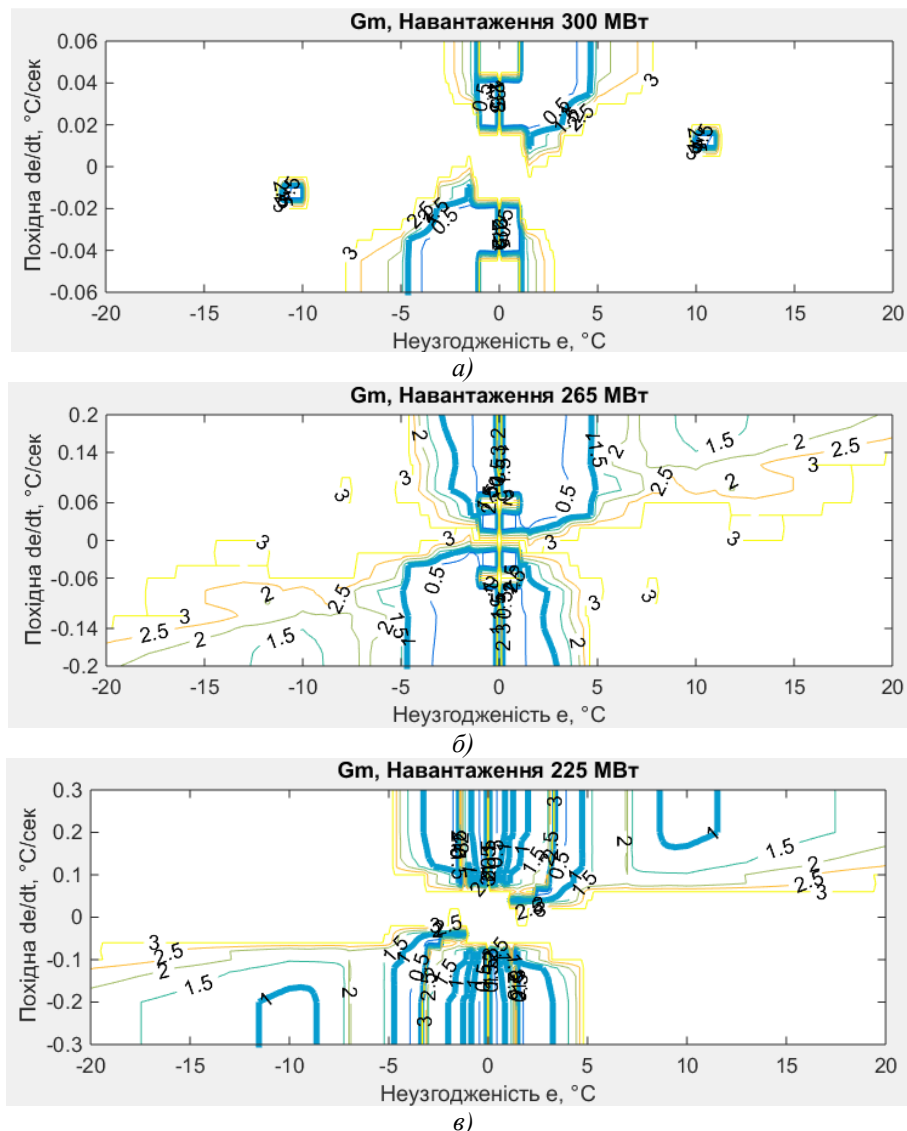


Рис. 9 – Контури поверхонь запасів стійкості за модулем Gm системи з двоканальним нечітким регулятором а) навантаження 300 МВт, б) навантаження 265 МВт, в) навантаження 225 МВт

Значення $Gm=1$ (жирний контур синього кольору) означає, що система знаходиться на межі стійкості, при $Gm<1$ система є нестійкою. Контури при $Gm>3$ не зображені. Такі значення відповідають надмірним запасам стійкості, тому



вони не наводяться, щоб не завантажувати рисунок зайвою інформацією. На рис. 9 наглядно зображено, в яких діапазонах регулятор має форсовані налаштування. Особливу цікавість на даних поверхнях викликають ділянки значень Gm при однознакових значеннях сигналів e та de/dt , які відповідають фазі відхилення технологічного параметра від уставки. Завдяки форсованим налаштуванням нечіткого регулятора досягається збільшення швидкості реакції системи керування на збурення порівняно зі стандартним ПІД-регулятором з фіксованими налаштуваннями (рис. 10). При зміні знаку першої похідної de/dt , тобто коли технологічний параметра прямує до значення уставки, налаштування нечіткого регулятора змінюються на більш "грубі" для уникнення появи автоколивань, забезпечуючи стійкість системи керування. Дане дослідження стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором яскраво демонструє гнучкість двоконтурної схеми регулятора при формуванні сигналу керування на об'єкт. Вона дозволяє розмежувати задачі форсованого керування на початковій фазі перехідного процесу і стабілізації вихідної величини на завершальній стадії.

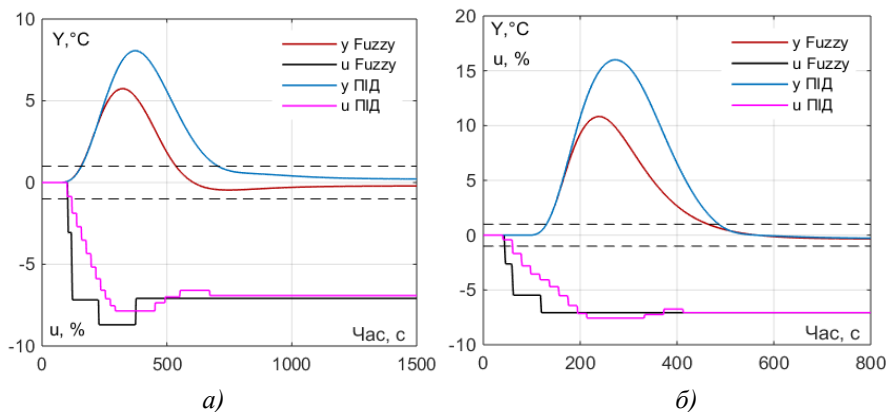


Рис. 10 – Перехідні процеси системи регулювання температурного режиму
а) при навантаженні 300 МВт, б) при навантаженні 225 МВт

у Fuzzy - перехідний процес в системі з двоканальним нечітким регулятором, u Fuzzy – сигнал керування в системі з двоканальним нечітким регулятором, у ПІД - перехідний процес в системі з ПІД-регулятором, u ПІД- сигнал керування в системі з ПІД-регулятором

Висновки

1. Запропоновано методику аналізу стійкості системи автоматичного керування з двоканальним регулятором. Обґрунтовано можливість представлення схеми з двоканальним нечітким регулятором як еквівалентної схеми з адаптивним І- або ІІІ-регулятором. Розроблено аналітичні залежності між вихідними параметрами двоканального нечіткого регулятора і налаштуваннями ІІІ-регулятора.

2. Для системи з адаптацією налаштувань регулятора розроблено підхід аналізу стійкості, який ґрунтується на тому, що в основному контурі регулювання відсутні нелінійні елементи. При такому припущенні для кожної комбінації налаштувань регулятора систему керування можна розглядати як лінійну. Це в свою чергу дозволяє застосовувати класичні методи аналізу стійкості з лінійної теорії автоматичного керування.

3. Розроблена методика аналізу стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором яскраво демонструє гнучкість двоконтурної схеми регулятора при формуванні сигналу керування на об'єкт. Застосування двоканального нечіткого регулятора дозволяє розмежувати задачі форсованого керування на початковій фазі перехідного процесу і стабілізації вихідної величини на завершальній стадії. Запропонована методика аналізу стійкості не надає однозначної відповіді про стійкість системи керування в цілому, а є точковим рішенням. Більш повний аналіз стійкості системи з двоканальним нечітким регулятором в цілому може бути отриманий за допомогою імітаційного моделювання.

Список використаних джерел:

- [1] Архангельський В., Богаенко І., Грабовський Г., Рюмшин Н. Системи функції-управління. Київ, 1997. 208 с.
- [2] Белоглазов А., Косенко Ю. Анализ методов устойчивости нечетких систем управления. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2013. № 2(139). С. 127-132.
- [3] Манчук Д., Черный С. Анализ устойчивости нечетких систем управления в малом, большом, в целом. *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 5 Ч.1. С. 74-75.
- [4] Ладанюк А., Власенко Л., Луцька Н., Смітюк Я. Проблема забезпечення стійкості інтелектуальних систем керування технологічними об'єктами. *Наукові праці НУХТ*. 2019. Том 25, № 2. С. 7—15. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-2-3>.
- [5] Новіков П. В. Автоматизація процесів керування інерційними контурами котлоагрегата теплової електростанції з використанням двоканального нечіткого контролера: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.07 / Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Київ, 2019. 191 с.



- [6] Штіфзон О., Новіков П., Баган Т. Розробка адаптуючого fuzzy-logic пристрою для керування в умовах параметричної нестационарності. *Східно-європейський журнал передових технологій*. Харків, 2018. Том 1 № 2. С. 30-37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121749>.
- [7] Michael Mulholland. *Applied Process Control: Essential Methods* 1st Edition. 2016. p. 460.
- [8] Åström KJ, Hägglund T. *Advanced PID Control*. ISA - The Instrumentation, Systems and Automation Society. 2006. p. 460
- [9] Коновалов М.А., Бунке А.С. Основы новой стратегии синтеза систем оптимального управления. Киев, 2014. 280 с.
- [10] Kovrigo Yu., Konovalov M., Bunke A. Modernizing the heat load control system of a oncethrough boiler unit at a thermal power station using a dynamic corrector. *Thermal Engineering*. 2012. № 59(10). P. 772–778. <https://doi.org/10.1134/S0040601512100072>.

References:

- [1] V. Arkhangelsky et al., *Fuzzy-control systems*. Kiev, 208 p., 1997.
- [2] A. Beloglazov and Yu. Kosenko, “Study of stability of fuzzy management systems,” in *Izvestiya SFEDU. Engineering Sciences*, no. 2(139), pp. 127-132, 2013.
- [3] D. Manchuk and S. Chernyi, “Stability analysis of fuzzy control systems in a small, large, as a whole,” in *Modern High Technologies*, no. 5 (1), pp. 74-75, 2014. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=33710> (Accessed: 29.05.2020)
- [4] A. Ladanyuk et al., “The problem of ensuring the stability of intelligent control system of technological objects,” in *Scientific Works of NUFT*, vol. 25, iss. 2, pp. 7-15, 2019. doi: <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2019-25-2-3>.
- [5] P. Novikov, “Control processes automation of thermal power plant unit inertial channels using a two-channel fuzzy controller,” Ph.D. dissertation, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine, 2019.
- [6] O. Shtifzon et al., “Development of the adaptive fuzzy-logic device for control system in conditions of parametric non-stationary plant,” in *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/2 (91), pp. 30-37, 2018. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.121749>.
- [7] M. Mulholland. *Applied Process Control: Essential Methods*, 1st ed., 2016, 460 p.
- [8] K.J. Astrom and T. Hagglund “Advanced PID Control,” in *The Instrumentation, Systems and Automation Society*, p. 460, 2006.
- [9] M. Konovalov and A. Bunke, *Fundamentals of a new strategy for the synthesis of optimal control systems*. Kyiv, 2014, 280 p.
- [10] Yu. Kovrigo et al., “Modernizing the heat load control system of a oncethrough boiler unit at a thermal power station using a dynamic corrector,” *Thermal Engineering*, vol. 59, pp. 772–778, Sep. 2012. doi: <https://doi.org/10.1134/S0040601512100072>.

УДК 681.513;62.505;621.9.04

PASSIVE IDENTIFICATION OF MULTIVARIABLE STABILIZATION SYSTEM ELEMENTS' DYNAMICS

Osadchy S. I.¹, Zozulia V. A.²

^{1,2} Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

ORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0002-1811-3594>, ² <https://orcid.org/0000-0003-3793-4686>

E-mail: ¹ srg2005@ukr.net, ² irish38@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1701>



Abstract. *Topicality. Increasing domestic automatic control systems competitiveness requires the design work intensification based on the implementation of modern information technologies. Such implementation necessary condition is based on the control object dynamic model's improvement and real operating perturbations characteristics estimates' development with the help of the latest identification methods design and usage.*

Objective. To create an algorithm for structural identifying the controller transfer functions matrix, the control object's system of ordinary differential equations and the perturbations spectral densities matrix. The algorithm initial data include stabilization system control signals and it's output signals obtained in standard operating conditions.

Method. Minimization of an identification errors weighted dispersions sum by the Wiener – Kolmogorov's method.

Results. Equations that allow one to calculate matrices of the controller's transfer functions and of the perturbation's spectral densities, as well as to find a control object's ordinary differential equations system that minimize the identification error's variance have been found. Processing results of the stabilization system's work simulation based on these equations proves their correctness and illustrates the methodology of applying the new identification algorithm.

Conclusions. Application of the new identification algorithm is limited by the following conditions fulfillment: signals in the stabilization circuit belong to a set of centered stationary random processes; measurement noises operate at the controller input and are independent from perturbations, the sensors transfer matrix is known.

Анотація. *Актуальність. Підвищення конкурентоспроможності вітчизняних систем автоматичного керування вимагає інтенсифікації проектно-конструкторський робіт на основі впровадження сучасних інформаційних технологій. Однією з необхідних умов зазначеного впровадження є уточнення моделей динаміки об'єктів керування та збурень, які виникають в реальних умовах функціонування, на основі розробки та впровадження новітніх методів ідентифікації.*

Мета. Створити алгоритм структурної ідентифікації матриці передаточних функцій регулятора, системи звичайних диференціальних рівнянь об'єкта керування та матриці спектральних щільностей збурень, вихідними даними якого є записи зміни сигналів керування та сигналів на системи стабілізації, отримані у штатних умовах функціонування.

Метод. Мінімізація суми зважених дисперсій похибок ідентифікації методом Вінера – Колмогорова.

Результати. Знайдені рівняння, що дозволяють розрахувати матриці передаточних функцій регулятора та спектральних щільностей збурення, а також знайти систему звичайних диференціальних рівнянь об'єкта керування, які мінімізують дисперсію похибки ідентифікації. Обробка результатів імітаційного моделювання роботи системи стабілізації на основі даних рівнянь доводить їх коректність та ілюструє методіку застосування нового алгоритму ідентифікації.

Висновки. Застосування нового алгоритму ідентифікації обмежене виконанням наступних умов: сигнали в контурі стабілізації належать до множини центрованих стаціонарних випадкових процесів; шуми вимірювання діють на вході регулятора та не залежать від збурень, матриця передаточних функцій датчиків відома.

Key words: system, control, identification, stabilization, spectral densities matrix

Ключові слова: система, управління, ідентифікація, стабілізація, матриця спектральної щільності

1. Introduction

Efforts to increase designers work productivity and quality in the field of the objects or processes control complexes designing have necessitated the introduction of new technologies for the competitive computer integrated systems design. One such technology, cited in the monographs [1,2], has proven itself well in the creation of a complex for modeling spacecraft motion in the Earth atmosphere. Its application made it possible to design and implement from the first presentation an optimal controller for the motion control of a three-ton of mass and six degrees of freedom object without performing preliminary design and debugging steps .

2. Literature overview and problem statement

A necessary condition for this technology use is the presence of control object's and perturbations dynamics models acting on it under real operating conditions. As it is proved in [1], the source of such models is a corresponding identification task solution. There is a large majority of identification algorithms [1, 3] but almost all of them allow one to find the control objects and disturbances dynamics' models in the absence of correlation between the control signals' and disturbances vectors' components. At the same time, a wide range of control objects in real operating conditions work as a part of a close loop control system, the feedback of which is impossible to break.

While the feedback is switched on then cross correlation between control and disturbance signals vectors is obtained. If this condition is evident then the identification method set's range is significantly limited. For example, the monograph [4] and article [5] present algorithms for identifying the dynamics characteristics of a control plant operating as a part of a follow-up system. At the same time, there is a lack of identification algorithms for the control objects dynamics estimation, when such objects are an integral part of the stabilization system.



3. Research purpose and task

The purpose of this article is to develop a convenient algorithm for structural identification of the multidimensional control plant's dynamics, whether it is stable or not, and disturbances acting on it during operation as a part of the stabilization system, by measuring the control signals vector and the system output signals vector.

To achieve this goal, the following task was posed in terms of the work [1] and solved. Suppose that there is a multidimensional stabilization system (Fig. 1), which includes a control plant, measurement information sensors and a regulator. The m -dimensional vector of control signals u_0 and the n -dimensional unit intensity white noises vector Δ act on the inputs of the control object.

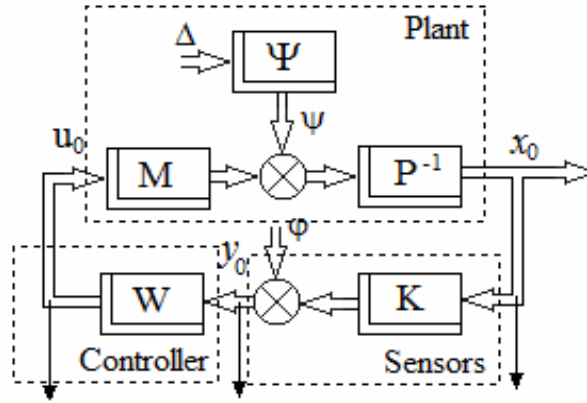


Fig. 1 – stabilization system block diagram

An n -dimensional vector of output signals x_0 acts at the output of the Plant (fig. 1). All components of the vector x_0 are measured using Sensors with a given matrix of transfer functions K and on this basis an n -dimensional vector of Controller input signals y_0 is formed

$$y_0 = Kx_0 + \varphi$$

where φ is n -dimensional measurement noises vector, which represents n -dimensional random stationary centered process with known spectral densities matrix $S_{\varphi\varphi}$. Since the disturbances' Δ and measurement noises' φ appearance sources have different physical nature, too often, then the hypothesis of their independence is accepted in the work.

Suppose that the control object's dynamics is characterized by a linearized system of ordinary differential equations

$$Px_0 = Mu_0 + \psi, \tag{1}$$

where P, M are polynomial matrixes from the differentiation operator; ψ is n -dimensional vector of perturbations that are formed with a help of the multidimensional filter. The filter's transfer functions matrix is denoted Ψ (fig. 1). In this case, the identification problem is formulated as follows: using the known vectors u_0, x_0 and y_0 , as well as given sensors' transfer functions matrix K and spectral noise densities matrix $S_{\varphi\varphi}$, find the order and parameters of the matrices P, M, Ψ and W that minimize the following identification quality indicator

$$J = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr}(S'_{\varepsilon\varepsilon} R) ds, \tag{2}$$

where j is imaginary unit; tr is a trace of matrix; $S'_{\varepsilon\varepsilon}$ is the transposed matrix of identification errors ε which is equal

$$\varepsilon = x_0 - \Phi z; \tag{3}$$

Φ is the identified close loop system transfer functions matrix; z is the expanded vector of the system input signals

$$z = \begin{bmatrix} \varphi \\ \Delta \end{bmatrix}; \tag{4}$$

R is the weighting positively-definite symmetric matrix; s is the Fourier argument ($s=j\omega$). Taking into account the structural scheme (Fig. 1), as well as equations (1) - (3), allows us to represent the relationship between the blocks of the matrix Φ and the matrices P, M, Ψ, W as the following set of expressions

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} \end{bmatrix} = F_0^{-1} [MW \quad \Psi]; \tag{5}$$

$$F_0 = P - MW. \tag{6}$$

So, the research task is to minimize the functional (2).



4. Research methods and materials

To solve the problem on the basis of the Wiener-Khinchin theorem in a vector form [7] applied to the vector (3), we find the equation for the connection of the matrix $S'_{\varepsilon\varepsilon}$ with the block matrix Φ

$$S'_{\varepsilon\varepsilon} = S'_{x_0x_0} - S'_{zx_0}\Phi_* - \Phi S'_{x_0z} + \Phi S'_{zz}\Phi_* \quad (7)$$

in which $S'_{x_0x_0}$ is the random process's x_0 spectral densities transposed matrix, found as a result of processing the experimental data; an index "*" - denotes the Hermitian conjugation [6] of the matrix; S'_{zx_0} is a transposed matrix of cross spectral densities between vector random processes z and x_0 , which, in accordance with Figs. 1 and the Wiener-Hinchin theorem is equal

$$S'_{zx_0} = \begin{bmatrix} S'_{y_0x_0} - S'_{x_0x_0}K_* & S'_{\Delta x_0} \end{bmatrix},$$

where $S'_{\Delta x_0}$ is the fractional rational matrix which has no singularities in the complex plane right half, found as the result of the Wiener factorization to the left [8] of the following sum

$$S'_{\Delta x_0}S'_{x_0\Delta} = S'_{x_0x_0} - (S'_{y_0x_0} - S'_{x_0x_0}K_*) (S'_{\varphi\varphi})^{-1} (S'_{x_0y_0} - KS'_{x_0x_0}); \quad (8)$$

S'_{zz} is the vector's (4) spectral densities transposed matrix, which, taking into account the accepted assumptions about disturbances and noise, as well as on the basis of the above mentioned theorem, is defined as

$$S'_{zz} = \begin{bmatrix} S'_{\varphi\varphi} & O_n \\ O_n & E_n \end{bmatrix}; \quad (9)$$

O_n is a matrix with zero elements of the $n \times n$ size; E_n is the unit matrix of the $n \times n$ size also.

Substitution of the obtained results (7), (8) into the functional (2) made it possible to present this identification quality indicator in the form

$$J = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \left(RS'_{x_0x_0} - RS'_{zx_0}\Phi_* - R\Phi S'_{x_0z} + R\Phi S'_{zz}\Phi_* \right) ds. \quad (10)$$

Minimization of the functional (10) on the class of stable and physically realized variable matrices Φ by the Wiener-Kolmogorov method is reduced to finding the matrix Φ [1, 2], which ensures equality of the functional (10) first variation to zero. This variation is defined by the equation

$$\delta J = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} \text{tr} \left[\delta\Phi_* \left(-RS'_{zx_0} + R\Phi S'_{zz} \right) + \left(-S'_{x_0z}R + S'_{zz}\Phi_*R \right) \delta\Phi \right] ds, \quad (11)$$

where δJ , $\delta\Phi$ are corresponding functions variations. The identically equal to zero condition for the variation (11) under the assumption that only stable variations of functions δJ , $\delta\Phi$ may be appeared looks like following

$$\Phi = \Gamma^{-1} (T_0 + T_+) D^{-1}, \quad (12)$$

where the matrix Γ is a result of Weiner factorizing [6] the matrix R

$$R = \Gamma_* \Gamma; \quad (13)$$

$T_0 + T_+$ is the fractional rational matrix with poles in the left half-plane of the complex variable, which is the result of the product separation (splitting) [3] shown below

$$T_0 + T_+ + T_- = S'_{zx_0} D_*^{-1}; \quad (14)$$

D is the result of factorizing [8] the transposed spectral densities matrix S'_{zz}

$$DD_* = S'_{zz}. \quad (15)$$

Led out thus equation (12) makes it possible on the base of the measured signals vectors find out the unique matrix Φ that is linked with unknown matrices P , M , W and Ψ by the equations (5), (6).

Since the controller (Fig. 1) has one input and one output, on which the fully measurable vectors y_0 and u_0 are acting, identification of the controller transfer function matrix W can be carried out according to the following relation known from control systems statistical dynamics

$$W = S'_{u_0y_0} \left(S'_{y_0y_0} \right)^{-1}, \quad (16)$$

where $S'_{u_0y_0}$ is the transposed cross spectral densities matrix of the vectors u_0 and y_0 obtained from experimental data; $S'_{y_0y_0}$ is the transposed spectral densities matrix of the vector y_0 .

Further matrices M , Ψ identification is based on the two tasks fulfillment: looking for the matrix (6) and solving the equation (5) relatively to M and Ψ . The search for matrix (6) could be made whit the help of two algorithms. The first one is based on the algorithm [9] for one-sided poles removal from a fractional rational matrices Φ_{11} and Φ_{12} . The second algorithm is used simple multifractional factorization with the help of state space approach [11]. If the matrix F_0 is known the equation's (5) solution is defined as

$$M = F_0 \Phi_{11} S'_{y_0y_0} \left(S'_{y_0u_0} \right)^{-1}; \quad (17)$$

$$\Psi = F_0 \Phi_{12}. \quad (18)$$



In turn, as follows from the equation (6), the polynomial matrix P is equal to

$$P = F_0(E_n + \Phi_{11}). \tag{19}$$

So, the research task is completely fulfilled. Based on known structural identification frequency domain methods, a new identification algorithm has been obtained. It's usage allows one to find the multidimensional control plant's dynamics model, whether it is stable or not, and disturbances acting on it during operation as a part of the stabilization system, by measuring the control signals vector and the system output signals vector. The new algorithm's branch of use is limited by the case when the measurement noise's and perturbation's sources of the control plant are of different origin.

Demonstration of the new identification algorithm's advantages and research of it application features requires the use of the simulation method for modeling the stabilization system work.

4. The identification results of the plant dynamics as a part of the stabilization system

Suppose that the following initial data on the dynamics of system elements (Fig. 1) are given

$$P = s^2 + 4s + 11.11; M = 8.8889(s + 5); K = 1; \Psi = \frac{2\sqrt{2.5}}{\sqrt{\pi}(s + 2.5)0.3^2}; S'_{\varphi\varphi} = \frac{0.09}{\pi(-s^2 + 10^2)}; W = -1.8.$$

It is necessary to find records of the signals u_0, x_0, y_0 , to identify polynomials P, M and transfer functions W, Ψ with the help of the equations (12) – (19).

The first part of this task has been solved thru the system's (Fig. 1) model design that is built with the help of the tool Simulink. Structural transformations of the scheme (Fig. 2), (Fig. 3) have been carried out during model designing. Such transformations main purpose was to exclude the possibility of using circuit elements with unacceptable transfer functions. An incorrect or unacceptable transfer function in Matlab is considered such a rational fractional function whose numerator polynomial order exceeds the order of the denominator polynomial.

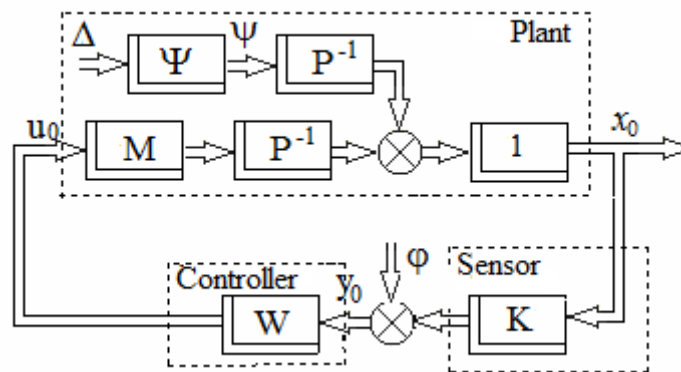


Fig. 2 – the first step of transforming the stabilization system's block diagram

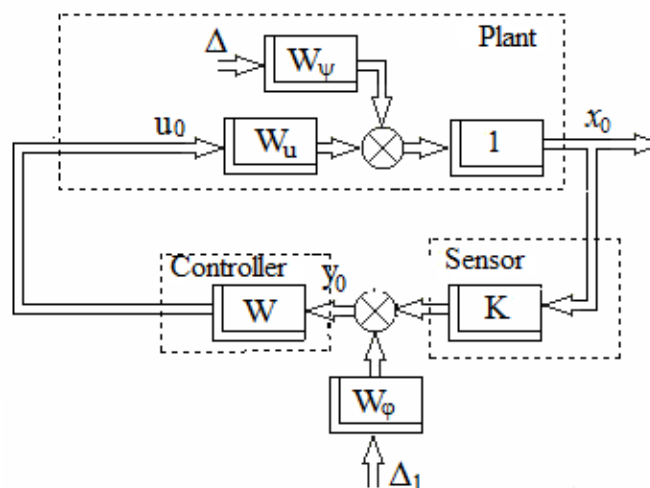


Fig. 3 – the second step of transforming the stabilization system's block diagram

As a result of the second transformation step one have been find transfer functions W_u, W_ψ that are equal to

$$W_u = P^{-1}M = \frac{8.8889(s + 5)}{s^2 + 4s + 11.11}; W_\psi = P^{-1}\Psi = \frac{35.136}{(s + 2.5)(s^2 + 4s + 11.11)};$$



and the producing filter transfer function W_φ (Fig. 3) that is served for producing the random process φ from a white noise with unit intensity. The transfer function W_φ is found as a following result of the spectral density $S'_{\varphi\varphi}$ factorization [3]

$$W_\varphi = \frac{0.3}{\sqrt{\pi}(s+10)}$$

The block diagram (Fig. 3) made it possible to design an imitation SIMULINK model (Fig.4) that was necessary for obtaining the random signals' u_0 , x_0 , y_0 records. These records were made with a help of oscillograph blocks that were marked Scope, Scope1 and Scope2 in the diagram (Fig. 4).

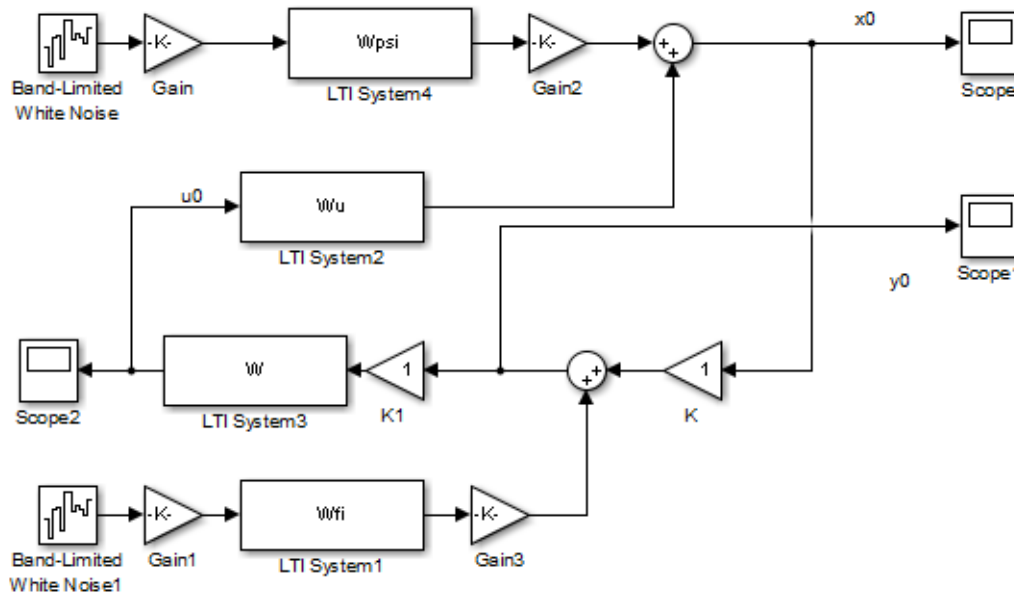


Fig. 4 – stabilization system’s SIMULINK model

It was used blocks Band-Limited White Noise and Band-Limited White Noise1 as independent white noises’ sources that were necessary for signals Δ and Δ_1 generation. Amplifier blocks $-K$ are additional to the scheme in the Fig. 3 and are necessary to compensate the pump-loss effect of unit intensity pseudo random oscillations’ additional power.

The simulation made it possible to obtain realizations of the signals u_0 , x_0 , y_0 , the first six seconds of which are presented in graphs in the Fig. 5. The total simulation time was 1000 seconds and the sampling time was 0.02 s.

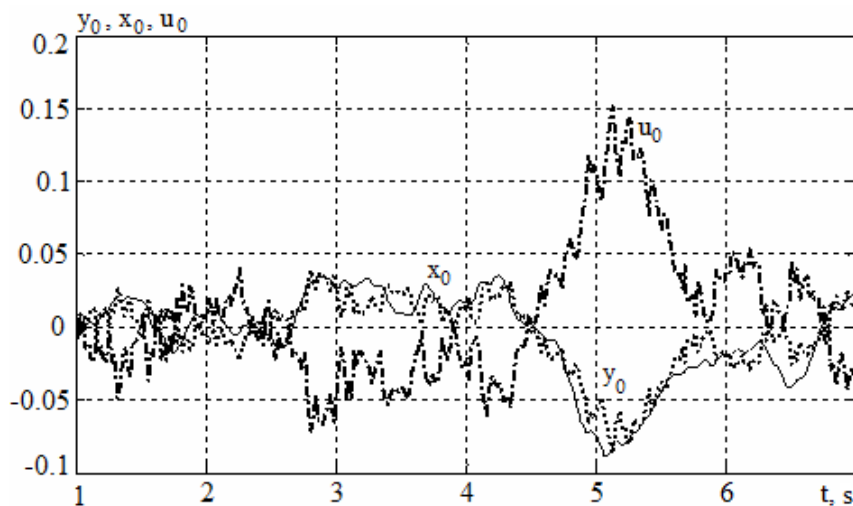


Fig. 5 – stabilization system model signals records

Statistical processing of signals (Fig. 5) by the Blackman-Tukey method [10] and approximation of the obtained estimates curves (Fig. 6) on the class of fractional-rational functions of the complex argument made it possible to find the following spectral and cross spectral densities of the signals from equations (7), (8), (16)



$$S'_{x_0x_0} = \frac{7.3339|s^2 + 11.6s + 43.15|^2}{|(s + 12.98)(s + 10)(s + 7.019)(s + 2.5)|^2}, \quad (20)$$

$$S'_{x_0y_0} = \frac{0.45837(s + 7.485)(s^2 - 13.11s + 55.92)(s^2 + 6.627s + 64.38)}{|(s + 12.98)(s + 10)(s + 7.019)(s + 2.5)|^2}, \quad (21)$$

$$S'_{u_0y_0} = \frac{-0.052|(s + 7.543)(s^2 + 10.88s + 87.68)|^2}{|(s + 12.98)(s + 10)(s + 7.019)(s + 2.5)|^2}, \quad (22)$$

$$S'_{u_0u_0} = \frac{0.0286|(s + 7.543)(s^2 + 10.88s + 87.68)|^2}{|(s + 12.98)(s + 10)(s + 7.019)(s + 2.5)|^2}. \quad (23)$$

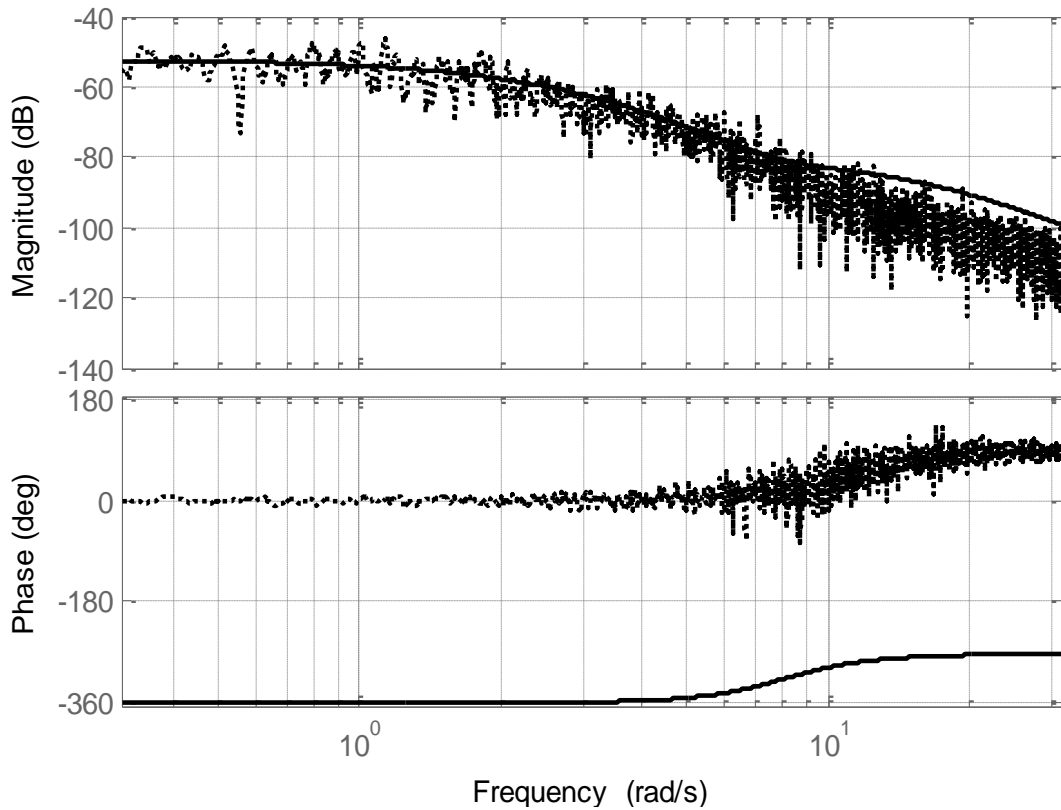


Fig. 6 – the cross spectral density $S'_{y_0x_0}$ estimate and it's approximating result

Solid line in the Fig. 6 demonstrates the approximating result. Substitution of data from expressions (20), (21) into the equation (8) and factorization of the resulting expression made it possible to find the cross spectral density $S'_{\Delta x_0}$ in the form

$$S'_{\Delta x_0} = \frac{11.184}{(s + 12.98)(s + 7.019)(s + 2.5)}. \quad (24)$$

Since the system (Fig. 1) has one input then the matrix R, which is necessary to coordinate the influence of the each vector x_0 component on the identification quality indicator, can be accepted as one, so

$$\Gamma = 1. \quad (25)$$



Factorizing the matrix (15) relatively an imaginary axis made it possible to calculate the factor D in the form

$$D = \begin{bmatrix} \frac{0.16926}{s+10} & 0 \\ 0 & 0.56419 \end{bmatrix}. \quad (26)$$

Substituting the results (25), (26) to the equation (14) proves that it is necessary to separate the following fractional-rational function

$$T_0 + T_+ + T_- = \left[\frac{-2.7081(s+5)}{(s+12.98)(s+10)(s+7.019)} \quad \frac{19.824}{(s+12.98)(s+7.019)(s+2.5)} \right]. \quad (27)$$

Since the function (27) has got only stable poles then a separation result coincides with this function, so substituting the data (25)-(27) to the equation (12) determines the block matrix Φ as

$$\Phi = \left[\frac{-16(s+5)}{(s+12.98)(s+7.019)} \quad \frac{35.136}{(s+12.98)(s+7.019)(s+2.5)} \right]. \quad (28)$$

The identification procedure is completed with determining the controller transfer function W , the plant polynomials M , P and the fractional-rational function Ψ . The spectral and cross spectral densities (22), (23) substitution to the equation (16) has proved that the identified controller transfer function differs from proper transfer function on a value which is equal - $8.8818 \cdot 10^{-16}$.

The plant polynomials (17), (19) identification results are as follows

$$P = s^2 + 4s + 11.11; \quad M = 8.889(s+5). \quad (29)$$

The identified with the help of equation (18) fractional rational function Ψ is equal to

$$\Psi = \frac{35.136}{s+2.5}. \quad (30)$$

Comparison the identification results (29), (30) with the proper data prove this results correctness.

5. Analysis of the results

The presence of a feedback in the stabilization system (Fig.1), which operates under the conditions of stationary random perturbations and noise interference, necessitates a significant change in the known from the monograph [1] equation (8) of the coupling between the spectral densities matrixes of perturbations and output signals.

A prerequisite for the plant and perturbations dynamics passive identification is the availability of information about the system's sensors properties.

The application of the Wiener-Kolmogorov method allows to obtain an optimal estimation of both the structure and parameters of the model dynamics of a complex multidimensional control object and perturbations by incomplete measurements of signal vectors with the help of non-ideal sensors.

The application of the Wiener-Kolmogorov method makes it possible to obtain optimal estimating both a structure and parameters of the dynamics model of the complex multidimensional control object and perturbations by incomplete measurements of signal vectors with the help of non-ideal sensors.

6. Conclusions

The studies carried out allow us to state that under conditions when the control system belongs to the class of stabilization systems, the signals in the control loop belong to a set of centered stationary random processes, and the noise of the sensors has different sources of origin with disturbances in the system, it is possible to unambiguously determine the matrix of transfer functions of the controller and fractional rational functions of the perturbation driver, and also to find a system of ordinary differential equations of minimal order, characterizing the dynamics of the control object.

To regularize the obtained dynamics models, it is advisable to use the identified system of differential equations of the object and the records of the corresponding components of the signal vectors.

References

- [1] V.N. Azarskov et al., *Metodologia konstruirovania optimalnykh sistem stokhasticheskoi stabilizatsii: monografiya*. Kiev: Knyzhnoe izdatelstvo NAU, 440 p., 2006.
- [2] L.N. Blokhyn et al., *Tekhnolohyy konstruyrovanya sovremennykh konkurentosposobnykh kompleksov upravleniya stokhastycheskyim dvyzhenyem obiektov: monohrafiya*. Kyrovograd: Lysenko V.F. 284 p., 2015.
- [3] *Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskoho upravleniya*, 2nd ed., vol. 2 (*Statisticheskaiia dinamika i identifikatsia sistem avtomaticheskoho upravleniya*) K.A. Pupkov and N.D. Ehupov, Eds. MGTU, Moscow, Russia, 640 p., 2004.



- [4] V.A. Khobin and M.V. Levinskyi, *Adaptivne keruvannia ob'ektamy tekhnolohichnoho typu: alhorytmy pasyvnoho samonalahodzhennia koefitsiienta peredachi rehuliatoriv. Monohrafiia*. Kherson: Vydavnychiy dim Helvetyka, 228 p., 2019.
- [5] S.I. Osadchyi, "Tekhnolohii i alhorytm strukturnoi identyfikatsii matematychnoi modeli bahatovymirnoho rukhomoho ob'ekta z dovilnoiu dynamikoio u skladi zamknoei systemy upravlinnia," *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh Syl*, no. 4(22), pp. 98-101, 2009.
- [6] F.R. Hantmakher, *Teoriya matryts*, 4th ed. Moscow: Nauka, 552 p., 1988.
- [7] H. Korn, *Spravochnik po matematike (dlia nauchnykh robotnikov i inzhenerov)* (Transl.: Y.H. Abramovych et al., Eds) Moscow: Nauka, 831 p., 1977.
- [8] F.A. Alyev et al., *Vremennye y chastotnye metody synteza optymalnykh rehuliatorov*. Baku: Institut fiziki AN Azerbaidzhanskoi SSR, 46 p., 1988.
- [9] M. Davis, "Factoring the spectral matrix," in *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 8, no. 4, pp. 296-305, October 1963, doi: <https://doi.org/10.1109/TAC.1963.1105614>.
- [10] R.Otes and L. Enokson, *Prikladoi analiz vremennykh riadov. Osnovnye metody (monohrafiia)*. Moscow: Mir, 428 p., 1982.
- [11] *Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskoho upravleniia*, 2nd ed., vol. 3 (*Syntezi rehuliatorov system upravleniia*) K.A. Pupkov and N.D. Ehupov, Eds. MGTU, Moscow, Russia, 616 p., 2004.

UDC 681.516.75

RESEARCH OF THE SYNCHRONOUS WAVEN COORDINATION MODEL OF PRODUCTION PROCESSES

Dubovoi V. M.¹, Yukhymchuk M. S.²

^{1,2}Vinnitsia National Technical University, 95, Khmelnytske shosse, Vinnitsia, 21021, Ukraine
ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0003-0440-3643>, ² <http://orcid.org/0000-0002-8131-9739>
E-mail: ¹ v.m.dubovoy@gmail.com, ² umcmasha@gmail.com

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

DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1702>

Abstract. In the article the model of one-level coordination of production processes is created and indicators of wave synchronous coordination algorithm are investigated. It is shown that in case of high complexity and fast reaction of elements to random perturbations, the case is possible when the required period of initiation of the coordination wave becomes less than the wave propagation through the system, i.e. the coordination time.

Анотація. У статті створено модель однорівневої координації виробничих процесів та досліджено показники алгоритму синхронної координації хвиль. Показано, що у випадку високої складності та швидкої реакції елементів на випадковій збурення можливий випадок, коли необхідний період ініціації координаційної хвилі стає меншим за поширення хвилі через систему, тобто час координації.

Keywords: synchronous waven algorithm, production processes, one-level coordination

Ключові слова: алгоритм синхронної хвилі, виробничі процеси, однорівнева координація

Introduction

The complications and rapid development of distributed control systems (DCS) have especially accelerated with the cheapening and micro-miniaturization of microcontrollers. It became possible to include microcontrollers in the field-level sensors and actuators. On the other hand, communication systems are developing at a rapid pace. From these two fundamental advances, the Internet of Things (IoT) was born, which in turn has pushed new research into the well-known problem of production processes coordination. After all, a large number of local "microsystems" of control requires their coordination



within the automated control system. The class of processes that have the problem of coordinating decisions is characterized by the simultaneous execution of several technological operations, and operations can be performed sequentially in a continuous flow, or in parallel with the allocation of resources.

In the classic work [1] mathematical models of hierarchical structures of management are investigated. Subsequently, the coordination problem was considered explicitly or not for hierarchical systems [2-6].

In their work, the authors also investigated the problem of coordination with respect to hierarchical systems of process control [7-11]

However, with the development of cloud technology and parallel programming capabilities, multi-agent systems are becoming increasingly popular. For such systems, coordination problems have certain features [12, 13]

Hierarchical principles of coordination may also be used in multiagent systems, but methods of single-level coordination are of particular interest. Investigation of the influence of the characteristics of the controlled system on the indicators of single-level coordination is an important task in the problem of construction of such systems.

The aim of the research is to create a model of single-level coordination of production processes and to study the indices of the wave synchronous coordination algorithm.

Model of single-level coordination

To build a model of single-level coordination, we will submit a controlled system in the form of two graphs:

1. Flow graph $G_F(S, X)$, where S is the set of local subsystems; X is the set of flows (material, energy, information) between the controlled subsystems' objects. Each element of the flow set is a vector whose components characterize the individual products of the multi-product subsystem. Each subsystem consists of a controlled entity and a local control subsystem (LCS). Parameters of subsystem are specified by local coordinators, which interact to coordinate. Thus, the node of the flow graph has the structure shown in Fig. 1;

2. Process graph $G_P(X, Q)$ in which the flows X are the set of vertices and the edges Q represent the activity of local subsystems and are characterized by a triple $\{v, q, \tau\}$, where v is the quantity of the product; q is the product quality; τ is the time of the production.

3. Flow and process graphs are dual in structure, but the use of two types of graphs allows you to concentrate all the information you need in the weights of the edges.

Accordingly, the coordination model is implemented in the form of N objects, models of individual subsystems that exchange messages according to the flow and process graphs of the system. The object class diagram is shown in Fig. 2.

From the class diagram it is evident that in order to implement the model it is necessary to define:

- Structure - flow and process graphs;
- Impact vectors;
- Production functions of the elements;

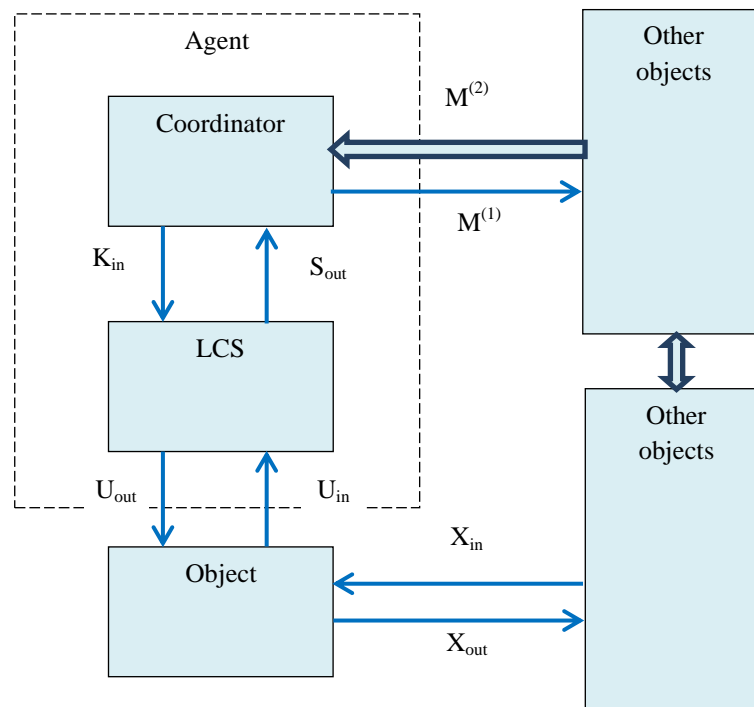


Fig. 1 – Object model



- LCS transfer functions;
- Element coordination functions;
- Coordination marker reception and transmission functions;
- Separate and general criteria.

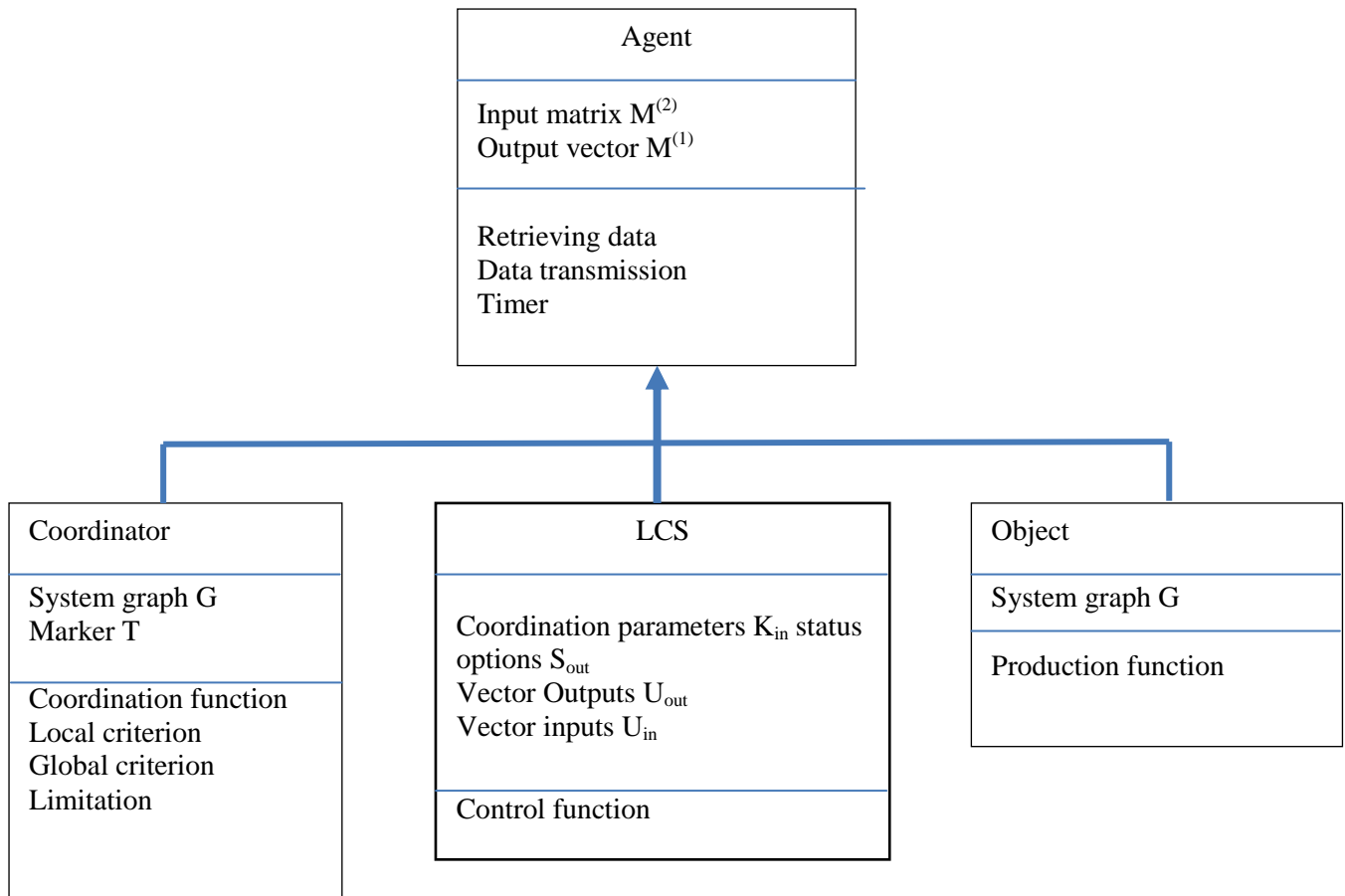


Fig. 2 – Class diagram

The content of the coordination function is represented in the activity diagram in Fig. 3.

The coordination function is implemented on the basis of a synchronous wave algorithm. Synchronization is ensured by binding the start of the algorithm to the internal timer clock signals. Since modern computer systems and networks have timers using world time, the use of internal (local) timers provides better synchronization than transmitting to agents in a cloud of a separate synchro-signal.

The wave coordination mode is provided by the transfer of a marker to initiate the coordination function from one agent to another. The transfer is made to the agents according to the production process graph. Identification of the destination agents of the token is carried out by means of a “wide search”. In order to provide directional wave propagation, the markers are numbered and the coordination function is activated only when a new marker is received. The first wave begins with the START signal transmitted through the web interface, from the final operation of the production process Q_F and propagates to the initial operation Q_S , then from the initial to the final operation, and so on to receive the STOP signal.

Coordination parameters are determined using multicriteria constraint optimization.

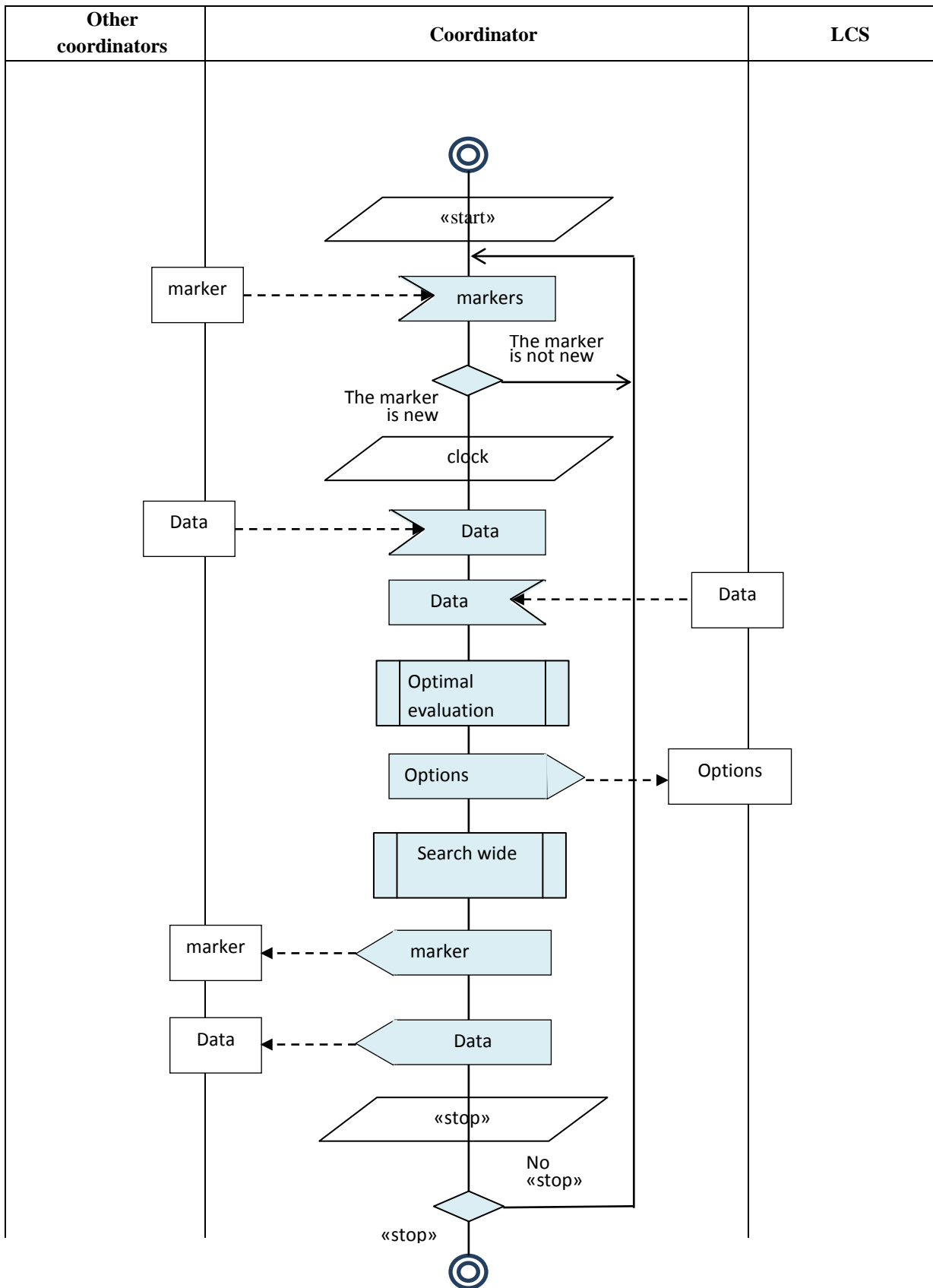


Fig. 3 – Activity diagram



The simulation process is controlled through the web interface, which diagram is shown in Fig. 4. In determining the indices of single-level wave coordination, we will proceed from the following.

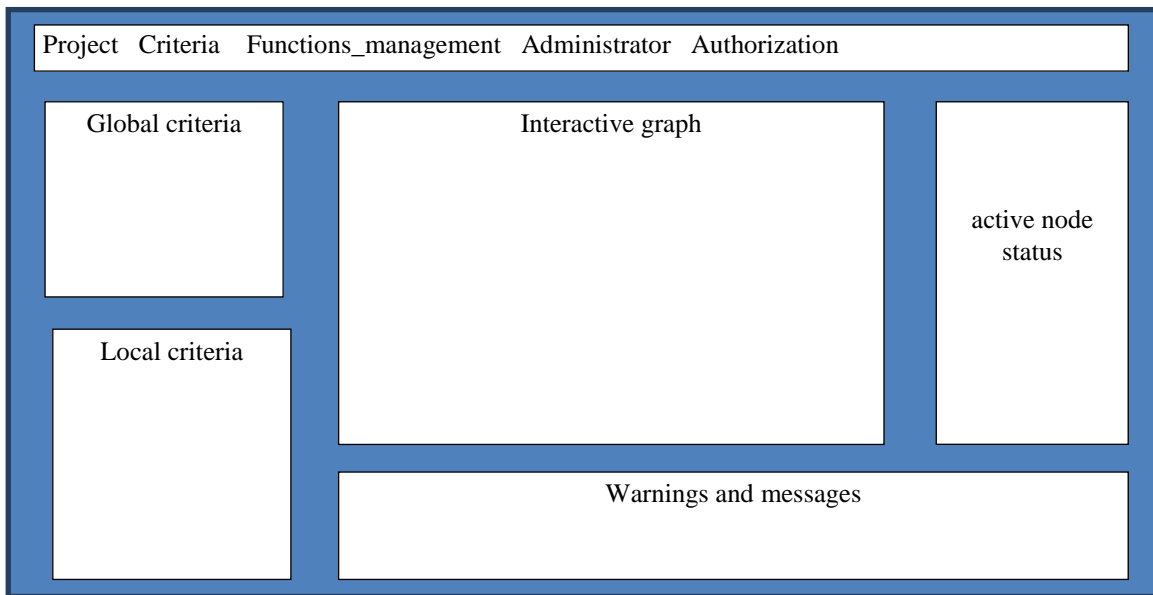


Fig. 4 – Web interface

1. We will treat the production object as a nonlinear dynamic system is shown on Fig.5 where $f(X)$ is the nonlinear part of the production function; X - vector of resources; Z_1, Z_2 - external influence vectors on system parameters $W(p)$ - transfer function of linear dynamic part of the production function.

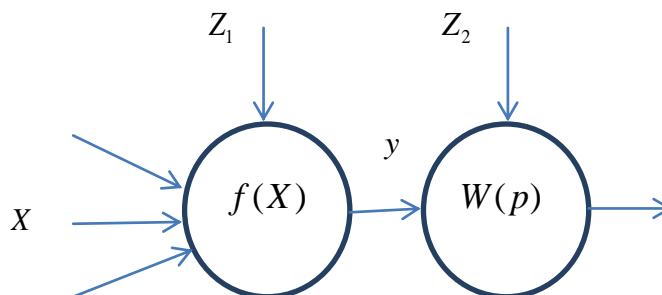


Fig. 5 – Production object as a nonlinear dynamic system

2. Production function.

In previous works, the authors considered the processes in systems with relay control [14]. It has been shown that there is an oscillatory process in such systems, which can be approximated by segments of production functions of logistic type.

We use the most common logistic function as a production function

$$f(x) = \frac{1+\beta}{1+e^{-\alpha(x-x_0)}} - \beta, \tag{1}$$

where x is the input resource; x_0 is the nominal amount of the resource; α -and β are the parameters of production, moreover $\alpha > 0$, $\beta < 1$ and $\frac{1+\beta}{1+e^{\alpha x_0}} - \beta = 0$ when $x = 0$, from where $x_0 = -\frac{1}{\alpha} \ln(\beta)$.



Let's take a dynamic component of a production function of a typical sigmoid form, which corresponds to a 2-order transfer function

$$W(p) = \frac{1}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1} \tag{2}$$

If a production function uses more than one resource (the dimension of the resource vector > 1), then the quantity of the product is determined by x_i , which is the least resource

$$i = \hat{i} \rightarrow x_i = \min_i \left[\frac{1 + \beta}{1 + e^{-\alpha(x_i - x_{i0})}} \right] \tag{3}$$

3. Definition of local criterion

As a local criterion, we use the economic indicator - profit from the operation of the system $P = I - C$, where P is the profit; I is the revenue; C are the cost.

The cost consists of the costs of all the resources that come to the object,

$$C = \sum_{i=1}^n c_i x_i \tag{4}$$

where c_i is the cost of the i -th resource; x_i is the amount of the i -th resource.

Revenue is proportional to the amount of the object's product

$$I = c_y y = c_y \left[\frac{1 + \beta}{1 + e^{-\alpha(x_i - x_{i0})}} - \beta \right] \tag{5}$$

For this model we neglect the dependence of the price of the product c_y on its quality q_y and the dependence of the quantity and quality of the product on the quality of resources q_i . Such neglect is permissible only for production processes without cycles, since cyclicity implies a gradual improvement of product quality at each cycle, which is crucial for such processes [15].

The local criterion can be negative if it is necessary to achieve the global goal of the system. In the case of successive production operations, the products of the previous operation are the next resource, therefore

$$I_i = C_{i+1} \tag{6}$$

4. Definition of the global criterion

The global criterion characterizes the performance of the system in general

$$P_g = I_F - \sum_{o=1}^M C_o \tag{7}$$

where P_g - profit from the output products of the system, I_F - revenue from the production of the system, which is the income of the final operation; C_o - external resources consumed by the system.

5. Transfer functions of LCS

Fig. 6 shows the LCS structure and the input effects: u_α - control influence from the coordinator; z_α - disturbing external influence. LCS ensures that the necessary values of the production function parameters are maintained: α , β , T_1 , T_2 . In our model, we will use a linear proportional-integral law (PI) for each parameter.

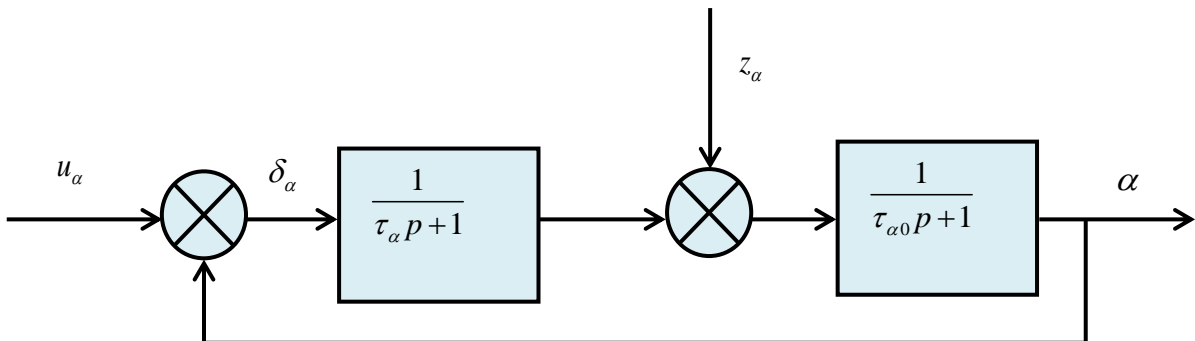


Fig. 6 – LCS structure and the input effects



The operator model of such LCS

$$\alpha = u_\alpha \frac{1}{1+(\tau_\alpha p+1) \cdot (\tau_{\alpha 0} p+1)} + z_\alpha \frac{\tau_\alpha p+1}{1+(\tau_\alpha p+1) \cdot (\tau_{\alpha 0} p+1)}. \quad (8)$$

6. Optimal evaluation.

The LCS parameters in the coordination algorithm are found by the estimation method, which is to find the optimal parameter value that provide the maximum of the coordination criterion.

The results obtained

As a result of simulation with the model is being described, the following dependencies are analyzed:

- The dependence of criteria on the system complexity (Fig. 7).

The complexity of the system M , in the case of assumptions are being made above about the same representation of a production functions, will depend only on the complexity of the graph structure. Since the flow and process graphs are dual, the complexity can be determined by any of them. Therefore, as a characteristic of complexity, we will use a cyclomatic number [16]. For a graph without cycles $M = \sum_{\forall X} n_X - m_S$, where n_X is the dimension of the flow vector X , m_S is the number of subsystems (processes). The maximum value of the criterion is observed in full coordination, the minimum value in its absence.

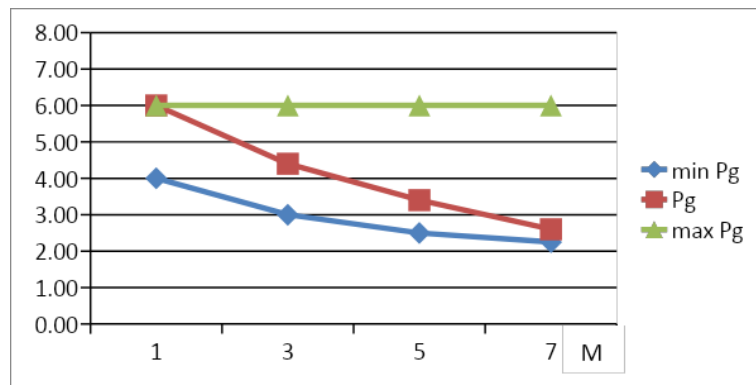


Fig. 7 – The dependence of criteria on the system complexity

- The dependence of criteria on the coordination period (Fig. 8).

The coordination period T is measured by the relations T/T_1 and T/τ , where T_1 is the time of the dynamic component of the production function, τ is the correlation interval of random perturbations (on the plot they are $T1$ and t , respectively).

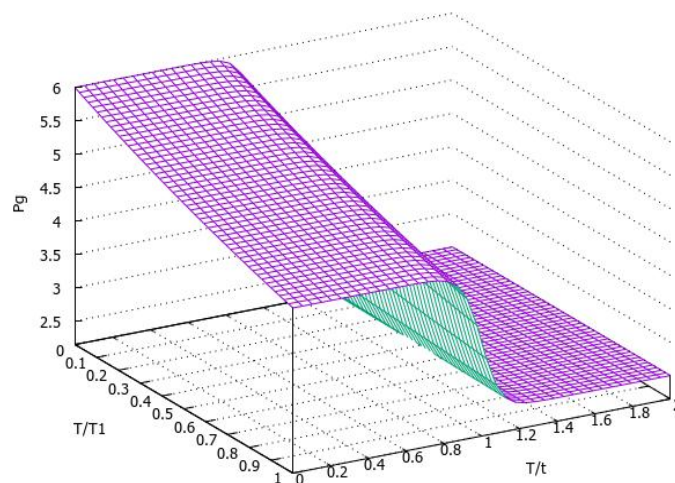


Fig. 8 – The dependence of criteria on the coordination period



- The dependence of criteria on the number of coordination waves and system complexity (Fig. 9).

On the Fig. 9, the number of coordination waves is being signed as k . Although the graph was constructed for the number of coordination waves $0 < k < 10$, results were stabilized after 5 waves.

Analysis of results

The dependence of the criterion on the complexity of the system, is being shown in Fig. 7, points out that with increasing complexity and constant parameters of the elements of the system, the coordination criterion decreases from the maximum value due to the parameters of the coordination system, and tends to a minimum, which corresponds to a complete uncoordinated one.

The dependence of the criterion on the time characteristics of the system (the ratio of the coordination period to the time constant of the dynamic component of the production function and the interval of correlation of random perturbations), is being shown in Fig. 8, points out that $T > \tau$, where τ is the interval of correlation of perturbations, the coordination efficiency decrease sharply, while-the inertia of the system elements is less affected and the criterion decreases more slowly.

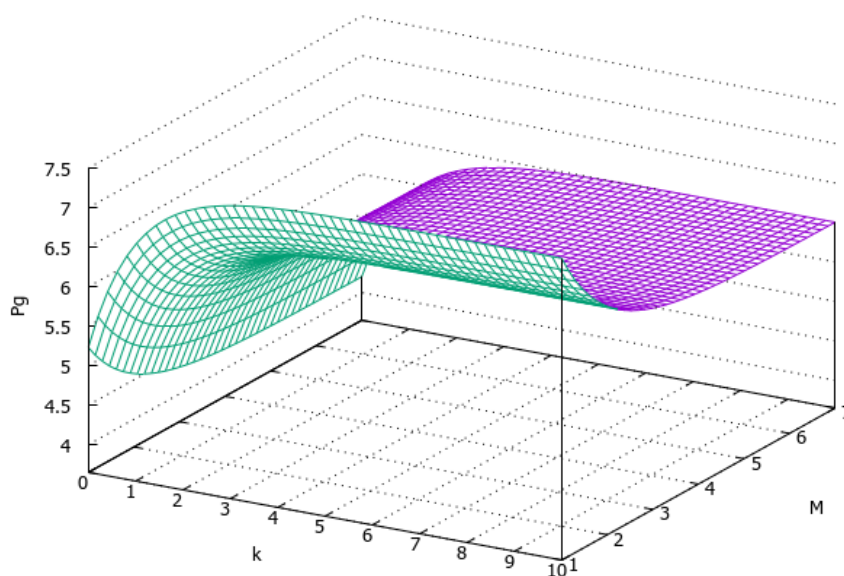


Fig. 9 – The dependence of criteria on the number of coordination waves and system complexity

The dependence of the criterion on the number of coordination waves at different system complexity, is being shown in Fig. 9, points out that as the complexity increases, the coordination efficiency decreases, but the coordination algorithm reaches the established efficiency value faster by averaging a large number of random effects on the system.

Conclusions

The study of single-level coordination wave algorithm on the simulation model showed its efficiency, but when determining the coordination period, the complexity of the system and the inertia of its elements should be taken into account. With high complexity and rapid response of elements to random perturbations, it is possible that the required period of initiation of the coordination wave will be less than the time the wave travels through the system, that is, the coordination time. This requires some modification of the algorithm.

Refereces

- [1] Mesarovich M., Mako D., Takahara I. Theory of hierarchical multilevel systems. M.: Mir, 1973. Pp. 344.
- [2] Ugarov P. A. Coordination in hierarchical hybrid control systems using behavioral abstractions. Bulletin of the Chelyabinsk Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. 2004. No. 1 (22). Pp. 186-191.
- [3] Khodakov V. E., Sokolova N. A., Kiriychuk D. L. On the development of the foundations of the theory of coordination of complex systems. Problems of Information Technologies. 2014. No. 2 (16). Pp. 12-21.



- [4] Fridman A., Fridman O. Gradient Coordination Technique for Controlling Hierarchical and Network Systems. Systems Research Forum. 2010. Vol. 4. No. 2. Pp. 121-136. doi: <https://doi.org/10.1142/S1793966610000223>.
- [5] Zaporozhtsev V. V., Novoseltsev V. I., Strukov A. Yu. Fuzzy parametric coordination in a multi-level hierarchical system. Control Systems and Information Technologies. 2012. Vol. 50. No. 4.1. P. 142145.
- [6] Ladanyuk A.P., Zacetis N.A., Vlasenko L.O., Lutsk N.M. Coordination of the function of the technological plant of the cereal plant with the goal of forecasting tasks.
- [7] Bayas M.M., Dubovoi V.M., Rovira R.H., Smailova S., Bissarinov B. Coordination of serial-parallel manufacturing processes of milk production Przeglad Elektrotechniczny, 2019. doi: <https://doi.org/10.15199/48.2019.04.31>.
- [8] Wójcik W., Dubovoi V., Duda M., Romaniuk R., Yesmakhanova L., et al. Coordination in serial-parallel image processing Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 981616 (December 18, 2015). doi: <https://doi.org/10.1117/12.2229006>
- [9] Dubovoi V., Bayas M., Shegebaeva J., Gromaszek K. Optimization of hierarchical management of technological processes Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 981622 (December 18, 2015). doi: <https://doi.org/10.1117/12.2229201>
- [10] Dubovoi V.M., Bayas M.M. Modeling the coordination of cleaning processes in a pasteurization line based on Petri Nets Automation - 2013: Materials of the XX International Conference of Automatic Control, 25-27 Veresnya 2013. Mikolaev: NUK, 2013, P. 288.
- [11] Bayas M.M., Dubovoi V.M. Model based in random walk for coordination of a dairy plant Fourth International Scientific Conference "Intelligence Systems in Industry and Education – 2013" Access mode: <http://ispo.elit.sumdu.edu.ua/files/theses/Bayas%20M.M.,Dubovoy%20V.M.pdf>
- [12] Gorodetsky V. I. Self-organization and multi-agent systems. Part 1. Models of multi-agent self-organization // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems. 2012. No. 2. Pp. 92-120.
- [13] Bayas M.M., Duvoboi V.M. Development of the structure of the multi-agent coordination in technological processes. System Analysis and Information Technologies. International Conference, SAIT 2014 Kyiv, Ukraine, May 26–30, 2014.
- [14] Rovira R.H., Duvoboi V.M., Yukhimchuk M.S., Bayas M.M., Torres W.D. A Model of Self-oscillations in Relay Outputs Control Systems with Elements of Artificial Intelligence. In: Rocha Á., Guarda T. (eds) Proceedings of the International Conference on Information Technology & Systems (ICITS 2018). ICITS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 721. Springer, Cham. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-73450-733>
- [15] Duvoboi V.M., Pylypenko I.V., Wójcik W., Sailarbak S. Synthesis of the control algorithm of cyclicity for branched technological process. Proc. SPIE 9816, Optical Fibers and Their Applications 2015, 981620 (December 18, 2015); doi: <https://doi.org/10.1117/12.2229191>
- [16] McCabe. A Complexity Measure. IEEE Transactions on Software Engineering journal, 1976, December. Pp. 308-320. doi: <https://doi.org/10.1109/TSE.1976.233837>

УДК 004.91:004.056.55.347.135.224

АЛГОРИТМІЗАЦІЯ ШИФРУВАННЯ ЦИФРОВОГО ПІДПИСУ

Плотніков В. М.¹, Борцова Ю. В.²

^{1,2} Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

ORCID: ¹ <http://orcid.org/0000-0001-9000-2568>, ² <http://orcid.org/0000-0001-6712-8357>

E-mail: ² bortsova.07@gmail.com

Copyright © 2018 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1703>



Анотація. У криптосистемах на основі асиметричних ключів для шифрування й дешифрування використовується пара ключів - секретний і відкритий, унікальні для кожного користувача, та цифровий сертифікат. Цифровий сертифікат являє собою розширення відкритого ключа, та містить не тільки сам ключ, але й додаткову інформацію, що описує: приналежність ключа, час використання, доступні криптосистеми, назву центру засвідчення, та інше. Для реалізації такої взаємодії використовуються спеціальні структури - центри сертифікації. Їхня основна функція - поширення публічних і секретних ключів користувачів, а також верифікація сертифікатів. Центри сертифікації можуть поєднуватися: центр вищого рівня (кореневий) може видати сертифікат і права на видачу ключів центру, розташованому рівнем нижче. Той, у свою чергу, може видати права іншому центру ще нижчого рівня й так далі. Сертифікат, виданий одним із центрів, може бути верифікований кожним у такому ланцюгу. У такий спосіб існує можливість забезпечити наявність центру поширення секретних ключів у безпосередній близькості від користувача, що вирішує проблему дискредитації ключа при передачі у мережах зв'язку.

Abstract. Asymmetric key-based cryptosystems use a pair of keys - secret and public keys unique to each user - and a digital certificate for encryption and decryption. A digital certificate is an extension of the public key that includes not only the key itself but also additional information describing the key's ownership, usage time, available cryptosystems, name of the certifying center, etc. Special structures certifying centers are used to implement such interaction. Their main function is to distribute the public and private keys of users, as well as the verification of certificates. Certification centers can be joined into chains. A higher (root) certifying center may issue a certificate and key issuance rights to the lower center. The latter, in turn, may grant rights to another downstream center, and so on, whereby a certificate issued by one of the centers can be verified by each of the servers in the chain. In this way, it is possible to set up a secret key distribution center in the immediate vicinity of the user, which solves the problem of discrediting the key during transmission over communication networks.

Ключові слова: цифровий підпис, асиметричні ключі, шифрування, дешифрування

Keywords: digital signature, asymmetric keys, encryption, decryption

1. Теоретична складова. Сертифікація ключів

Для верифікації відкритого ключа застосовується сертифікат ключа – електронний документ, що зв'язує відкритий ключ із суб'єктом, що правомірно володіє відповідним закритим ключем. Без такої верифікації зловмисник може видати себе за будь-якого суб'єкта, підмінивши відкритий ключ. Для завірення сертифіката використовується ЕЦП установи, що видає сертифікати (засвідчуючий центр, СА - certificate authority). Засвідчуючий центр - основний компонент РКІ. Маючи відкритий ключ засвідчуючого центру, будь-який суб'єкт може перевірити вірогідність виданого їм сертифіката. За вірогідність даних, що містяться в сертифікаті та ідентифікують правомірного власника, відповідає центр, що видав сертифікат

Для одержання сертифіката ключа суб'єкт повинен засобами РКІ сформувати пару ключів (відкритий і закритий) та відправити відкритий ключ разом з ідентифікуючою себе інформацією в центр сертифікації, а закритий ключ зберегти в себе. Можлива також схема з формуванням ключової пари на прохання суб'єкта в самому засвідчуючому центрі. Закритий ключ може зберігатися в захищеній області на диску або в пам'яті спеціалізованого автономного носія, наприклад, USB-брелока або смарт-карти. Як правило, ключ додатково шифрується з використанням пароля або PIN-коду, відомих тільки правомірному власнику. Ключ може бути захищений і за допомогою інших методів, що ідентифікують власника.

Після необхідної перевірки (іноді потрібна особиста явка й пред'явлення підтверджувальних документів) центр, що засвідчує, видає й підписує сертифікат, у якому, крім відкритого ключа й ідентифікуючого власника інформації, вказується період його дії й атрибути сертифіката ключа видавця, необхідні для перевірки сертифіката.

Підробити сертифікат, не володіючи відповідним закритим ключем центра, що засвідчує, практично неможливо. Сертифікат може вільно поширюватися по мережі, однак той, хто не володіє відповідним закритим ключем, не зможе ним скористатися в злочинних цілях.

Центр, що засвідчує, володіє сертифікатом ключа ЕЦП, закритий ключ якого він використовує для завірення видаваних сертифікатів. Центр веде загальнодоступний реєстр виданих їм сертифікатів, кожний з яких ідентифікується унікальним реєстраційним номером. У функції центра, що засвідчує, входить також ведення списку сертифікатів, відкликаних по різних причинах (наприклад, при компрометації закритого ключа або втраті юридичної чинності документів, на підставі яких він виданий). Цей список підписується ЕЦП центра, що засвідчує, і відкрито публікується. Для кожного відкликаного сертифіката в списку вказуються реєстраційний номер, дата й причина відкликання.

Розрізняють підлеглий центр, що засвідчує, сертифікат якого виданий іншим центром, що засвідчує, і кореневий центр, що засвідчує, сертифікат якого виданий їм самим. Кореневих центрів, що засвідчують, незалежних друг від друга, може бути кілька. Тим самим вся безліч центрів, що засвідчують, утворює сукупність ієрархічних дерев у змісті теорії графів. Сертифікати всіх центрів, що засвідчують (кореневих і підлеглих), яким довіряє суб'єкт, повинні бути йому відомі й зберігатися в захищеному сховищі. Щоб перевірити дійсність деякого сертифіката, треба пройти по «ланцюжку довіри» від сертифіката його видавця до сертифіката центра, що засвідчує, якому довіряє суб'єкт.



Суб'єкт при перевірці сертифіката, виданого деяким центром, що засвідчує, повинен перевірити, чи не значиться цей сертифікат у числі відкликаних.

Як же виробляється властиво шифрування за допомогою цих чисел :

Відправник розбиває своє повідомлення на блоки, рівні $k = \lceil \log_2(n) \rceil$ біт, де квадратні дужки позначають узяття цілої частини від дробового числа.

Подібний блок може бути інтерпретований як число з діапазону $(0; 2^k - 1)$. Для кожного такого числа (назвемо його m_i) обчислюється вираження $c_i = ((m_i)e) \bmod n$. Блоки c_i і є зашифроване повідомлення, і їх можна спокійно передавати по відкритому каналі, оскільки операція зведення в ступінь по модулі простого числа, є необоротним математичним завданням. Зворотна їй завдання зветься "логарифмування в кінцевому полі" і є на кілька порядків більше складним завданням. Тобто навіть якщо зловмисник знає числа e і n , те по c_i прочитати вихідні повідомлення m_i він не може ніяк, крім як повним перебором m_i .

А от на прийомній стороні процес дешифрування все-таки можливий, і допоможе нам у цьому збережене в секреті число d . Досить давно була доведена теорема Ейлера, окремий випадок якої затверджує, що якщо число n представимо у вигляді двох простих чисел p і q , те для будь-якого x має місце рівність $(x^{(p-1)(q-1)}) \bmod n = 1$. Для дешифрування RSA-Повідомлень скористаємося цією формулою.

Зведемо обидві її частини в ступінь $(-y)$: $(x^{(-y)(p-1)(q-1)}) \bmod n = 1^{(-y)} = 1$.

Тепер помножимо обидві її частини на x : $(x^{(-y)(p-1)(q-1)+1}) \bmod n = 1^x = x$.

А тепер згадаємо як ми створювали відкритий і закритий ключі. Ми підбирали за допомогою алгоритму Евкліда d таке, що $e*d + (p-1)(q-1)*y = 1$, тобто $e*d = (-y)(p-1)(q-1) + 1$. А отже в останнім вираженні попереднього абзацу ми можемо замінити показник ступеня на число $(e*d)$. Одержуємо $(x^{e*d}) \bmod n = x$. Тобто для того щоб прочитати повідомлення $c_i = ((m_i)e) \bmod n$ досить звести його в ступінь d по модулі n :

$$((c_i)d) \bmod n = ((m_i)e*d) \bmod n = m_i. \quad (1)$$

Насправді операції зведення в ступінь більших чисел досить трудомісткі для сучасних процесорів, навіть якщо вони виробляються по оптимізованим за часом алгоритмам. Тому звичайно весь текст повідомлення кодується звичайним блоковим шифром (набагато більше швидким), але з використанням ключа сеансу, а от сам ключ сеансу шифрується саме асиметричним алгоритмом за допомогою відкритого ключа одержувача й міститься в початок файлу.

2. Односпрямовані геш-функції

Геш-Функція призначена для стиску документа, що підписується, M до декількох десятків або сотень біт. Геш-Функція $h(\cdot)$ приймає як аргумент повідомлення (документ) M довільної довжини й повертає геш-значення $h(M) = H$ фіксованої довжини. Звичайно геширована інформація є стислим двійковим поданням основного повідомлення довільної довжини. Слід зазначити, що значення геш-функції $h(M)$ складним образом залежить від документа M і не дозволяє відновити сам документ M .

Геш-Функція повинна задовольняти цілому ряду умов:

1. геш-функція повинна бути чутлива до всіляких змін у тексті M , таким як вставки, викиди, перестановки й т.п.;
2. геш-функція повинна мати властивість необоротності, тобто завдання підбора документа M' , що мав би необхідне значення геш-функції, повинна бути вчислительно нерозв'язна;
3. імовірність того, що значення геш-функцій двох різних документів (поза залежністю від їхніх довжин) збіжаться, повинна бути мізерно мала.

Більшість геш-функцій будується на основі односпрямованої функції $f(\cdot)$, що утворює вихідне значення довжиною n при завданні двох вхідних значень довжиною p . Цими входами є блок вихідного тексту M , і геш-значення H_{i-1} попереднього блоку тексту:

$$H_i = f(M_i, H_{i-1}).$$

Геш-Значення, що обчислюється при уведенні останнього блоку тексту, стає Геш-значенням усього повідомлення M .

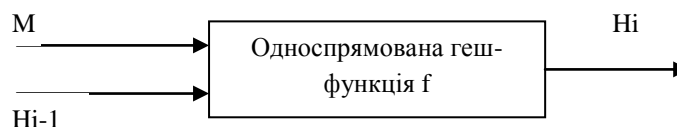


Рис. 1 – Загальна схема побудови односпрямованої геш-функції

У результаті односпрямована Геш-функція завжди формує вихід фіксованої довжини n (незалежно від довжини вхідного тексту).

3. Односпрямовані геш-функції на основі симетричних блокових алгоритмів

Односпрямовану геш-функцію можна побудувати, використовуючи симетричний блоковий алгоритм. Найбільш очевидний підхід полягає в тому, щоб шифрувати повідомлення M за допомогою блокового алгоритму в режимі CBC



або CFB за допомогою фіксованого ключа й деякого вектора ініціалізації IV. Останній блок шифртекста можна розглядати в якості геш-значення повідомлення M. При такому підході не завжди можливо побудувати безпечну односпрямовану геш-функцію, але завжди можна одержати код аутентифікації повідомлення MAC (Message Authentication Code). Більше безпечний варіант геш-функції можна одержати, використовуючи блок повідомлення як ключ, що передьдет геш-значення - як вхід, а поточне геш-значення - як вихід. Реальні геш-функції проєктуються ще більш складними. Довжина блоку звичайно визначається довжиною ключа, а довжина геш-значення збігається з довжиною блоку.

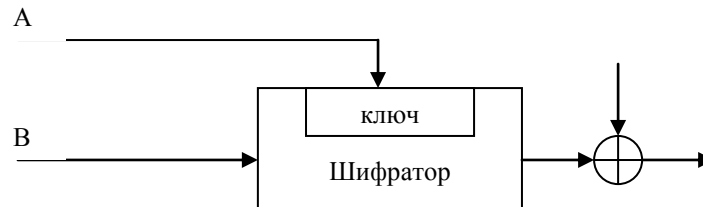


Рис. 2 – Узагальнена схема формування геш-функції

Оскільки більшість блокових алгоритмів є 64-бітовими, деякі схеми геширования проєктують так, щоб геш-значення мало довжину, рівну подвійній довжині блоку.

Якщо прийняти, що одержувана геш-функція коректна, безпека схеми геширования базується на безпеці лежачі в її основі блокового алгоритму. Схема геширования, у якій довжина геш-значення дорівнює довжині блоку. Її робота описується вираженнями:

$$H_0 = I_n, H_i = E_A(B),$$

де I_n - деяке випадкове початкове значення; A, U и C можуть приймати значення $M_i, H_{i-1}, (M_i, H_{i-1})$ або бути константами.

Таблиця 1 – Схеми безпечного геширования, у яких довжина геш-значення дорівнює довжині блоку

Номер схеми	Функція геширования
1	$H_i = E_{H_{i-1}}(M_i) \oplus M_i$
2	$H_i = E_{H_{i-1}}(M_i \wedge H_{i-1}) \oplus M_i \oplus H_{i-1}$
3	$H_i = E_{H_{i-1}}(M_i) \oplus H_{i-1} \oplus M_i$
4	$H_i = E_{H_{i-1}}(M_i \oplus H_{i-1}) \oplus M_i$
5	$H_i = E_{M_i}(H_{i-1}) \oplus H_{i-1}$
6	$H_i = E_{M_i}(M_i \wedge H_{i-1}) \oplus M_i \wedge H_{i-1}$
7	$H_i = E_{M_i}(H_{i-1}) \oplus M_i \oplus H_{i-1}$
8	$H_i = E_{M_i}(M_i \oplus H_{i-1}) \oplus H_{i-1}$
9	$H_i = E_{M_i \oplus H_{i-1}}(M_i) \oplus M_i$
10	$H_i = E_{M_i \oplus H_{i-1}}(H_{i-1}) \oplus H_{i-1}$
11	$H_i = E_{M_i \oplus H_{i-1}}(M_i) \oplus \ll \geq -i$
12	$H_i = E_{M_i \oplus H_{i-1}}(H_{i-1}) \oplus M_i$

Повідомлення M розбивається на блоки M_i прийнятої довжини, які обробляються по черзі.



Три різні змінні А, У і С можуть приймати одне із чотирьох можливих значень, тому в принципі можна одержати 64 варіанта загальної схеми цього типу. З них 52 варіанта є або тривіально слабкими, або небезпечними. Інші 12 безпечних схем геширования перераховані в табл.1.

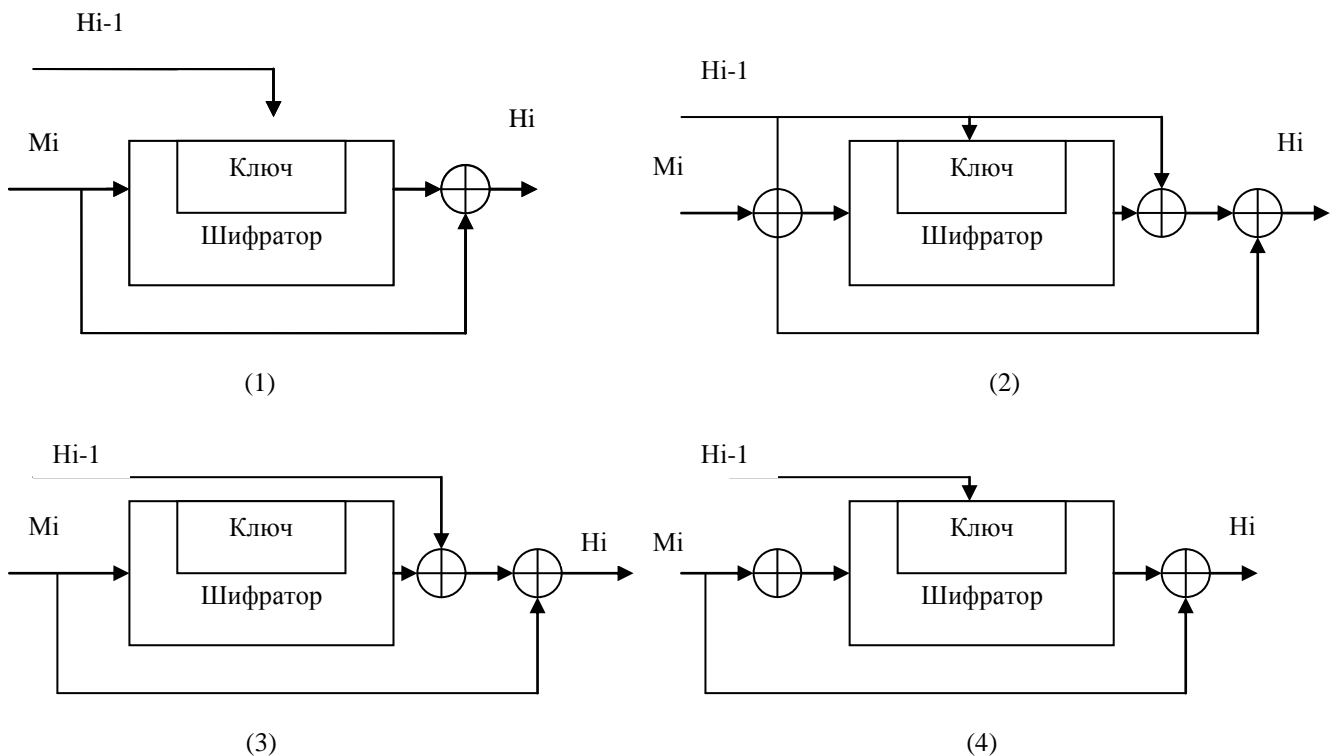


Рис. 3 – Чотири схеми безпечного геширования

4. Один з можливих стандартів геш-функції

Російський стандарт ДЕРЖСТАНДАРТ Р 34.11-95 визначає алгоритм і процедуру обчислення геш-функції для будь-яких послідовностей двійкових символів, застосовуваних у криптографічних методах обробки й захисту інформації. Цей стандарт базується на блоковому алгоритмі шифрування ДЕРЖСТАНДАРТ 28147-89, хоча в принципі можна було б використовувати й другий блоковий алгоритм шифрування з 64-бітовим блоком і 256-бітовим ключем.

Дана геш-функція формує 256-бітове геш-значення.

Функція стиску $H_i = f(M_i, H_{i-1})$ (обоє операнда M_i й H_{i-1} є 256-бітовими величинами) визначається в такий спосіб:

- 1) генеруються 4 ключі шифрування K_j , $j = 1 \dots 4$, шляхом лінійного змішування M_i , H_{i-1} і деяких констант C_j ;
- 2) кожний ключ K_j , використовують для шифрування 64-бітових подслів h_i слова H_{i-1} у режимі простої заміни: $S_i = E_{K_j}(h_j)$. Результуюча послідовність S_4, S_3, S_2, S_1 довжиною 256 біт запам'ятовується в тимчасовій змінній S .
- 3) значення H_i є складної, хоча й лінійній функції змішування S , M_i , і H_{i-1} .

При обчисленні остаточного геш-значення повідомлення M ураховуються значення трьох зв'язаних між собою змінних:

H_n - геш-значення останнього блоку повідомлення;

Z - значення контрольної суми, одержуваної при додаванні по модулі 2 всіх блоків повідомлення;

L - довжина повідомлення.

Ці три змінні й доповнений останній блок повідомлення поєднуються в остаточне геш-значення в такий спосіб:

$$H = f(Z, M', f(L, f(M', H_n)))$$

Дана геш-функція визначена стандартом ДЕРЖСТАНДАРТ Р 34.11-95 для використання разом з російським стандартом електронного цифрового підпису.

5. Алгоритм цифрового підпису RSA

Першою й найбільш відомою в усьому світі конкретною системою ЕЦП стала система RSA, математична схема якої була розроблена в 1977 р. у Массачусетському технологічному інституті США.

Спочатку необхідно обчислити пару ключів (секретний ключ і відкритий ключ). Для цього відправник (автор) електронних документів обчислює два більших простих числа P і Q , потім знаходить їхній добуток $N = P * Q$ і значення функції $(N) = (P-1)(Q-1)$.



Далі відправник обчислює число E з умов:

$$E(N), \text{НОД}(E, (N)) = 1$$

і число D з умов:

$$D < N, E * D \equiv 1 \pmod{(N)}.$$

Пари чисел (E, N) є відкритим ключем. Цю пару чисел автор передає партнерам по переписці для перевірки його цифрових підписів. Число D зберігається автором як секретний ключ для підписування.

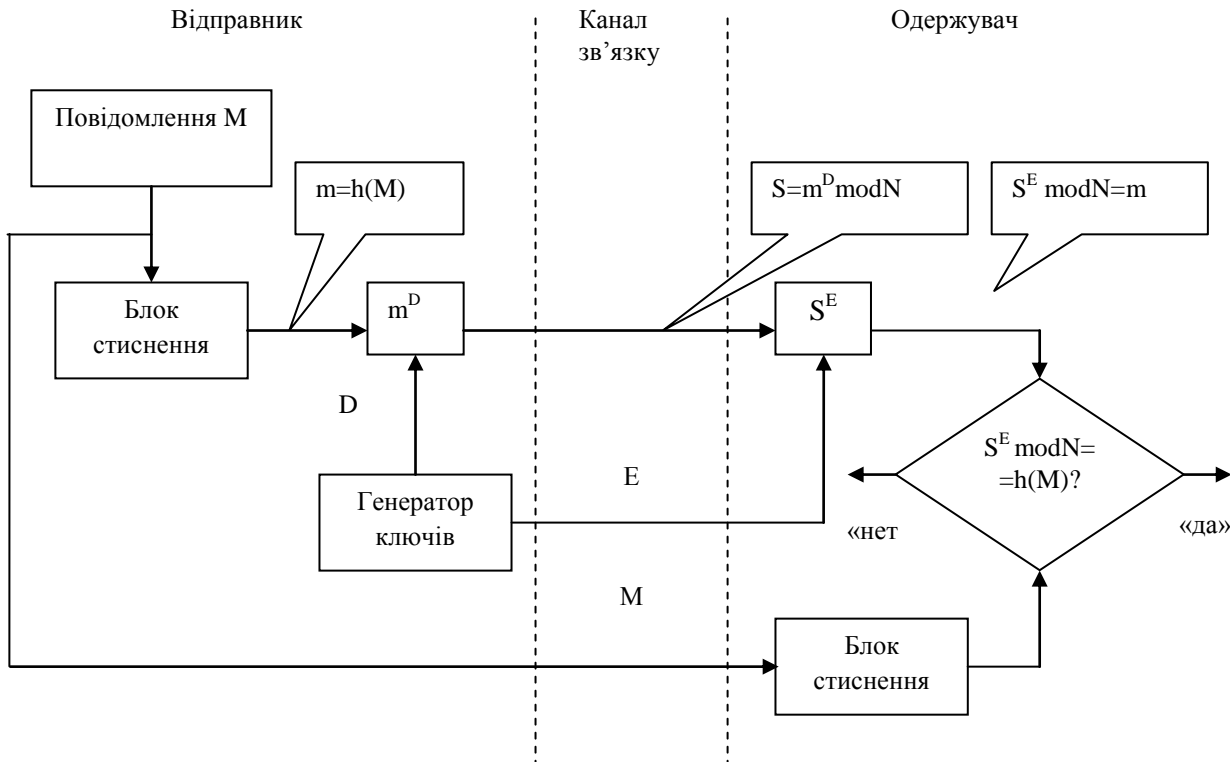


Рис. 4 – Узагальнена схема цифрового підпису RSA

Допустимо, що відправник хоче підписати повідомлення M перед його відправленням. Спочатку повідомлення M (блок інформації, файл, таблиця) стискають за допомогою геш-функції $h(M)$ у ціле число m :

$$m = h(M).$$

Потім обчислюють цифровий підпис S під електронним документом M , використовуючи геш-значення m і секретний ключ D :

$$S = m \pmod{N}.$$

Пари (M, S) передається партнерові-одержувачеві як електронний документ M , підписаний цифровим підписом S , причому підпис S сформований власником секретного ключа D .

Після прийому пари (M, S) одержувач обчислює геш-значення повідомлення M двома різними способами. Насамперед він відновлює геш-значення m' , застосовуючи криптографічне перетворення підпису S з використанням відкритого ключа E :

$$m' = S^E \pmod{N}.$$

Крім того, він знаходить результат геширования прийнятого повідомлення M з допомогою такої ж геш-функції $h()$:

$$m = h(M).$$

Якщо дотримується рівність обчислених значень, тобто

$$S^E \pmod{N} = h(M),$$

те одержувач визнає пару (M, S) справжньої. Доведено, що тільки власник секретного ключа D може сформувати цифровий підпис S по документі M , а визначити секретне число D по відкритому числу E не легше, ніж розкласти модуль N на множники.

Крім того, можна строго математично довести, що результат перевірки цифрового підпису S буде позитивним тільки в тому випадку, якщо при обчисленні S був використаний секретний ключ D . відповідному відкритому ключу E . Тому відкритий ключ E іноді називають "ідентифікатором" що підписав.



Недоліки цифрового підпису RSA.

1. При обчисленні модуля N , ключів E і D для системи цифрового підпису RSA необхідно перевіряти велику кількість додаткових умов, що зробити практично важко. Невиконання кожного із цих умов уможливує фальсифікацію цифрового підпису з боку того, хто виявить таке невиконання. Під час підписання важливих документів не можна допускати таку можливість навіть теоретично.

2. Для забезпечення криптостійкості цифрового підпису RSA стосовно спроб фальсифікації на рівні, наприклад, національного стандарту США на шифрування інформації (алгоритм DES), тобто 10^{18} , необхідно використовувати при обчисленнях N , D і E цілі числа не менш 2^{512} (або близько 10^{154}) кожне, що вимагає більших обчислювальних витрат, що перевищують на 20...30% обчислювальні витрати інших алгоритмів цифрового підпису при збереженні того ж рівня криптостійкості.

3. Цифровий підпис RSA уразливий до так званої мультиплікативної атаки. Інакше кажучи, алгоритм цифрового підпису RSA дозволяє зловмисникові без знання секретного ключа D сформувати підписи під тими документами, у яких результат геширования можна обчислити як добуток результатів геширования вже підписаних документів.

Висновок

Електронний цифровий підпис - ефективне рішення для всіх, хто хоче йти в ногу з новими вимогами часу. Якщо ви не маєте часу чекати приходу фельд'єгерської або кур'єрської пошти за багато сотень кілометрів, щоб перевірити підтвердити висновок угоди або дійсність отриманої інформації. Переваги ЕЦП очевидні - документи, підписані електронним цифровим підписом, можуть бути передані до місця призначення протягом декількох секунд. Всі учасники електронного обміну документами одержують рівні можливості незалежно від їхньої віддаленості друг від друга. Границі завдяки новим технологіям стираються в 21 столітті.

Підробити ЕЦП неможливо - для цього потрібно величезної кількості обчислень, які не можуть бути реалізовані при сучасному рівні обчислювальної техніки й математики за прийнятний час, тобто поки інформація, що втримується в підписаному документі, зберігає актуальність.

Додаткова захист від підробки забезпечується сертифікацією центром, Що Засвідчує, відкритого ключа підпису. Крім того за бажанням клієнта центр, Що Засвідчує, може застрахувати ЕЦП клієнта.

З використанням ЕЦП міняється мислення схема роботи "розробка проекту в електронному виді - створення паперової копії для підпису - пересилання паперової копії з підписом - розгляд паперової копії - перенос її в електронному виді на комп'ютер" іде в минуле.

Список використаних джерел

- [1] Молдовян Н. А. Практикум по криптосистемам с открытым ключом. - СПб.: БХВ -Петербург, 2007. - 304 с: ил.
- [2] Математические и компьютерные основы криптологии: Учеб пособие / Ю.С. Харин В.И. Берник, Г.В. Матвеев, С.В. Агиевич. -Мн.: Новое знание, 2003. - 382 с.
- [3] Фергюсон Н., Шнайер Б. Практическая криптография: Пер. с англ. - М.: Изд. Дом «Вильямс», 2005. - 424е.
- [4] Осипян В. О., Осипян К. В. Криптография в задачах и упражнениях.-М.: Гелиос АРВ, 2004.-144с.
- [5] Криптографические методы защиты информации. Совершенные шифры: Учеб. пособие/ А.Ю. Зубов. -М.: Гелиос АРВ, 2005. - 192с.
- [6] Мао, Венбо. Современная криптография: теория и практика: Пер. с англ. - М: Изд. Дом «Вильямс», 2005. -768с.
- [7] Коблиц Н. Курс теории чисел и криптографии.-М., 2001.
- [8] Лекции по дискретной математике / Ю.В.Капитонова, С.Л. Кривой, А.А. Летичевский, Г.М. Луцкий / СПб.: БХВ -Петербург, 2004. - 624с.
- [9] Шаньгин В.Ф. Информационная безопасность компьютерных систем и сетей. - Изд - во: Форум, 2007.-416с.
- [10] Столлингс В. Криптография и защита сетей. Принципы и практика. Изд-во Диалектика -2001. ~ 672с.

References

- [1] Moldovyan N. A. *Workshop on public key cryptosystems*. SPb.: BHV-Petersburg, 2007. 304 p .
- [2] Kharin Yu. S., Bernik V. I., Matveev G. V., Agievich S. V. *Mathematical and computer foundations of cryptology: Textbook*. Moscow, New knowledge, 2003. 382 p.
- [3] Ferguson N., Schneier B. *Practical cryptograph*, (transl. from eng.) Moscow, Publishing. The Williams House, 2005. 424 p.
- [4] Osipyany V. O., Osipyany K. V. *Cryptography in tasks and exercises*. Moscow, Helios ARV, 2004. 144 p.
- [5] Zubov A. Yu. *Cryptographic methods of information protection. Perfect ciphers: Textbook. allowance*. Moscow, Helios ARV, 2005. 192 p.
- [6] Mao, Wenbo. *Modern cryptography: theory and practice*: (transl. from eng.). Moscow, Publ. Williams House, 2005. 768 p.
- [7] Koblitz N. *The course of number theory and cryptography*. Moscow, 2001.
- [8] Kapitonova Yu. V., Krivoy S. L., Letichevsky A .A., Lutsky G. M. *Lectures on discrete mathematics*. SPb.: BHV-Petersburg, 2004. 624 p.
- [9] Shangin V. F. *Information security of computer systems and networks*. Publisher: Forum, 2007. 416 p.
- [10] Stollings W. *Cryptography and network protection. Principles and practice*. Publishing House of Dialectics, 2001. 672 p.



УДК 681.518.5; 621.565:621.59

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДНОВИХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМОВАНИХ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ

Ю. О. Очеретяний¹, А.І. Головань², Ю.М. Федорова¹¹Національний університет «Одеська морська академія», вул. Дідріхсона 8, Одеса, 65029, Україна²Одеський національний морський університет, вул. Мечникова 34, Одеса, 65029, УкраїнаORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0002-8239-7587>, ² <https://orcid.org/0000-0001-6589-4381>e-mail: ¹och2008@ukr.net; ²andrew.golovan@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal “Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1704>

Анотація. Різноманітний кліматичний режим Світового океану та стан водної поверхні грають істотну роль у формуванні мікроклімату внутрішньосуднових приміщень. Гідрометеорологічні умови, викликаючи різні фізіологічні відхилення від норми у пасажирів і екіпажу, можуть створити у перших незадоволення морською подорожжю, а другим ускладнити виконання службових обов'язків по управлінню судном. Основним призначенням судової системи комфортного кондиціонування повітря (ССККП) є автоматична підтримка заданих параметрів мікроклімату внутрішньосуднових приміщень незалежно від зміни в часі та просторі зовнішніх гідрометеорологічних умов навколишнього середовища. До найбільш поширених на морському флоті способам автоматичного керування і регулювання ССККП відноситься спосіб регулювання шляхом зміни температури холодоносія, яка в свою чергу регулюється зміною продуктивності компресора за допомогою системи керування «Unisab». Дана система допускає регулювання продуктивності компресора в автоматичному режимі, однак, виникає необхідність в завданні значення температури холодоносія механіком в залежності від мінливих зовнішніх і внутрішніх умов навколишнього середовища. Запропонована модель використання програмованих логічних контролерів в якості генератора сигналу управління завданням температури холодоносія дозволяє вирішити проблему коректного регулювання і таким чином збільшити надійність та енергоефективність експлуатації ССККП.

Abstract. The diverse climatic regime of the oceans and the state of the water surface play a significant role in the formation of the microclimate of intravascular spaces. Hydro-meteorological conditions, causing various physiological deviations from the norm in passengers and crew, can in the first place create dissatisfaction with the sea voyage, and in the second complicate the performance of official duties for managing the ship. The primary purpose of the Comfortable Air Conditioning system is to automatically support the set microclimate parameters of intravascular premises, regardless of changes in the weather and space of external environmental meteorological conditions. The most common methods in the Navy are the automatic control and regulation of the SCACS control method by changing the temperature of the coolant, which in turn is governed by the change in compressor performance by the Unisab control system. This system allows the regulation of the compressor productivity in the automatic mode, however, there is a need to set the value of the temperature of the coolant by a mechanic, depending on the changing external and internal environmental conditions. The proposed model of the use of programmable logic controllers as a generator of the control signal of the temperature control of the cold carrier allows to solve the problem of correct regulation and thus to increase the reliability and energy efficiency of operation of the SCACS.

Ключові слова: суднова система комфортного кондиціонування повітря; суднова холодильна установка; гідрометеорологічні умови; система керування; холодоносії; енергоефективність; програмовані логічні контролери

Keywords: ship's system of comfortable air conditioning; ship refrigeration unit; hydrometeorological conditions; control system; cold carrier; energy efficiency; programmable logic controllers

1. Вступ

Відомо, що комфортне кондиціонування повітря на суднах забезпечує процес підтримання у всіх житлових приміщеннях заданих комфортних значень параметрів повітря (найчастіше температури і вологості) незалежно від зміни умов навколишнього середовища та в середині приміщень.



При температурі зовнішнього повітря нижче ніж 10°C ССККП повинна працювати у режимі обігріву, а при температурі вище 23 °С – у режимі охолодження. В інтервалі температур від 10°C до 23 °С – у режимі вентиляції.

Таким чином кондиціонування включає тепло вологу обробку повітря, забезпечення його нормального хімічного складу, доведення повітря до фізіологічних кондицій (озонування, іонізацію). У суднових приміщеннях параметри повітря змінюються інтенсивніше, ніж у берегових, у зв'язку з їх малим обсягом і високою теплопровідністю огорожувальних поверхонь. Мікроклімат внутрішньосуднових приміщень суттєво впливає на самопочуття людей, що постійно знаходяться в них, тому існує необхідність у підтримці комфортних умов в таких приміщеннях. Це забезпечується за допомогою судової системи комфортного кондиціонування повітря (ССККП). Ці системи здатні підтримувати комфортні значення температури, вологості і рухливості повітря і забезпечують необхідний повітрообмін. Усі ССККП мають установки для приготування тепло і холодної, та для тепло вологої обробки повітря і його подачі в приміщення (елементи центрального кондиціонера), повітроводи; розподільників повітря; системи контролю та управління.

Тепло вологий стан каютного повітря визначається не тільки тепло і волого виділеннями людей, а й теплопритоками (тепловтратами) через огороження приміщень, залежними від зовнішніх кліматичних умов. На тепловідчуття людини впливають температура і відносна вологість повітря, швидкість його руху і температура огорожувальних поверхонь. Чи не будь-яке поєднання цих параметрів забезпечує комфортні умови, кожен параметр може змінюватися тільки в обмежених межах. Так, відносна вологість повинна бути $50 \pm 10\%$, швидкість повітря - $0,15 \text{ м / с}$ (допускається до $0,5 \text{ м / с}$), різниця температур повітря в приміщенні і огорожувальних поверхонь не повинна перевищувати $\pm 4 \text{ }^\circ\text{C}$. Зазвичай різниця температур каютного і припливного повітря дорівнює $5 \dots 10 \text{ }^\circ\text{C}$. При спрямованих потоках повітря його температура в зоні проживання повинна бути не нижче $22 \text{ }^\circ\text{C}$ і відрізнятися від середньої температури в приміщенні не більше ніж на $5 \text{ }^\circ\text{C}$. При високій температурі зовнішнього повітря ($34 \dots 40 \text{ }^\circ\text{C}$) слід підтримувати в приміщенні температуру не нижче $27 \text{ }^\circ\text{C}$. При фізичній роботі і в період сну рекомендується знизити температуру на $2 \dots 3 \text{ }^\circ\text{C}$, наближаючи її до нижньої межі зони комфорту ($20 \text{ }^\circ\text{C}$). Слід зазначити, що згідно з санітарними правилами, значення результуючих температур приміщень судів необмеженого району плавання лежить у межах від $18,1^\circ\text{C}$ – для холодного періоду, до $24,2^\circ\text{C}$ – для теплого періоду. Значення норм мікроклімату для суднових приміщень доведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Значення норм мікроклімату для суднових приміщень

Район плавання	Период года	Результирующая температура, °С		
		Нижняя граница	Рекомендуемая расчетная	Верхняя граница
Тропики	—	22,6	24,2	25,7
Субтропики	Теплый	20,8	22,0	23,2
	Холодный	17,7	19,2	20,7
Умеренные широты	Теплый	17,7	19,8	22,0
	Холодный	15,9	18,1	20,3
Северные (приполярные)	Теплый	18,3	20,0	21,6
	Холодный	17,6	19,0	20,4
Неограниченный	Теплый	22,6	24,2	25,7
	Холодный	15,9	18,1	20,3

Різноманітний кліматичний режим Світового океану і стан водної поверхні грають дуже істотну роль у формуванні мікроклімату внутрішньосуднових приміщень.

Мікроклімат таких приміщень залежить від температури і вологості зовнішнього повітря, на величинах яких відбивається вплив ступеня нагрівання бортів і палуби судна, яка визначається значною мірою припливом прямої сонячної радіації. Ця залежність виражається головним чином, через вентилявання суднових приміщень зовнішнім повітрям, обробленим ССККП. Вологість повітря дуже помітно позначається на роботі різних вентиляційних пристроїв. У тих вентиляційних відділеннях, де є повітроохолоджувачі використовують воду зі зниженою температурою ($8 \div 12^\circ\text{C}$), може статися і відбувається конденсація вологи на поверхнях теплообмінних апаратів, а в разі недостатньої теплової ізоляції - і на підвідних магістралях системи охолодження. Утворена в результаті цього вода накопичується на поверхнях і розтрубах вентиляції, якщо дренажна система не забезпечує повноцінного стоку.

Облік таких кліматичних характеристик, як мінімальні і максимальні температури і вологість повітря, від яких залежить ентальпія, є необхідним для роботи систем кондиціонування повітря на морських судах.

Кліматичні умови тропічних широт створюють певний мікроскопічний режим і в інших внутрішніх приміщеннях судна. Наприклад, від нагрівання бортів і палуб судна сонячними променями в денні години, а також в наслідок спільного впливу високої температури і від-відносної вологи повітря у внутрішніх приміщеннях судна виникає задуха, яка без кондиціонування повітря важко переноситься людьми. У нічні години, якщо відсутній кондиціонер в наслідок великого вмісту вологи повітря в каютах з'являється вогкість. Вона особливо помітна на постільній білизні, на обмундируванні та інших предметах з тканин, і якщо їх вдень не виносить на палубу, вони покриваються пліснявою.



Небажаною є і велика сухість повітря в суднових приміщеннях у зв'язку з широким використанням синтетичних матеріалів для обробки останніх на сучасних судах. При малому значенні відносної вологості повітря ($22 \div 24\%$) виникають поля статичної електрики великої напруженості, які негативно діють на самопочуття і здоров'я екіпажу та пасажирів. Таким чином, гідрометеорологічні умови, викликаючи різні фізіологічні відхилення від норми у пасажирів і екіпажу, можуть створити у перших незадоволення морською подорожжю, а другим ускладнити виконання службових обов'язків по управлінню судном.

Успішна експлуатація сучасних ССККП можлива тільки при використанні систем ав-томатизації. Автоматичні пристрої значно спрощують роботу персоналу, обслуговуючого ССККП - точно підтримують заданий температурно-вологовий режим, скорочують експлуатаційні витрати, збільшують термін роботи холодильних компресорів, забезпечують захист ССККП і холодильної установки від аварій.

Такі автоматичні пристрої виконують функції - сигналізації, контролю, захисту, регулювання і управління.

При повній автоматизації всі функції управління і контролю передаються автоматичним системам без безпосередньої участі людини. Пристрої автоматики контролюють режим роботи холодильної установки (показують і записують), автоматичним регулюванням підтримують задані параметри. За допомогою звукових і світлових сигналів сигналізують про включення окремих пристроїв, а також попереджають про небезпечний відхилення параметрів.

Таким чином, метою даної роботи є визначення можливостей оптимізації та збільшення енергоефективності експлуатації ССККП за допомогою оптимального управління програмованих логічних контролерів, в умовах, де постійно змінюються гідрометеорологічні умови.

2. Аналіз проблеми та постановка завдання

Добре відомо, що в даний час на судах морського флоту найбільше використовується система Unisab III.



Рис. 1 – Зовнішній вигляд сучасної системи керування ССККП Unisab III

Unisab III – це комп'ютерна система управління та поточного контролю, яка допускає декілька способів регулювання продуктивності компресора по тискам і температурі. При цьому, регулювання продуктивності може здійснюватися як вручну, так і автоматично. Слід так само відзначити, що навіть в автоматичному режимі роботи, завдання значення температури вихідної охолоджуючої води проводиться обслуговуючим персоналом, в залежності від оцінки впливу зовнішніх гідрометеорологічних умов, сумарних теплоприпливів, що потрапляють в судно із зовні, а також внутрішніх тепло і волого надходжень. При цьому значення температури покидаючої чиллер охолоджуючої води, згідно суднової технічної специфікації, знаходиться в межах $6 \div 12$ °С. Відповідно більш низькі значення, що встановлюються оператором відповідають більш високим показникам температури і відносній вологості навколишнього середовища, і навпаки, при більш низьких значеннях встановлюється більш високе значення температури холодоносія.

Схема сучасного методу управління ССККП наведена на рисунку 2.

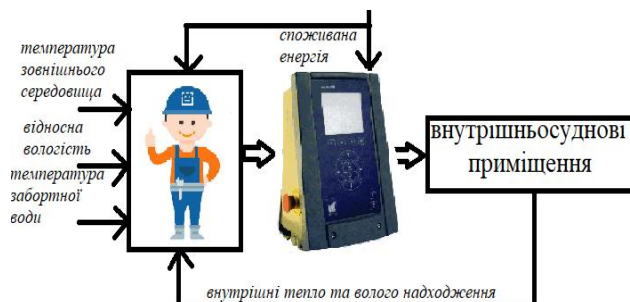


Рис. 2 – Схема сучасного методу управління ССККП

Як видно зі схеми, на даний час прийняття рішень з управління, і як слідство відповідальність за енергоефективну та екологічну складову процесу з експлуатації ССККП повністю лежить на людині – операторі.



При цьому, людині не завжди вдається об'єктивно оцінити усі обставини постійно змінних зовнішніх та внутрішніх умов, та прийняти вірне рішення що до енергоефективного керування. Слід зазначити, що під енергетичною ефективністю розуміють раціональне використання (витрачання) енергетичних ресурсів.

Таким чином безпосередній практичний інтерес представляє питання автоматичного управління завданням значень температури холодоносія, без участі в цьому процесі людини. Це допоможе виключити можливі помилки, так званий людський фактор, а так само підвищити надійність та енергоефективність експлуатації систем СККВ. Передбачається також передача даних термодинамічних параметрів у реальному режимі часу за допомогою бездротових протоколів на будь-який Android або Ios пристрій оператора. Внаслідок чого, механік, який обслуговує систему, може здійснювати повноцінний контроль за роботою системи, незалежно від свого місцезнаходження. Система зв'язку так само робить можливим під'єднати-ня Unisab III до програмованого контролера або персонального комп'ютера системи центра-лізованого контролю, управління і реєстрації даних.

Тому у даній роботі пропонується можливість застосування програмованих логічних контролерів як допоміжних модулів управління ССККП.

Для реалізації системи моніторингу в "жорсткому" реальному часі обраний ПЛК серії Inline ILC 130 ETH німецької фірми Phoenix Contact, який виконаний відповідно до загально-прийнятих стандартів програмування MEK 61131-3 і технології передачі даних Ethernet, підтримує паралельний обмін даними з OPC -Серверами і комунікацію з кінцевими пристроями, що підтримують протокол TCP / IP.

Контролери Unisab III конфігуруються на заводі-виробнику. Вони оснащені комунікаційним обладнанням і протоколами зв'язку для моніторингу та управління широким асортиментом компресорів, холодильних машин і теплових насосів. Також з їх допомогою здійснюється діагностика обладнання та обробка даних (Рис. 3).

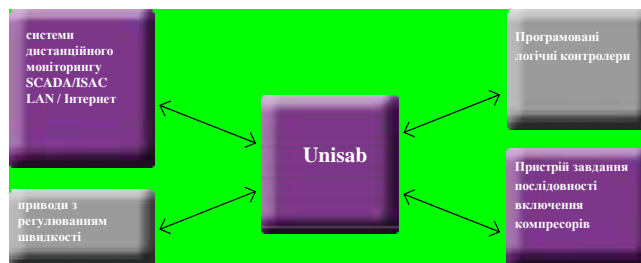


Рис. 3 – Підключення контролера Unisab III до зовнішнього контрольно-вимірювального обладнання



Рис. 4 – Зовнішній вигляд ПЛК «Phoenix»

Основні характеристики ПЛК ILC 130 ETH:

- швидкість обробки 90 мкс на 1000 інструкцій для логічного типу даних і 1,7 мс на 1000 інструкцій для змішаного типу даних;
- один INTERBUS інтерфейс і один Ethernet інтерфейс;
- 192 Кбайт пам'яті програм і 192 Кбайт пам'яті даних, 8 Кбайт незалежної пам'яті даних;
- 8 прямих входів і 4 прямих виходу;
- максимум 2048 точки введення / виведення;
- харчування 24 В;
- вбудований web / FTP server;
- підтримка OPC.

ILC 130 ETH має ступінь захисту IP20 і здатний функціонувати при наступних умовах навколишнього середовища:

- температура навколишнього повітря -25 ° C - 55 ° C;



- допустима відносна вологість повітря 10% - 95%;
- тиск повітря 70 кПа - 106 кПа (До 3000 м над рівнем моря);
- вібрація 5 g.

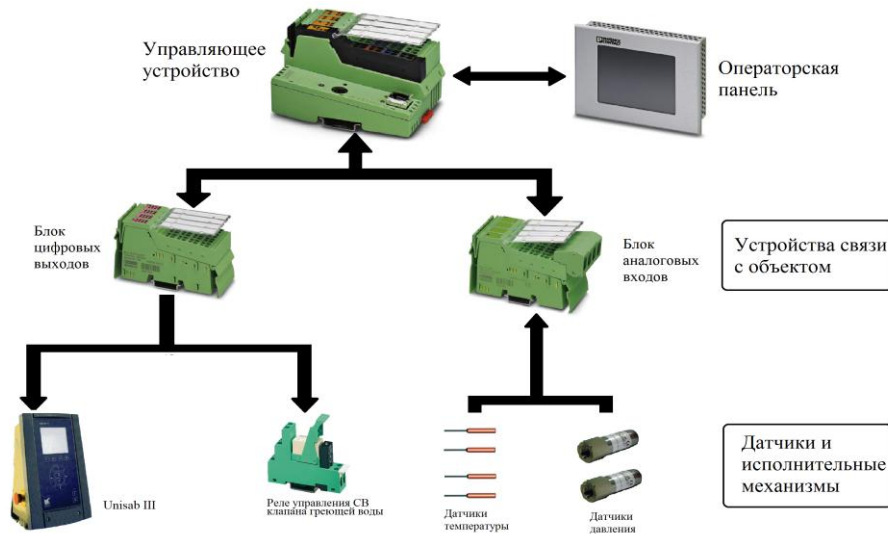


Рис. 5 – Функціональна схема запропонованого методу системи управління за рахунок використання ПЛ-контролерів

Запропонований метод оптимізації експлуатації ССКВ за допомогою використання ПЛК, представлений у вигляді схеми на рисунку 4, полягає в наступному.

Для зв'язку між ПЛК та UNISAB III використовується протокол Danbus. Цей протокол зарезервован для розподілу навантаження (послідовності включення) в установках до 14 Unisab II та Unisab III.

Інтерфейс Danbus можна використовувати для зв'язку з системами моніторингу на базі ПК через перетворювач RS2LAN. Перетворювач RS2LAN розроблений для комунікації з OPC, тобто підтримка OPC в системі моніторингу на базі ПК є обов'язковою умовою.

Danbus заснований на RS485, який є електричним стандартом для послідовного зв'язку. RS485 використовує 2-провідний кабель і повинен бути приєднаний відповідно до специфікацій інструкції Unisab (кабель від Unisab до Unisab тощо). Перетворювач не потрібен, якщо Danbus використовується тільки для послідовності контролерів Unisab.

Сигнали, що надходять у контролер від датчиків температур і вологостей зовнішніх і внутрішніх гідрометеорологічних параметрів навколишнього середовища, а також значень параметрів продуктивності і споживаної потужності компресора, обробляються в контролері за допомогою відповідного алгоритму і програми тепловолого розрахунку необхідної холодопотребности та дійсної холодопродуктивності. Чисельне значення холодопотребности порівнюється зі значенням його дійсної холодопродуктивності для того, щоб зробити обґрунтований висновок про технічний стан холодильної установки і далі, при наявності підстав, перейти до технічної діагностики компонентів всієї холодильної системи. І як наслідок отримати дійсний холодокоefficient, що слугує показником енергетичної ефективності СХУ ССКВ.

З точки зору управління і діагностики цей підхід дозволить мати достовірні оперативні дані що до холодопродуктивності, споживання електричної енергії, а також по питомій витраті енергії на вироблення холоду, крім того, користувач отримає динаміку зміни цих величин за обраний період часу.

На підставі, отриманих від датчиків, зовнішніх і внутрішніх параметрів навколишнього середовища і відповідних функціональних залежностей, алгоритма і програми обробки даних ПЛК формує і за допомогою відповідного протоколу передачі даних, передає керуючий сигнал оптимального значення температури хладоносія системі Unisab III для подальшої її реалізації в СХУ ССКВ, яка задає параметри управління значенням продуктивності компресора.

Таким чином метою даної роботи є отримання графіків функцій та відповідних функціональних залежностей, що пов'язують воедино умови впливу зовнішніх ГМУ, параметрів температури і вологості внутрішньосуднових приміщень, вплив зовнішніх і внутрішніх теплопритоків з температурою холодоносія.

$$T_{охл.в} = f(t_{ос}, \varphi_{ос}, t_{ном}, N_{ном})$$

$$T_{ном} = f(t_{охл.в})$$

Для досягнення поставленої мети використовується методика проведення повного факторного експерименту. Експериментальні дослідження проводилися на борту пасажирського теплохода «BERLIN», загальною сумарною холодопродуктивністю ССКВ 1 650 000 Ккал / год., В період з 08.01.19 по 26.03.19., в умовах плавання судна в різних районах Світового океану з часто змінюючимися зовнішніми гідрометеорологічними умовами.



3. Проведення повного факторного експерименту

Для визначення впливу зовнішніх гідрометеорологічних умов на енергетичну ефективність експлуатації ССККВ необхідно досліджувати вплив таких чинників, як температура навколишнього середовища -Тн.с, температура забортної води – Т з.в , температура охолоджуючої води (холодоносця) – Т о.в., та отримати У (Рис. 6).

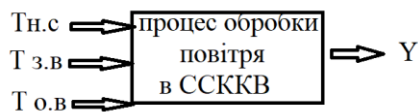


Рис. 6 – Функціональна схема отримання критерія оптимізації

Інтервали варіювання фактора визначаються на основі попередніх експериментів. Ефективність обробки У – це критерій оптимізації. Так як в умовах судна діяли два паралельно працюючих СХУ ССККВ, то факторний експеримент, за цим прикладом, проводився тричі: для першого і другого ССККВ, що працюють паралельно і для другого ССККВ, що працює самостійно. Фактори записують на верхньому і нижньому рівнях у вигляді таблиці.

Таблиця 2 – Інтервали варіювання фактора для першого ССККВ

Фактори	Min(-1)	Max(+1)
X1(тнс)	26.2	34.9
X2(тзв)	23	26
X3(тов)	12.1	14

При відомому значенні числа фактора можна знайти число дослідів для реалізації всіх можливих поєднань рівнів і факторів за формулою:

$$N = 2^n = 2^3 = 8,$$

де N – кількість експериментів; n – кількість факторів.

План експерименту задамо у вигляді таблиці. Для експеримента такого типу таблиця має вигляд:

Таблиця 3 – План експерименту

#(1)	x0	x1	x2	x3	x1x2	x2x3	x1x3	x1x2x3	Y1	Y2	Ymed
1	1	1	1	1	1	1	1	1	16.3	16	16.15
2	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	17.1	17.4	17.25
3	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	17.5	17.8	17.65
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	17.5	17.8	17.65
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	17.3	17	17.15
6	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	17.3	17.5	17.4
7	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	15.3	15.8	15.55
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	18.3	19	18.65
											137.45

Запишемо для повного факторного експеримента рівняння регресії, яке описує процес обробки повітря:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Визначення коефіцієнтів рівняння регресії

Визначимо вільний член за формулою:

$$b_0 = \sum Y_{cp} / N,$$

$$b_0 = 137.45 / 8.$$

Визначимо коефіцієнти взаємодії за формулою:

$$b_1 = \sum x_i \cdot Y_{icp} / N$$

Рівняння регресії після розрахунку має вигляд:

$$Y = 17.18125 - 0.55625x_1 - 0.19375x_2 - 0.00625x_3 + 0.21875x_1x_2 - 0.28125x_2x_3 + 0.28125x_1x_3 - 0.49375x_1x_2x_3$$

Перевірка відтворюваності процесу і значущості коефіцієнтів регресії

Для перевірки відтворюваності процесу і проведення статичних оцінок передбачаються паралельні досліди. Якщо кожен досвід повторюється однакове число раз, то таке повторення називають паралельним дублюванням. При однаковому числі паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів і факторів розраховуються построківі дисперсії і перевіряється їх однорідність за критерієм Кохрена.

Однорідність перевіряється шляхом вибору максимального значення з рядкової дисперсій і визначення для нього розрахункового критерію Кохрена.

Построкові дисперсії розраховуємо за формулою:



$$S^2_{y_i} = (\sum (Y_{1_{\text{экс}}} - Y_{\text{ср.экс}})^2 + (Y_{2_{\text{экс}}} - Y_{\text{ср.экс}})^2) / (H-1),$$

де $H = 2$ – кількість паралельних дослідів.

$$\begin{aligned} S^2_{y_1} &= (16.3 - 16.15)^2 + (16 - 16.15)^2 / (2-1) = 0.045 \\ S^2_{y_2} &= (17.1 - 17.25)^2 + (17.4 - 17.25)^2 / (2-1) = 0.045 \\ S^2_{y_3} &= (17.5 - 17.65)^2 + (17.8 - 17.65)^2 / (2-1) = 0.045 \\ S^2_{y_4} &= (17.5 - 17.65)^2 + (17.8 - 17.65)^2 / (2-1) = 0.045 \\ S^2_{y_5} &= (17.3 - 17.15)^2 + (17 - 17.15)^2 / (2-1) = 0.045 \\ S^2_{y_6} &= (17.3 - 17.4)^2 + (17.5 - 17.4)^2 / (2-1) = 0.02 \\ S^2_{y_7} &= (15.3 - 15.55)^2 + (15.8 - 15.55)^2 / (2-1) = 0.125 \\ S^2_{y_8} &= (8.3 - 18.65)^2 + (19 - 18.65)^2 / (2-1) = 0.245 \\ \sum S^2_{y_i} &= 0.615 \end{aligned}$$

Мах значення $S^2_{y_8} = 0.245$

Визначивши максимальне значення порядкової дисперсії обчислюємо для неї розрахунковий критерій Кохрена:

$$\begin{aligned} G_p &= S^2_{y_{\text{max}}} / \sum S^2_i \\ G_p &= 0.245 / 0.615 = 0.4 \end{aligned}$$

Висновок про однорідність робимо на основі порівняння отриманого розрахункового критерію Кохрена з табличним значенням.

Визначимо дисперсію експерименту:

$$\begin{aligned} S^2_{y_{\text{ср}}} &= \sum S^2_i / N \\ S^2_{y_{\text{ср}}} &= 0.615 / 8 = 0.077 \end{aligned}$$

Визначення дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії

Деякі з обчислень за експериментальними даними коефіцієнтів рівняння регресії по абсолютній величині можуть виявитися дуже малими в порівнянні з іншими, тобто одні з коефіцієнтів будуть значимі, а інші – ні.

Для перевірки гіпотези щодо статичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії розрахуємо дисперсію коефіцієнтів за формулою:

$$\begin{aligned} S^2_{b_i} &= \sum S^2_{y_{\text{ср}}} / N \cdot M, \\ S^2_{b_i} &= 0.077 / 8 \cdot 2 = 0.0048, \end{aligned}$$

де $M = 2$ - кількість паралельних серій.

Для оцінки значущості коефіцієнтів з довірчого інтервалу обчислюємо для кожного коефіцієнта за формулою:

$$\begin{aligned} \Delta b_i &= \pm t \cdot \sqrt{S^2_{b_i}}, \\ \Delta b_i &= \pm 2.31 \cdot \sqrt{0.0048} = \pm 0.16, \end{aligned}$$

де $t = 2.31$ - критерій Стюдента.

Довірчий інтервал Δb_i однаковий для всіх коефіцієнтів, тому для визначення їх значимості можна застосувати правило - коефіцієнт значущий, якщо його абсолютна величина більше довірчого інтервалу.

Незначні коефіцієнти виключаємо з рівняння.

$$\Delta b_i < |\Delta b_{ij}|$$

Остаточно рівняння регресії має вигляд:

$$\begin{aligned} Y &= 17.18125 - 0.55625x_1 - 0.19375x_2 + 0.21875x_1x_2 - 0.28125x_2x_3 + 0.28125x_1x_3 - 0.49375x_1x_2x_3 \\ Y &= 16.625 - 0.025x_2 + 0.28125x_3 - 0.775x_2x_3 \end{aligned}$$

Обчислення розрахункових параметрів оптимізації

Шляхом підстановки відповідних знаків в отримане рівняння регресії повернемося до матриці і перерахуємо рівняння у значущих коефіцієнтах.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів

$Y_{\text{ср}}$	Y	$\Delta Y = Y_{\text{ср}} - Y$	ΔY^2
16.15	16.13	0.02	0.00035
17.25	16.13	1.12	1.2516
17.65	17.68	-0.03	0.00098
17.65	17.68	-0.03	0.00098
17.15	17.12	0.03	0.0010
17.4	17.12	0.28	0.0791
15.55	15.57	-0.02	0.00035
18.65	15.57	3.08	9.4941
$\sum = 137.45$			$\sum = 10.828$

Побудуємо поверхню відгуку:



x2 \ x3	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	17.1438	17.0450	16.9463	16.8475	16.7488	16.6500	16.5513	16.4525	16.3538	16.2550	16.1563
0.8	16.9838	16.9160	16.8483	16.7805	16.7128	16.6450	16.5773	16.5095	16.4418	16.3740	16.3063
0.6	16.8238	16.7870	16.7503	16.7135	16.6768	16.6400	16.6033	16.5665	16.5298	16.4930	16.4563
0.4	16.6638	16.6580	16.6523	16.6465	16.6408	16.6350	16.6293	16.6235	16.6178	16.6120	16.6063
0.2	16.5038	16.5290	16.5543	16.5795	16.6048	16.6300	16.6553	16.6805	16.7058	16.7310	16.7563
0	16.3438	16.4000	16.4563	16.5125	16.5688	16.6250	16.6813	16.7375	16.7938	16.8500	16.9063
-0.2	16.1838	16.2710	16.3583	16.4455	16.5328	16.6200	16.7073	16.7945	16.8818	16.9690	17.0563
-0.4	16.0238	16.1420	16.2603	16.3785	16.4968	16.6150	16.7333	16.8515	16.9698	17.0880	17.2063
-0.6	15.8638	16.0130	16.1623	16.3115	16.4608	16.6100	16.7593	16.9085	17.0578	17.2070	17.3563
-0.8	15.7038	15.8840	16.0643	16.2445	16.4248	16.6050	16.7853	16.9655	17.1458	17.3260	17.5063
-1	15.5438	15.7550	15.9663	16.1775	16.3888	16.6000	16.8113	17.0225	17.2338	17.4450	17.6563

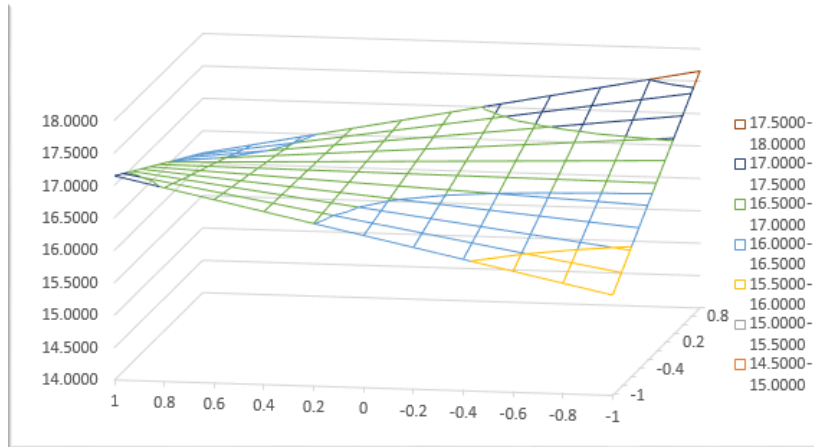


Рис. 7 – Побудова поверхні відгуку

Таблиця 5 – Інтервали варіювання фактора для другого ССКВ

Фактори	Min(-1)	Max(+1)
X1(тоc)	25.9	34.6
X2(тзв)	22.7	25.7
X3(тов)	11.8	13.7

Число дослідів для реалізації всіх можливих поєднань рівнів і факторів обчислюється за формулою:

$$N = 2^n = 2^3 = 8,$$

де N – кількість експериментів; n – кількість факторів.

План експерименту наведено у таблиці 6:

Таблиця 6 – План експерименту

#(2)	x0	x1	x2	x3	x1x2	x2x3	x1x3	x1x2x3	Y1	Y2	Ymed
1	1	1	1	1	1	1	1	1	62	62.3	62.15
2	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	60	59.7	59.85
3	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	60	59.7	59.85
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	60	59.7	59.85
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	68	68.3	68.15
6	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	68	67.8	67.9
7	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	62	61.5	61.75
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	72	71.3	71.65
											511.15

Рівняння регресії, що описує процес обробки повітря, має вигляд:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Визначення коефіцієнтів рівняння регресії

Визначимо вільний член за формулою:

$$b_0 = \sum Y_{cp} / N,$$

$$b_0 = 511.15 / 8.$$



Визначимо коефіцієнти взаємодії за формулою:

$$b_1 = \sum x_i \cdot Y_{icp} / N$$

Рівняння регресії після розрахунку має вигляд:

$$Y = 63.89375 - 0.91875x_1 + 0.61875x_2 - 3.46875x_3 + 1.55625x_1x_2 - 0.04375x_2x_3 + 1.49375x_1x_3 - 0.98125x_1x_2x_3$$

Перевірка відтворюваності процесу і значущості коефіцієнтів регресії

Для перевірки відтворюваності про-процесу і проведення статичних оцінок перед-розглядаються паралельні досліди. Якщо кожен досвід повторюється однаковий-ше число раз, то таке повторення називають паралельним дублюванням. При однаковому числі паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів і факто-рів розраховуються построккові дисперсії і перевіряється їх однорідність за критерієм Кохрена. Однорідність перевіряється шляхом вибору максимального значення з рядкової дис-персів і визначення для нього розрахункового кри-терия Кохрена.

Построкові дисперсії розраховуємо за формулою:

$$S_{y_i}^2 = (\sum (Y_{1_{екс}} - Y_{cp.екс})^2 + (\sum (Y_{2_{екс}} - Y_{cp.екс})^2) / (H-1),$$

де $H=2$ – кількість паралельних дослідів.

$$S_{y_1}^2 = (62 - 62.15)^2 + (62.3 - 62.15)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S_{y_2}^2 = (60 - 59.8)^2 + (59.7 - 59.85)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S_{y_3}^2 = (60 - 59.8)^2 + (59.7 - 59.8)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S_{y_4}^2 = (60 - 59.8)^2 + (59.7 - 59.8)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S_{y_5}^2 = (68 - 68.15)^2 + (68.3 - 68.15)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S_{y_6}^2 = (68 - 67.9)^2 + (67.8 - 67.9)^2 / (2-1) = 0.02$$

$$S_{y_7}^2 = (62 - 61.75)^2 + (61.5 - 61.75)^2 / (2-1) = 0.125$$

$$S_{y_8}^2 = (72 - 71.65)^2 + (71.3 - 71.65)^2 / (2-1) = 0.245$$

$$\sum S_{y_i}^2 = 0.615$$

Мах значення $S_{y_8}^2 = 0.245$

Визначивши максимальне значення рядкової дисперсії обчислюємо для неї розрахунковий критерій Кохрена:

$$G_p = S_{y_{max}}^2 / \sum S_{y_i}^2$$

$$G_p = 0.245 / 0.615 = 0.4$$

Висновок про однорідність робимо на основі порівняння отриманого розрахункового критерію Кохрена з табличним значенням.

Визначимо дисперсію експерименту:

$$S_{y_{cp}}^2 = \sum S_{y_i}^2 / N$$

$$S_{y_{cp}}^2 = 0.615 / 8 = 0.077$$

Визначення дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії

Для перевірки гіпотези щодо статичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії розрахуємо дисперсію коефіцієнтів по формулі:

$$S_{b_i}^2 = \sum S_{y_{cp}}^2 / N \cdot M,$$

$$S_{b_i}^2 = 0.077 / 8 \cdot 2 = 0.0048,$$

де $M = 2$ – кількість паралельних серій.

Для оцінки значущості коефіцієнтів з довірчого інтервалу обчислюємо для кожного коефіцієнта за формулою:

$$\Delta b_i = \pm t \cdot \sqrt{S_{b_i}^2}$$

$$\Delta b_i = \pm 2.31 \cdot \sqrt{0.0048} = \pm 0.16$$

де $t = 2.31$ – критерій Стьюдента.

Довірчий інтервал Δb_i однаковий для всіх коефіцієнтів, тому для визначення їх значущості можна застосувати правило: коефіцієнт значущий, якщо його абсолютна величина більше довірчого інтервалу. Незначні коефіцієнти виключаємо із рівняння.

$$\Delta b_i < |\Delta b_{ij}|$$

Остаточно рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 63.89375 - 0.91875x_1 - 0.61875x_2 - 3.46875x_3 + 1.55625x_1x_2 + 1.49375x_1x_3 - 0.98125x_1x_2x_3$$

$$Y = 62.975 + 2.175x_2 - 1.975x_3 - 0.98125x_2x_3$$

Обчислення розрахункових параметрів оптимізації

Шляхом підстановки відповідних знаків в отримане рівняння регресії повернемося до матриці і перерахуємо рівняння у значущих коефіцієнтів.



Таблиця 7 – Значення коефіцієнтів

Y_{cp}	Y	$\Delta Y = Y_{cp} - Y$	ΔY^2
62.15	62.19	-0.04	0.002
59.85	62.19	-2.34	5.49
59.85	59.81	0.04	0.002
59.85	59.81	0.04	0.002
68.15	68.11	0.04	0.002
67.9	68.11	-0.21	0.04
61.75	61.79	-0.04	0.002
71.65	61.79	9.86	97.15
$\Sigma=511.15$		$\Sigma=102.69$	

Побудуємо поверхню відгуку:

$x_3 \backslash x_2$	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	66.32875	66.093	65.85725	65.6215	65.38575	65.15	64.91425	64.6785	64.44275	64.207	63.97125
0.8	65.6975	65.501	65.3045	65.108	64.9115	64.715	64.5185	64.322	64.1255	63.929	63.7325
0.6	65.06625	64.909	64.75175	64.5945	64.43725	64.28	64.12275	63.9655	63.80825	63.651	63.49375
0.4	64.435	64.317	64.199	64.081	63.963	63.845	63.727	63.609	63.491	63.373	63.255
0.2	63.80375	63.725	63.64625	63.5675	63.48875	63.41	63.33125	63.2525	63.17375	63.095	63.01625
0	63.1725	63.133	63.0935	63.054	63.0145	62.975	62.9355	62.896	62.8565	62.817	62.7775
-0.2	62.54125	62.541	62.54075	62.5405	62.54025	62.54	62.53975	62.5395	62.53925	62.539	62.53875
-0.4	61.91	61.949	61.988	62.027	62.066	62.105	62.144	62.183	62.222	62.261	62.3
-0.6	61.27875	61.357	61.43525	61.5135	61.59175	61.67	61.74825	61.8265	61.90475	61.983	62.06125
-0.8	60.6475	60.765	60.8825	61	61.1175	61.235	61.3525	61.47	61.5875	61.705	61.8225
-1	60.01625	60.173	60.32975	60.4865	60.64325	60.8	60.95675	61.1135	61.27025	61.427	61.58375

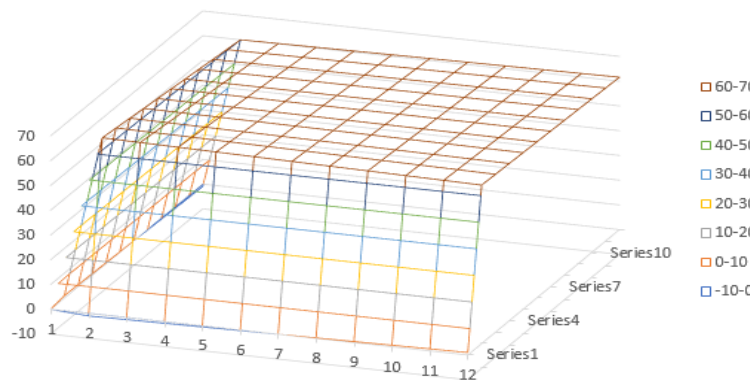


Рис. 8 – Побудова поверхні відгуку

Таблиця 8 – Інтервали варіювання фактора для другого ССККВ, що працює самостійно

Фактори	Min(-1)	Max(+1)
X1(тоє)	19.2	23.3
X2(тзв)	14	21
X3(тов)	10.2	12.1

План експерименту наведено у таблиці 9:

Таблиця 9 – План експерименту

	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_2x_3	x_1x_3	$x_1x_2x_3$	Y_1	Y_2	Y_{med}
1	1	1	1	1	1	1	1	1	50	50.3	50.15
2	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	48	47.7	47.85
3	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	48	47.7	47.85
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	33	32.7	32.85
5	1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	33	33.3	33.15
6	1	-1	1	-1	-1	-1	1	1	19	18.8	18.9
7	1	1	-1	-1	-1	1	-1	1	25	24.5	24.75
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	15	14.3	14.65
											270.15



Запишемо для повного фактичного експерименту рівняння регресії, яке описує процес обробки повітря:

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{23}x_2x_3 + b_{13}x_1x_3 + b_{123}x_1x_2x_3$$

Визначення коефіцієнтів рівняння регресії

Визначимо вільний член за формулою:

$$b_0 = \sum Y_{cp} / N,$$

$$b_0 = 270.15/8.$$

Визначимо коефіцієнти взаємодії за формулою:

$$b_1 = \sum x_i \cdot Y_{icp} / N$$

Рівняння регресії після розрахунку має вигляд:

$$Y = 33.76875 + 5.20625x_1 + 3.74375x_2 + 10.90625x_3 - 1.06875x_1x_2 + 0.58125x_2x_3 - 0.88125x_1x_3 - 2.10625x_1x_2x_3$$

Перевірка відтворюваності процесу і значущості коефіцієнтів регресії

Для перевірки відтворюваності процесу і проведення статичних оцінок розглядаються паралельні досліди. Якщо кожен досвід повторюється однаково число разів, то таке повторення називають паралельним дублюванням.

При однаковому числі паралельних дослідів на кожному поєднанні рівнів і факторів розраховуються построківі дисперсії і перевіряється їх однорідність за критерієм Кохрена. Однорідність перевіряється шляхом вибору максимального значення з рядкової дисперсії і визначення для нього розрахункового критерію Кохрена.

Построкові дисперсії розраховуємо за формулою:

$$S^2_{y_i} = (\sum (Y_{1\text{экс}} - Y_{cp.\text{экс}})^2 + (\sum (Y_{2\text{экс}} - Y_{cp.\text{экс}})^2)) / (H-1)$$

де $H=2$ – кількість паралельних дослідів.

$$S^2_{y_1} = (50 - 50.15)^2 + (50.3 - 50.15)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S^2_{y_2} = (48 - 47.85)^2 + (47.7 - 47.85)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S^2_{y_3} = (48 - 47.85)^2 + (47.7 - 47.85)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S^2_{y_4} = (33 - 32.85)^2 + (32.7 - 32.85)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S^2_{y_5} = (33 - 33.15)^2 + (33.3 - 33.15)^2 / (2-1) = 0.045$$

$$S^2_{y_6} = (19 - 18.9)^2 + (18.8 - 18.9)^2 / (2-1) = 0.02$$

$$S^2_{y_7} = (25 - 24.75)^2 + (24.5 - 24.75)^2 / (2-1) = 0.125$$

$$S^2_{y_8} = (15 - 14.65)^2 + (14.3 - 14.65)^2 / (2-1) = 0.245$$

$$\sum S^2_{y_i} = 0.615$$

Мах значення $S^2_{y_8} = 0.245$

Визначивши максимальне значення рядкової дисперсії обчислюємо для нього розрахунковий критерій Кохрена:

$$G_p = S^2_{y_{\max}} / \sum S^2_{y_i}$$

$$G_p = 0.245 / 0.615 = 0.4$$

Висновок про однорідність робимо на основі порівняння отриманого розрахункового критерію Кохрена з табличним значенням.

Визначимо дисперсію експерименту:

$$S^2_{y_{cp}} = \sum S^2_{y_i} / N$$

$$S^2_{y_{cp}} = 0.615 / 8 = 0.077$$

Визначення дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії

Для перевірки гіпотези щодо статичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії розрахуємо дисперсію коефіцієнтів:

$$S^2_{b_i} = \sum S^2_{y_{cp}} / N \cdot M$$

$$S^2_{b_i} = 0.077 / 8 \cdot 2 = 0.0048$$

де $M = 2$ – кількість паралельних серій.

Для оцінки значущості коефіцієнтів з довірчого інтервалу обчислюємо для кожного коефіцієнта за формулою:

$$\Delta b_i = \pm t \cdot \sqrt{S^2_{b_i}}$$

$$\Delta b_i = \pm 2.31 \cdot \sqrt{0.0048} = \pm 0.16$$

де $t = 2.31$ – критерій Стьюдента.

Незначні коефіцієнти виключаємо із рівняння.

Остаточне рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 38.975 + 3.74375x_2 + 10.90625x_3 - 1.06875x_2 + 0.58125x_2x_3 - 0.88125x_3 - 2.10625x_1x_2x_3$$

$$Y = 38.975 + 2.675x_2 + 10.025x_3 - 1.525x_2x_3$$

**Обчислення розрахункових параметрів оптимізації**

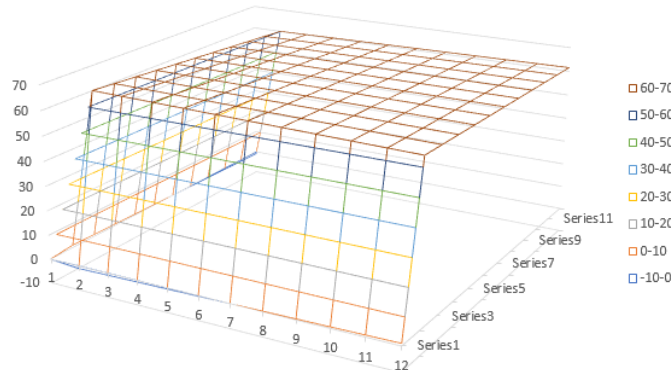
Шляхом підстановки відповідних знаків в отримане рівняння регресії повернемося до матриці і перерахуємо рівняння у значимих коефіцієнтів.

Таблиця 10 – Значення коефіцієнтів

Y_{cp}	Y	$\Delta Y = Y_{cp} - Y$	ΔY^2
50.15	50.15	0	0
47.85	50.15	-2.3	5.29
47.85	47.85	0	0
32.85	47.85	-15	225
33.15	33.15	0	0
18.9	33.15	-14.25	203.0625
24.75	24.75	0	0
14.65	24.75	-10.1	102.01
$\Sigma=270.15$		$\Sigma=535.3625$	

Побудуємо поверхню відгуку

x2 \ x3	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
1	66.32875	66.093	65.85725	65.6215	65.38575	65.15	64.91425	64.6785	64.44275	64.207	63.97125
0.8	65.6975	65.501	65.3045	65.108	64.9115	64.715	64.5185	64.322	64.1255	63.929	63.7325
0.6	65.06625	64.909	64.75175	64.5945	64.43725	64.28	64.12275	63.9655	63.80825	63.651	63.49375
0.4	64.435	64.317	64.199	64.081	63.963	63.845	63.727	63.609	63.491	63.373	63.255
0.2	63.80375	63.725	63.64625	63.5675	63.48875	63.41	63.33125	63.2525	63.17375	63.095	63.01625
0	63.1725	63.133	63.0935	63.054	63.0145	62.975	62.9355	62.896	62.8565	62.817	62.7775
-0.2	62.54125	62.541	62.54075	62.5405	62.54025	62.54	62.53975	62.5395	62.53925	62.539	62.53875
-0.4	61.91	61.949	61.988	62.027	62.066	62.105	62.144	62.183	62.222	62.261	62.3
-0.6	61.27875	61.357	61.43525	61.5135	61.59175	61.67	61.74825	61.8265	61.90475	61.983	62.06125
-0.8	60.6475	60.765	60.8825	61	61.1175	61.235	61.3525	61.47	61.5875	61.705	61.8225
-1	60.01625	60.173	60.32975	60.4865	60.64325	60.8	60.95675	61.1135	61.27025	61.427	61.58375

**4. Висновок**

Запропонована система з використанням програмованих логічних контролерів дозволить:

- уникнути прийняття суб'єктивних рішень з управління, і як слідство – відповідальність за енергоефективну та екологічну складову процесу з експлуатації ССККП людиною – оператором;
- збільшити енергетичну ефективність використання ССККП за допомогою оптимального управління програмованих логічних контролерів, в умовах, де постійно змінюються зовнішні гідрометеорологічні умови.
- в автоматичному режимі отримувати дані та можливість їх корегування, з холодопродуктивності, споживання електричної енергії у реальному часі, а також дані з питомої витрати енергії на вироблення холоду, крім того, користувач отримує динаміку змін цих величин за обраний період часу.

Список використаних джерел

- [1] Загоруйко В.А., Голиков А.А. Судовая холодильная техника–Киев: Наукова думка, 2000.– 607 с.
- [2] Очеретяный Ю.А. Техническая эксплуатация судовых холодильных установок и систем кондиционирования // Учебное пособие для курсантов и студентов высших морских учебных заведений 2014. - Одеса: Изд. ОНМА, 204 с.
- [3] Очеретяный Ю.А., Живица В.И., Белый В.Н., Онищенко О.А., Вайнфельд Э.Й. Концепция системы компьютерного мониторинга и технической диагностики рефрижераторной установки судна // Судовые энергетические установки: науч. -техн. сб. - 2011. - Вып. 28. Одесса: ОНМА - С. 5 - 11.



- [4] Очеретяный Ю.А. Определение изменений теплотехнических характеристик судовых холодильных установок в процессе эксплуатации // Холодильная техника и технология. – 2013. – Вып. 2 (142). – С. 15-19.
- [5] Очеретяный Ю.А. Определение отклонений функционирования судовой холодильной установки в процессе эксплуатации // Холодильная техника и технология. – 2013. – Вып. 3 (143). – С. 10-14.
- [6] Очеретяный Ю.А., Живица В.И., Онищенко О.А., Вайнфельд Э.Й., Тюхай Д.С. Разработка системы измерения энергетических показателей компрессионной холодильной установки // Харчова наука і технологія. – 2011. – Вып. 4(17). – С. 107 - 109.
- [7] Очеретяный Ю.А. Определение термодинамических показателей судовой холодильной установки в процессе эксплуатации // Проблеми техніки. - 2013. – Вып. 2. – С. 119 - 125.

References

- [1] Zagoruiko V. A., Golikov A. A. Ship refrigeration equipment. Kiev: Naukova Dumka, 2000. 607p.
- [2] Ocheretyanyu Y. Technical operation of ship refrigeration units and air conditioning systems. Textbook for cadets and students of higher marine educational institutions, 2014. Odessa: ONMA Publishing House, 204 p.
- [3] Ocheretyanyu Y. A., Zhivitsa V. I., Belyi V. N., Onishchenko O. A., Weinfeld E. Y. The concept of a system for computer monitoring and technical diagnostics of a refrigerator installation of a ship. Ship power plants, 2011. Issue. 28. Pp. 5-11.
- [4] Ocheretyanyu Y. Determination of changes in the thermal characteristics of ship refrigeration units during operation. Refrigeration Engineering and technology. 2013. No. 2(142). Pp. 15-19.
- [5] Ocheretyanyu Y. Determination of deviations of functioning of a ship refrigeration unit during operation. Refrigeration Engineering and technology. 2013. No. 3(143). Pp. 10-14.
- [6] Ocheretyanyu Y. A., Zhivitsa V. I., Onishchenko O. A., Weinfeld E. I., Tyukhai D. S. Development of a system for measuring the energy performance of a compression refrigeration unit. Food science and technology. 2011. No. 4(17). Pp. 107-109.
- [7] Ocheretyanyu Y. Determination of thermodynamic indicators of a ship refrigeration unit during operation. Problems of technology. 2013. No. 2. Pp. 119-125.

УДК [621.867.3:622.612]:658.5

САР ИНВАРИАНТНАЯ К КОНТРОЛИРУЕМЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ С ПРОГНОЗИРОВАНИЕМ СИГНАЛА КОРРЕКЦИИ ПО КУБИЧЕСКОМУ СПЛАЙНУ

М. Т. Степанов¹, В. А. Хобин²

^{1,2} Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна

ORCID: ¹ <https://orcid.org/0000-0003-1297-5537>, ² <https://orcid.org/0000-0003-0238-8371>

e-mail: ¹ stepanov197818@gmail.com; ² khobin@onaft.edu.ua

Copyright © 2020 by author and the journal “Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1705>

Аннотация. В статье рассматривается система автоматического регулирования, реализующая комбинированный принцип управления инвариантная относительно контролируемых возмущений. В математических моделях корректирующих связей систем автоматического регулирования инвариантных к контролируемым возмущениям часто присутствуют физически не реализуемые звенья чистого опережения. В инженерной практике для прогнозирования сигнала коррекции на время вперед такие звенья приближенно заменяют форсирующими звеньями. В качестве альтернативы такому подходу предлагается вести прогнозирование сигнала коррекции на основе кубического сплайна. Проведенный анализ показывает, что отдельные участки траектории движения сигнала могут быть представлены непрерывными, многократно дифференцируемыми функциями (например, кубическим сплайном).



Для модели кубического сплайнов найдены соотношения, позволяющие оценивать их параметры и вести расчет прогнозного значения переменной в реальном времени. Проведен структурный и оптимальный параметрический синтез альтернативных вариантов систем автоматического регулирования инвариантных к контролируемым возмущениям. Сравнительный анализ оптимальных систем, проведенный во временной и частотных областях показал значительное преимущество системы регулирования с прогнозированием сигнала коррекции по кубическому сплайну. В сравнении с системой, где для прогнозирования используется форсирующее звено, система регулирования с прогнозированием по кубическому сплайну обеспечивает снижение интегрального и прямых показателей качества в несколько раз. Анализ амплитудо-частотных характеристик систем автоматического регулирования показал, что система автоматического регулирования с прогнозированием сигнала коррекции по кубическому сплайну может эффективно подавлять возмущения в широком диапазоне частот.

Abstract. The article provides an automatic control system that offers a combined control principle that is invariant with respect to controlled disturbances. In mathematical models of corrective connections of automatic control systems that are invariant to controlled disturbances, physically unrealizable links of pure lead are often present. In engineering practice, to predict the correction signal for the time ahead, such links are approximately replaced by boosters. As an alternative to this approach, it is proposed to predict the correction signal based on the cubic spline. The analysis shows that individual sections of the path of the correction signal can be represented by continuous, repeatedly differentiable functions (for example, a cubic spline). Relationships have been found for the cubic splines model, which make it possible to evaluate their parameters and calculate the predicted value of the variable in real time. The structural and optimal parametric synthesis of alternative variants of automatic control systems invariant to controlled disturbances is carried out. A comparative analysis of the optimal systems carried out in the time and frequency domains showed a significant advantage of the control system with the prediction of the correction signal for the cubic spline. In comparison with a system where a boosting link is used for forecasting, a regulation system with cubic spline forecasting provides a several-fold decrease in the integral and direct quality indicators. Analysis of the amplitude-frequency characteristics of automatic control systems showed that the automatic control system with the prediction of the correction signal for the cubic spline can effectively suppress disturbances in a wide frequency range.

Ключевые слова: прогнозирование, кубический сплайн, ошибка прогнозирования, система автоматического регулирования, инвариантность.

Keywords: prediction, cubic spline, prediction error, automatic control system, invariance.

Введение

Построение САР инвариантных к контролируемым возмущениям на основе принципа Б.Н. Петрова позволяет в значительной мере компенсировать эти возмущения и снизить ошибки стабилизации. При синтезе САР инвариантных к контролируемым возмущениям в математических моделях корректирующих связей часто присутствуют физически не реализуемые звенья чистого опережения. Появление звена чистого опережения происходит, когда в объекте управления (ОУ) запаздывание в канале управления значительно больше, чем запаздывание в канале действия контролируемых возмущений и пренебречь этой составляющей невозможно. В инженерной практике при реализации корректирующей связи для прогнозирования сигнала коррекции на время вперед такие звенья приближенно заменяют реальными форсирующими звеньями. В качестве альтернативы такому подходу предлагается вести более точное прогнозирование сигнала коррекции на основе кубического сплайна, что позволит эффективнее компенсировать контролируемые возмущения.

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Проведенный в [1] анализ показывает, что отдельные участки траектории движения регулируемой переменной могут быть представлены непрерывными, многократно дифференцируемыми функциями (сплайнами). В качестве наиболее эффективного рассматривается кубический сплайн. Для моделей кубического сплайна найдены соотношения, позволяющие оценивать их параметры в реальном времени и вести расчет прогнозного значения переменной. Результаты исследований показали, что использование кубического сплайна позволяет достаточно точно прогнозировать значения гармонических сигналов на интервалах меньших полупериода, а случайных гауссовских процессов на интервалах меньших одного, двух интервалов корреляции, при этом большие интервалы прогнозирования соответствуют узкополосным, близким к квазигармоническим случайным процессам. Полученные результаты подтверждают возможность включить выбранный сплайн для прогнозирования отфильтрованных от шумов координатных возмущений без больших погрешностей на время соизмеримое с временем запаздывания в канале управления. Но это требует дополнительных исследований разработанных алгоритмов в цепях САР.

Анализ современных подходов [2,3] подтверждает актуальность использования принципа управления по прогнозу в современных САР в том числе в системах с комбинированным принципом управления.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является оценка повышения динамической точности САР инвариантной к контролируемым возмущениям за счет прогнозирования сигнала коррекции по кубическому сплайну для случая, когда в математической модели корректирующей связи присутствует физически не реализуемые звенья чистого опережения.



Для этого звена чистого опережения заменяем математической моделью прогнозирования на основе кубического сплайна. Для достижения поставленной цели необходимо провести структурный и оптимальный параметрический синтез САР инвариантных к контролируемым возмущениям с прогнозированием сигнала коррекции на основе реального форсирующего звена и на основе кубического сплайна. После этого провести всесторонний сравнительный анализ этих систем.

Методы и материалы исследований

Для проведения исследований в качестве основного метода будем использовать метод имитационного моделирования в среде Simulink системы Matlab. Для этого на первом этапе разработаем структурные схемы САР и проведем расчет корректирующих связей. Структурная схема САР инвариантной к контролируемым возмущениям представлена на рисунке 1.

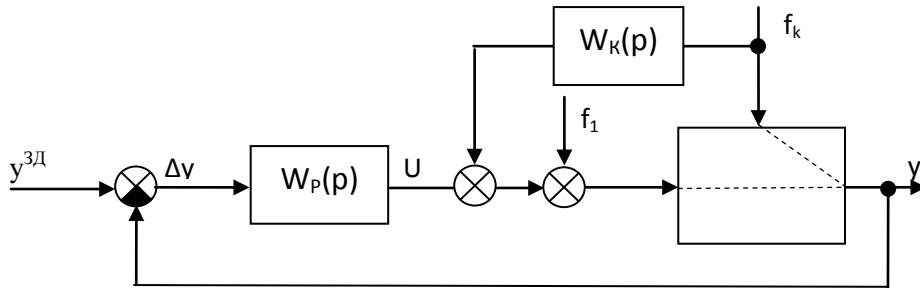


Рис. 1 – Структурная схема комбинированной САР инвариантной к контролируемым возмущениям

В качестве регулятора будем использовать ПИД - регулятор с реальным дифференциатором. Для оценки качества работы САР в установившихся режимах воспользуемся интегральным квадратичным показателем качества:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T (\Delta y(t))^2 dt \quad (1)$$

Модель объекта управления рассмотрим со статическими свойствами и значительно разными запаздываниями по каналам управления и возмущения. На рисунке 2 представлены нормированные переходные характеристики модели ОУ по каналу управления и каналу контролируемого возмущения с иллюстрацией процедуры параметрической идентификации моделей первого порядка по методике Мининой.

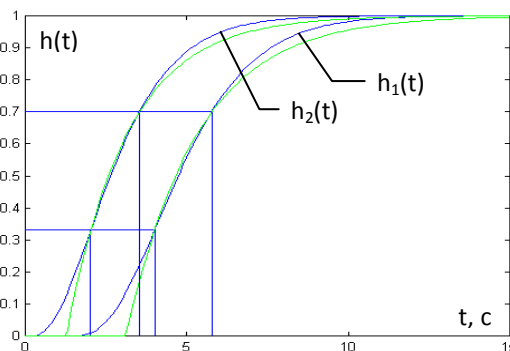


Рис. 2 – Иллюстрация процедуры параметрической идентификации параметров модели ОУ (методика Мининой) по каналам управления (h1) и по каналу действия контролируемого возмущения (h2).

Передаточные функции моделей первого порядка по каналу управления и по каналу контролируемых возмущений.

$$W_{uy}(p) = \frac{1.2e^{-3.1p}}{2.2p+1} \quad W_{ky}(p) = \frac{e^{-1.3p}}{1.9p+1} \quad (2)$$

Передаточная функция корректирующей связи будет иметь следующий вид:

$$W^k(p) = -\frac{e^{-1.3p}}{\frac{1.9p+1}{1.2e^{-3.1p}}} = \frac{1}{1.2} * \frac{2.2p+1}{1.9p+1} * e^{+1.8p} \quad (3)$$



Звено чистого опережения приблизительно заменим реальным форсирующим звеном. Тогда физически реализуемая передаточная функция корректирующей связи примет следующий вид.

$$W^k(p) = -\frac{1}{1.2} * \frac{2.2p+1}{1.9p+1} * \left(1 + \frac{1.8p}{0.1*1.8p+1}\right) \quad (4)$$

Заменим в (4) реальное форсирующее звено на алгоритм прогнозирования по кубическому сплайну и выделим его в отдельный модуль прогнозирования (МП). Структурная схема САР примет следующий вид (рис. 3).

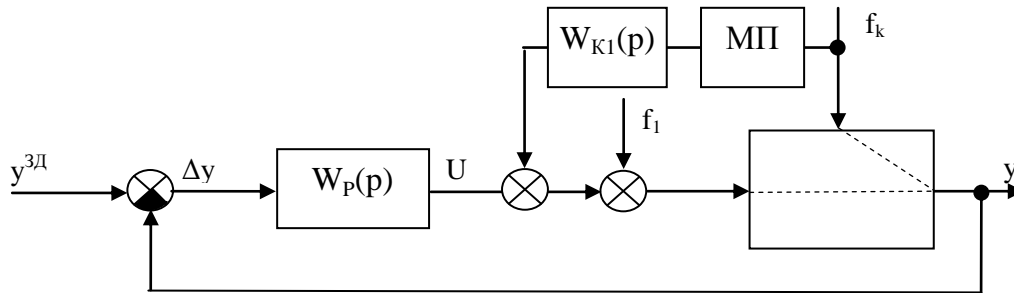


Рис. 3 – Структурная схема комбинированной САР инвариантной к контролируемым возмущениям с модулем прогнозирования по кубическому сплайну.

Модуль прогнозирования по кубическому сплайну будем реализовывать на основе следующего выражения:

$$f_k(t + \Delta\tau_{пр}) = \bar{f}_k(t) + d(t)(t + \Delta\tau_{пр})^3 + c(t)(t + \Delta\tau_{пр})^2 + b(t)(t + \Delta\tau_{пр}) + a(t) \quad (5)$$

$\Delta\tau_{пр} \in [0, \tau_{пр}]$.

Тогда, если могут быть найдены значения трех производных этих оценок в момент времени $t = t_0$, то оценки значений коэффициентов в (5) определяются из простых и удобных для расчета в реальном времени соотношений:

$$\begin{aligned} d(t_0) &= \ddot{f}_k(t_0)/6, \\ c(t_0) &= (\dot{f}_k(t_0) - \ddot{f}_k(t_0)t_0)/2, \\ b(t_0) &= \dot{f}_k(t_0) - \ddot{f}_k(t_0)t_0 + \ddot{f}_k(t_0)t_0^2/2, \\ a(t_0) + \bar{f}_k(t_0) &= f_k(t_0) - \dot{f}_k(t_0)t_0 + \ddot{f}_k(t_0)t_0^2/2 - \ddot{f}_k(t_0)t_0^3/6, \end{aligned} \quad (6)$$

а спрогнозированные на $\tau_{пр}$ вперед значения необходимых оценок рассчитываются из выражений:

$$f_k(t_0 + \tau_{пр}) = d(t_0)(t_0 + \tau_{пр})^3 + c(t_0)(t_0 + \tau_{пр})^2 + b(t_0)(t_0 + \tau_{пр}) + a(t_0) + \bar{y}(t_0).$$

Необходимым условием работы алгоритма, является трехкратная дифференцируемость $f_k(t)$. Это условие вполне выполнимо, т. к. переменные на входе ОУ, отфильтрованные от шумов, как правило, являются многократно дифференцируемыми.

В рассмотренном сплайне расчет коэффициентов ведется в предположении, что в момент t_0 известны значения самой переменной и всех необходимых производных. В случае цифровой реализации алгоритма управления, а именно она предполагается как основная, производные вычисляются по значениям решетчатой функции $f_k(nT_{кв})$, $n = \overline{0, \infty}$, с шагом квантования $T_{кв}$.

Для проведения сравнительного анализа работы САР с разными реализациями корректирующих связей введем следующие обозначения: САРИ - САР инвариантная к контролируемым возмущениям с реальным форсирующим звеном; САРИК - САР инвариантная к контролируемым возмущениям с прогнозированием по кубическому сплайну.

Проведем исследование работы инвариантной САР с разными корректирующими связями в условиях действия возмущений случайного характера. Но вначале проведем оптимальный параметрический синтез (ОПС) САР без корректирующей связи. Результаты ОПС представлены на рисунке 4.

Реализация случайного процесса контролируемых возмущений, а также его статические и динамические характеристики представлены на рисунке 5.

Для проведения исследований и анализа работы различных вариантов САР была разработана схема моделирования в среде Simulink. Фрагмент схемы моделирования представлен на рисунке 6.

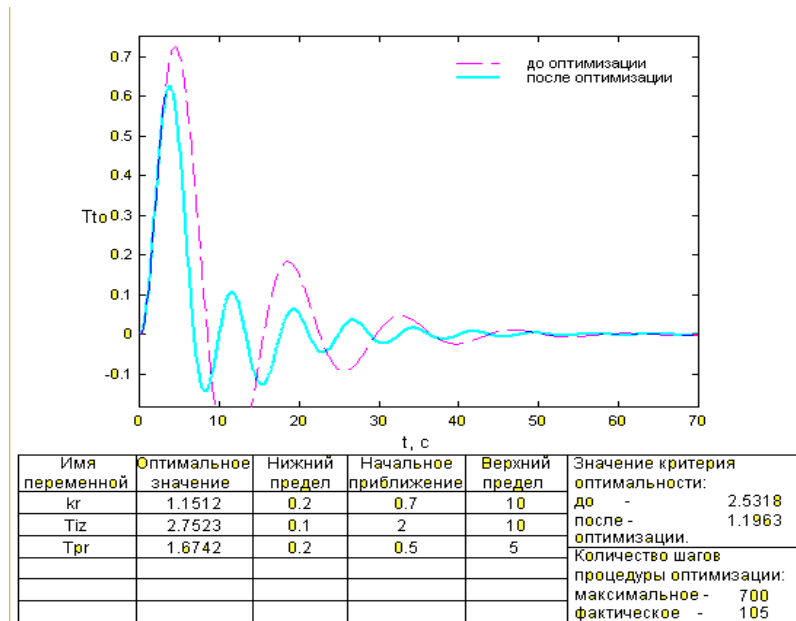


Рис. 4 – Результаты оптимального параметрического синтеза ПИД регулятора

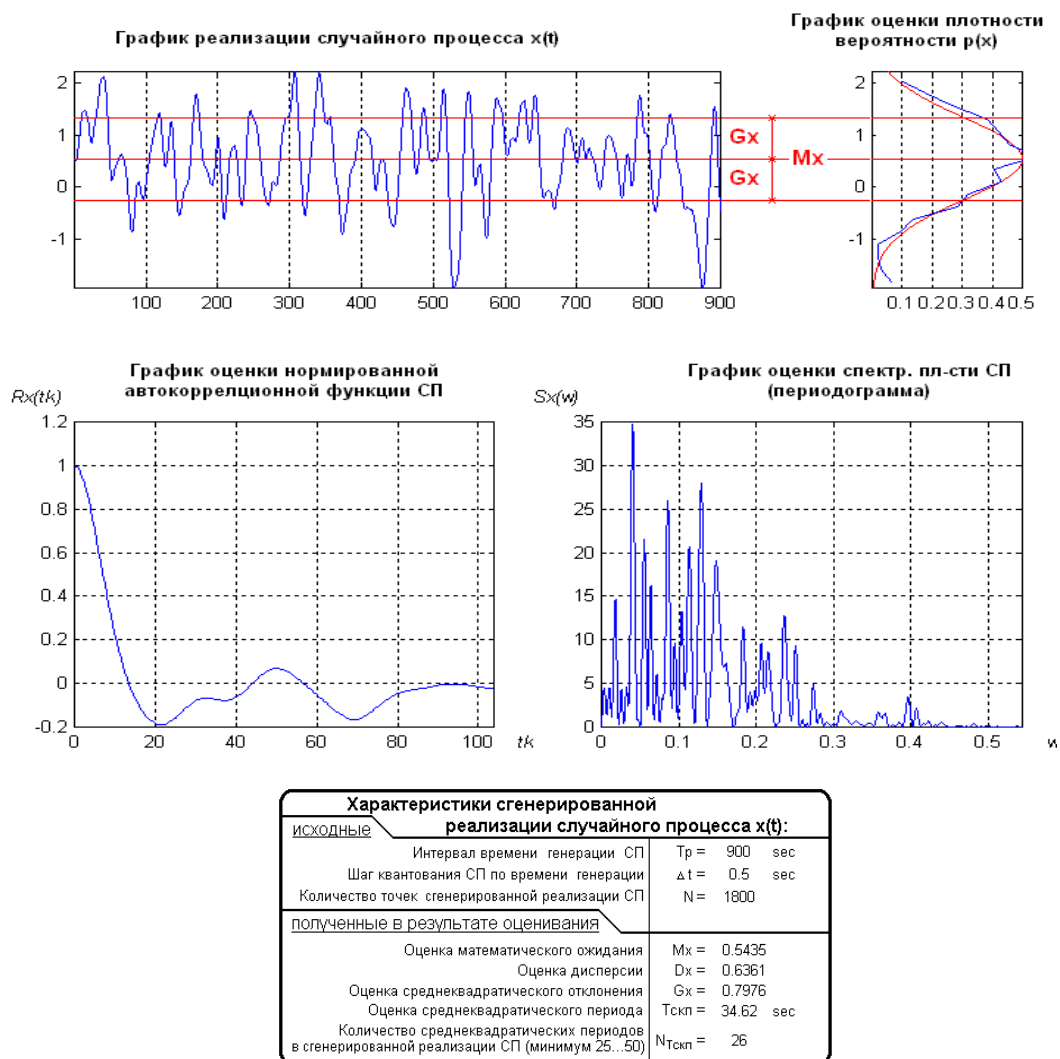


Рис. 5 – Реализация контролируемых возмущений и их вероятностные характеристики

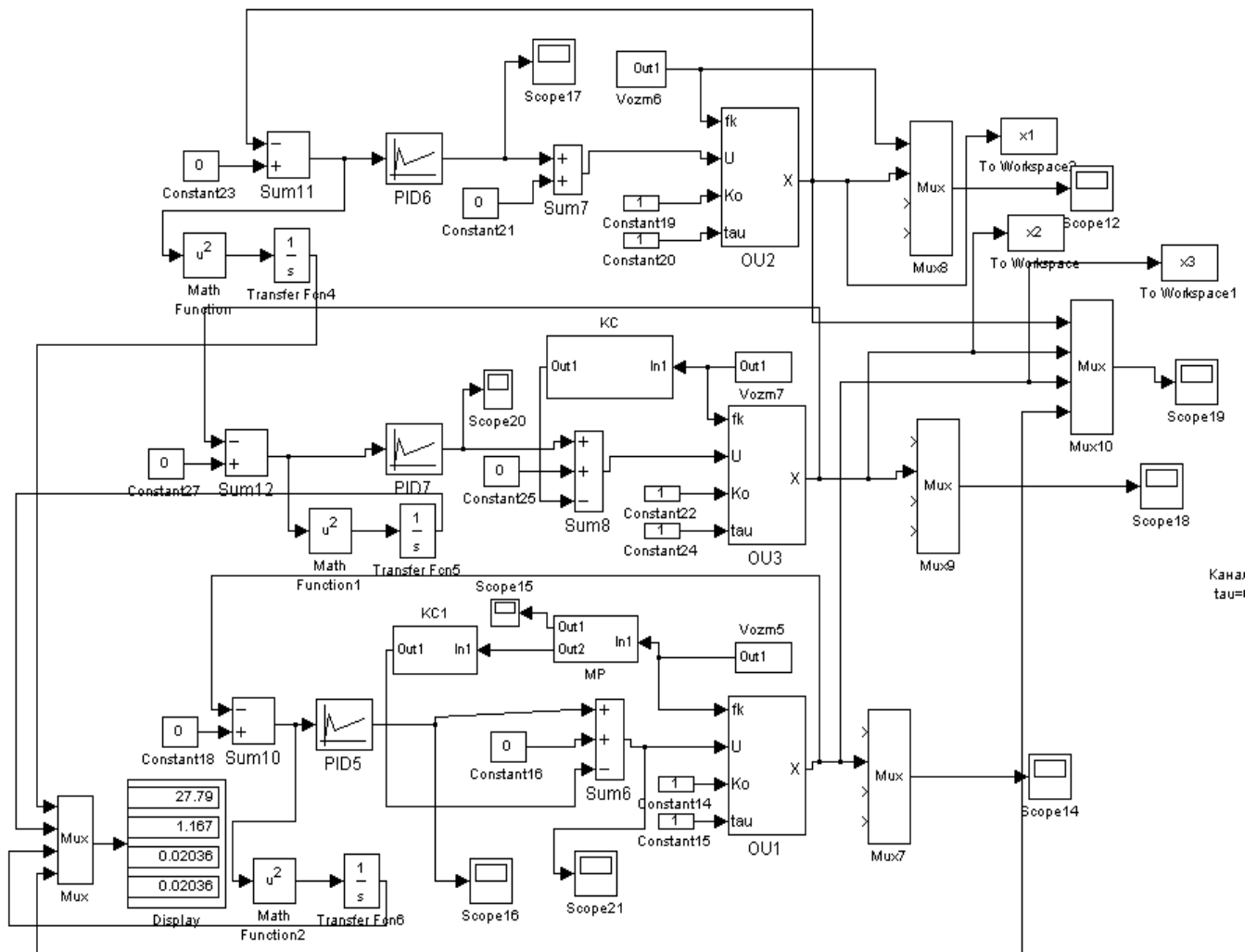


Рис. 6 – Фрагмент схемы моделирования для проведения сравнительного анализа работы альтернативных вариантов САР

Результаты исследований и их обсуждение

Для получения предварительных результатов проведены исследования систем без оптимизации параметров корректирующей связи. На рисунке 7 представлены результаты моделирования обычной САР реализующей принцип управления по отклонению и САРИ инвариантной к контролируемым возмущениям. Введение корректирующей связи значительно снижает ошибки стабилизации.

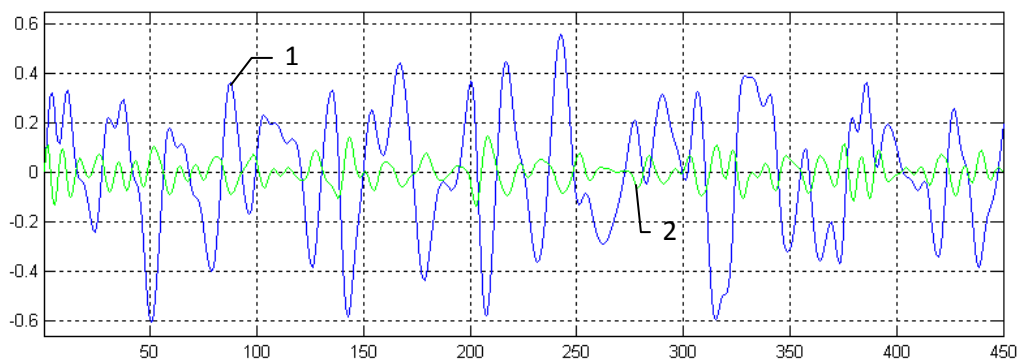


Рис. 7 – Результаты моделирования базовой САР (1) и инвариантной САР без прогнозирования по кубическому сплайну (2)



На рисунке 8 представлены результаты моделирования САРИ и САРИК. Из рисунка видно, что введение в корректирующую связь модуля прогнозирования по кубическому сплайну значительно улучшило работу инвариантной САР.

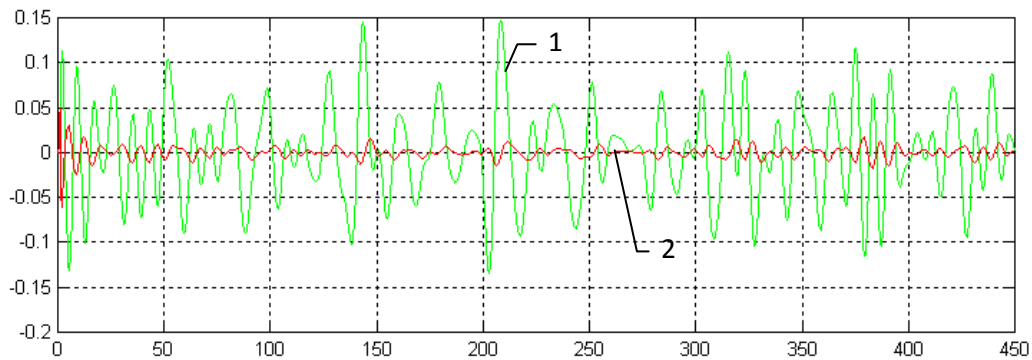


Рис. 8 – Результаты моделирования инвариантной САР (1) и инвариантной САР с прогнозированием по кубическому сплайну (2).

Преимущества САРИК подтверждаются и при анализе работы альтернативных вариантов САР в частотной области. Частотные характеристики САР по каналу контролируемых возмущений представлены на рисунке 9.

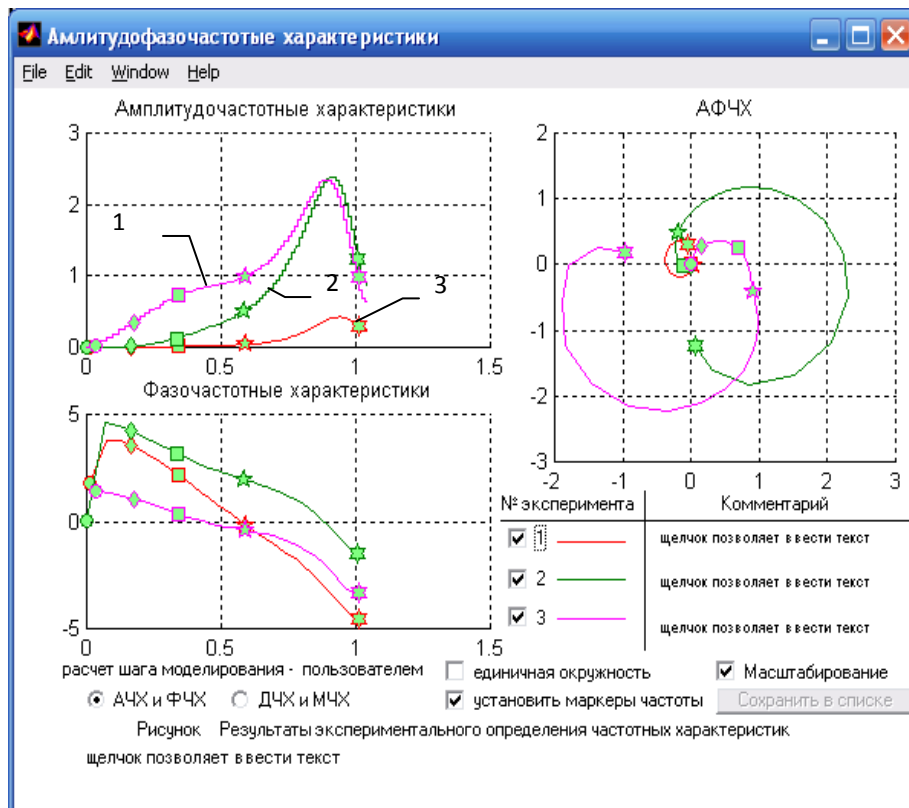


Рис. 9 – Результаты моделирования в частотной области обычной САР (1), инвариантной САР (2) и инвариантной САР с прогнозированием по кубическому сплайну (3)

Значения интегрального квадратичного показателя качества для сравниваемых САР сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Интегральные показатели эффективности САР

Вар. САР	Значение критерия I
САР	27.79
САРИ	1.17
САРИК	0.02



Следует отметить, что качество работы САРИК значительным образом зависит от времени прогнозирования. На рисунке 10 представлена зависимость I от времени прогнозирования $t_{пр}$ из которого видно, что 20% отклонение от номинального значения приводит к значительному росту I . Это вполне объяснимо, так как неправильно заданное время прогнозирования снизит точность реализации корректирующей связи в целом несмотря на применение более точного алгоритма прогнозирования.

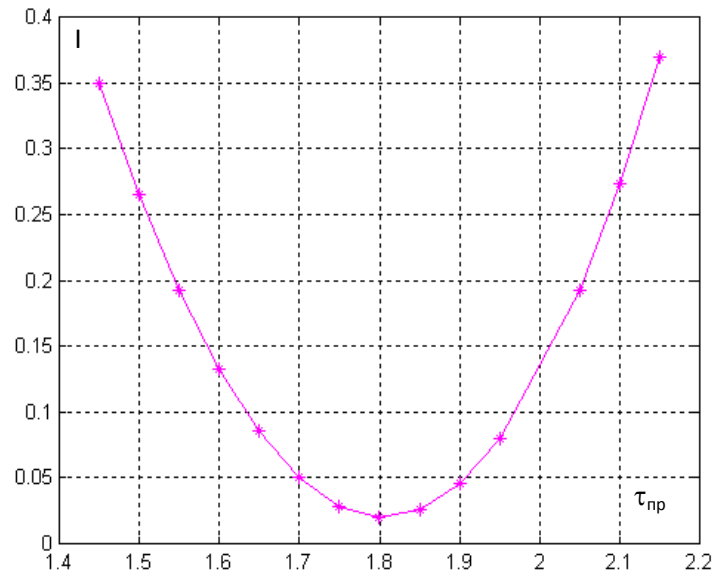


Рис. 10 – Зависимость критерия оптимальности от времени прогнозирования при начальных значениях параметров корректирующей связи.

Результаты исследования САР с оптимальными параметрами корректирующих связей в целом подтверждают представленные результаты, но при отклонении времени прогнозирования $t_{пр}$ от номинального значения в диапазоне $\pm 20\%$ показатель качества I значительно возрастает и преимущество САРИК над САРИ значительно снижается.

Выводы

Введение в корректирующую связь САР инвариантной к контролируемым возмущениям модуля прогнозирования на основе кубического сплайна позволяет в значительной мере повысить эффективность работы САР и снизить ошибки стабилизации в сравнении с инвариантными САР, где прогнозирование ведется на основе реальных форсирующих звеньев. Результаты моделирования показали, что интегрально квадратичный показатель качества уменьшается в несколько раз. Следует так же отметить, что эффективность САР с модулем прогнозирования по кубическому сплайну в значительной мере зависит от точности задания времени прогнозирования. Но эта зависимость имеет экстремальный характер и в условиях параметрической неопределенности ОУ оптимальное значение времени прогнозирования может быть найдено автоматически с использованием специальных экстремальных поисковых систем.

Литература

- [1] Степанов М.Т., Хобин В.А. Прогнозирование вынужденного движения и его применение в системах гарантирующего управления // Автоматизация технологических и бизнес-процесов. – Одеса, 2011. – № 5-6. – С. 20 – 25
- [2] Пикина Г.А., Кузнецов М.С. Синтез линейных прогностических алгоритмов регулирования // Новое в российской электроэнергетике. 2009. № 10. С. 40-44.
- [3] Пикина Г.А., Кузнецов М.С. Прогностические типовые алгоритмы регулирования // Теплоэнергетика. 2011. № 4. С. 61-66.

References

- [1] Stepanov, M. T. et al. "Prognozirovaniye vyinuzhdenного dvizheniya i ego primeneniye v sistemah gar-antiruyushchego upravleniya", *Avtomatizatsiya tehnologichnih ta biznes-protsesiv*, no.5-6, pp.20-25, 2011.
- [2] Pikina, G. A. et al. "Sintez lineynyih prognosticheskikh algoritmov regulirovaniya", *Novoe v rossiyskoy elektroenergetike*, vol. 10., pp. 40-44, 2009
- [3] Pikina, G. A. et al. "Prognosticheskie tipovyye algoritmy regulirovaniya", *Teploenergetika*, vol. 4., pp. 61-66, 2011.



УДК 664.1: 65.011.56

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ТЕРМОВАКУУМНОЇ ОБРОБКИ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЯК ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

О. В. Мазур¹, К. Є. Грабанова², С. С. Гудзь³^{1,2,3}Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, УкраїнаORCID: ¹0000-0001-7104-9010, ²0000-0002-7976-5625.E-mail: ¹mazur.a.v.ua@gmail.com, ²2911cat2q@gmail.com, ³sergogudz@gmail.com

Copyright © 2020 by author and the journal "Automation of technological and business - processes.

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

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>DOI: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i1.1708>

Анотація. Перевагою теплової обробки харчових продуктів в вакуумі є можливість реалізації процесів в бескисневому середовищі. Теплова обробка в таких умовах сприяє збереженню поживних речовин, вітамінів, антиоксидантів, фарбувальних пігментів сировини, смакових якостей і т.п., а також збільшенню терміну застосування допоміжних речовин і зберігання готових продуктів в порівнянні з обробкою при атмосферному тиску. Роботу присвячено побудові імітаційної моделі процесу теплової обробки харчових продуктів в вакуумному термоелектричному котлоагрегаті. Проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту керування. Виконана декомпозиція технологічного процесу на окремі субпроцеси та розроблена його загальна структура з основними взаємозв'язками між моделями окремих вузлів. Розроблено моделі термоелектричного перетворювача, пароводяної сорочки, випарника, паропроводу, конденсатора, радіатора з повітряним охолодженням, вакуумної системи, збірника конденсата. Ці моделі, а також загальна імітаційна модель процесу реалізовані в середовищі Matlab Simulink. Для перевірки імітаційної моделі технологічного процесу термовакуумної обробки на адекватність проведені її тестові дослідження як об'єкту керування. В статті наведені отримані в ході проведених віртуальних експериментів, квазістатичні та динамічні характеристики процесу за основними каналами перетворень. Результати тестування імітаційної моделі процесу теплової обробки харчових продуктів в вакуумі як об'єкту керування свідчать про те, що вона досить адекватно відтворює основні параметри складних теплових та тепломасообмінних процесів, що протікають в малогабаритному вакуумному термоелектричному котлоагрегаті, і може бути використана при дослідженнях його як об'єкту керування, а також при розробці та тестуванні алгоритмів керування процесом.

Abstract. The advantage of heat treatment of food in vacuum is the ability to implement processes in an oxygen-free environment. Heat treatment in such conditions helps to preserve nutrients, vitamins, antioxidants, color pigments of raw materials, taste qualities, etc., as well as increase the life of auxiliary substances and storage of finished products compared to processing at atmospheric pressure. The paper is devoted to the construction of a simulation model of the process of heat treatment of food in a vacuum thermoelectric boiler. The process as an object of control is analyzed. The process was decomposed into separate subprocesses and its general structure was developed, with the main interconnections between models of individual nodes. Models of thermoelectric transducer, steam jacket, evaporator, steam line, condenser, radiator with air cooling, vacuum system, condensate collector have been developed. These models as well as general simulation model of the process have been developed in Matlab Simulink environment. To check the developed model for adequacy, test studies of the process as a control object have been carried out. The article presents the quasi-static and dynamic characteristics of the process by main transformation channels obtained in the course of the conducted virtual experiments. The results of testing a simulation model of the process of heat treatment of food in vacuum as an object of control indicate that it adequately reproduces the complex thermal and heat transfer processes occurring in a small vacuum thermoelectric boiler, and can be used as an object of study as well as upon developing and testing process control algorithms.

Ключові слова: термоелектричний, вакуумний, теплові процеси, харчові продукти, термовакуумна обробка, варка, уварювання, випарювання, екстрагування, маринування, сушка, жаріння, бескисневе середовище, технологічна схема, аналітична модель, імітаційне моделювання, квазістатичні характеристики, ідентифікація, система автоматичного керування.

Keywords: thermoelectric, vacuum, thermal processes, food products, thermal vacuum treatment, cooking, boiling, evaporation, extraction, pickling, drying, frying, oxygen-free environment, flow chart, analytical model, simulation, quasistatic characteristics, identification, automatic control system



1. Вступ

Перевагою обробки харчових продуктів в вакуумі є можливість реалізації процесів в безкисневому середовищі, що в значній мірі сприяє збереженню поживних речовин, фарбувальних пігментів сировини і смакових якостей, збільшенню терміну зберігання готових продуктів в порівнянні з обробкою в повітряному середовищі. Малогабаритний вакуумний термоелектричний котлоагрегат (МВТК), призначений для реалізації процесів варки, уварювання, випарювання, екстрагування, маринування, сушки, жаріння і т.п. в безкисневому середовищі. Він може бути застосований в кулінарії для різних видів кулінарної обробки харчових продуктів, в харчовій промисловості для виробництва джемів, конфітурів, варення, дитячого харчування, пюре фруктових та овочевих, а також в фармацевтичній або парфумерній промисловості.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Процеси теплової обробки широко застосовуються при приготуванні продуктів в харчовій промисловості та кулінарії. Це складні тепломасообмінні процеси, які реалізуються з використанням різних середовищ, що передають тепло для надання цілеспрямованого впливу з метою отримання необхідних фізико-хімічних і органолептичних властивостей харчовим продуктам [1,4]. При цьому для підведення та відведення тепла можуть застосовуватися рідке середовище (вода, жир, і ін.), контактний нагрів, водяна пара, пароповітряна або пароводяна суміш, електромагнітне випромінювання НВЧ і ІЧ діапазонів або комбіноване використання декількох з цих середовищ. Згідно з [2] основними процесами теплової обробки продуктів є варіння і смаження. При цьому вони можуть реалізовуватись з безліччю температурних, барометричних та часових режимів, які і визначають їх різноманітність. Реалізація цих процесів з використанням вакуумних технологій дозволяє проводити теплову обробку продуктів в бескисневому середовищі в широкому діапазоні температур, використовуючи при приготуванні продуктів в якості додаткового впливу динамічну зміну тиску [3]. Для реалізації таких процесів в МВТК з можливістю динамічної зміни параметрів в часі актуальним є дослідження їх як об'єктів керування.

3. Мета та задачі дослідження

Метою роботи є дослідження процесу теплової обробки харчових продуктів в МВТК як об'єкту керування. Для досягнення мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз технологічного процесу термовакуумної обробки харчових продуктів в МВТК та визначити основні регламенти його ведення.
2. Розробити аналітичну імітаційну модель процесу в МВТК та реалізувати її в середовищі Matlab Simulink.
3. Провести імітаційне моделювання та отримати квазістатичні і динамічні характеристики процесу в МВТК за основними каналами керування.

4. Аналіз технологічного процесу термовакуумної обробки

МВТК призначений для теплової обробки продуктів в бескисневому середовищі при тиску від 50 до 2500 Мбар та температурі від 30 до 120 °С. Технологічну схему МВТК наведено на рис. 1.

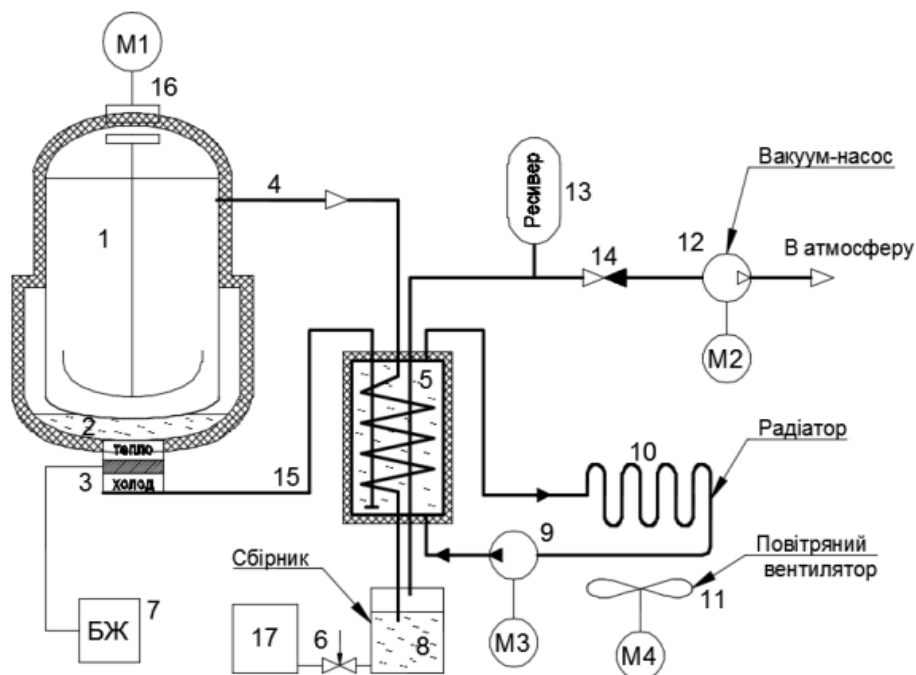


Рис. 1 – Технологічна схема МВТК



Позначення до рисунку 1: 1 – випарник, 2 – парова сорочка нагріву, 3 – термоелектричний тепловий насос, 4 – паропровід сокових парів, 5 – водяний конденсатор, 6 – кран вентиляльний, 7 – регульований блок живлення, 8 – збірник конденсату, 9 – циркуляційний насос, 10 – радіатор, 11 – вентилятор, 12 – вакуумний насос, 13 – ресивер, 14 – зворотний клапан, 15 – теплова труба, 16 – мішалка, 17 – додаткова ємність.

Для реалізації технологічного процесу необхідно підтримувати заданий рівень тиску в вакуумній системі, здійснювати підвід тепла до випарника 1, та відводити надлишкове тепло з водяного конденсатора сокових парів 5 підтримуючи в них заданий тиск. В якості нагрівача і охолоджувача застосовано термоелектричний тепловий насос 3, який складається з декількох термоелектричних перетворювачів (ТЕП). "Гаряча" сторона модулів ТЕП охолоджується за рахунок підігріву пароводяної сорочки 2 вакуум-апарату для підводу до нього тепла. "Холодна" сторона модулів ТЕП приєднана до теплової труби 15 охолоджує конденсатор 5. Використання ТЕП дозволяє заощаджувати енергію, яка витрачається на випаровування води з продукту та конденсацію сокових парів. В якості конденсатора 5 застосовано **змісниковий** теплообмінник, до якого для відводу тепла прикріплені теплова труба та водяний контур охолодження 9 -11. Вакуумний насос 12 підключено до збірника конденсату 8 за допомогою вакуумної системи, до якої входить ресивер 13 та зворотній клапан 14.

5. Загальна структура моделі процесу

Перед розробкою імітаційної математичної моделі в цілому згідно з [5] виконаємо декомпозицію технологічної установки на окремі вузли і розглянемо загальну структуру процесу з основними взаємозв'язками між моделями окремих вузлів. Результат такої декомпозиції представлено на рисунку 2.

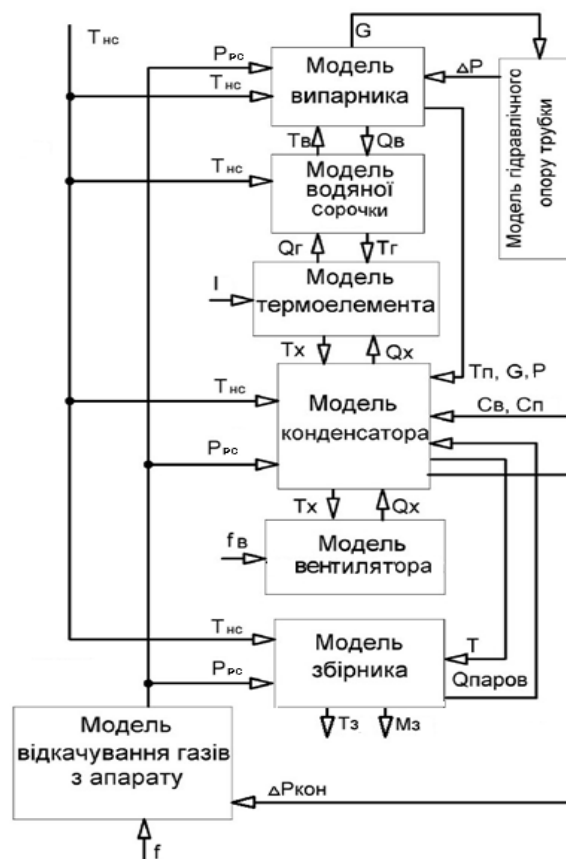


Рис. 2 – Структурна схема моделі процесу

На структурній схемі процесу термовакuumної обробки харчових продуктів прийнято наступні позначення: G – масові витрати продукту; ΔP – різниця тиску між випарником та конденсатором; $\Delta P_{кон}$ – приріст тиску в системі при неповному конденсуванні парів; $P_{рс}$ – тиск в ресивері; P – тиск у випарнику; T_g – температура "гарячої" сторони ТЕП; Q_g – тепловий потік від "гарячої" сторони ТЕП; T_v – температура води у воді у паровій сорочці; Q_v – тепловий потік на випаровування води; T_x – температура "холодної" сторони ТЕП; Q_x – тепловий потік від "холодної" сторони ТЕП; T_r – температура радіатора; Q_x – тепловий потік від радіатора; I – струм ТЕП; T – температура конденсату на виході з конденсатора; T_3 – температура конденсату в збірнику; $T_{нс}$ – температура навколишнього середовища; M_3 – маса конденсату в збірнику; C_v – теплоємність води; C_p – теплоємність продукту; $Q_{паров}$ – тепловий потік від збірника до конденсатора; f – частота обертання вакуумного насоса; f_v – частота обертання вентилятора.

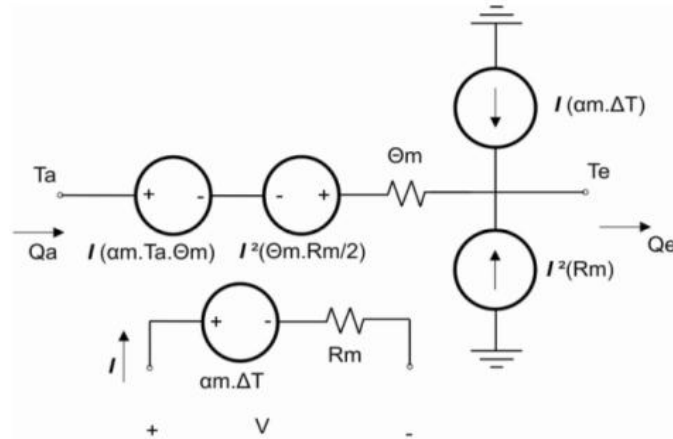


6. Розробка імітаційної математичної моделі процесу

6.1. Модель термоелектричного претворювача (ТЕП)

Термоелектричний претворювач є реверсивним та може працювати в режимах нагрівача, охолоджувача або електрогенератора. Зазвичай ТЕП виконують функцію охолоджувачів та/або нагрівачів і використовуються в режимі теплового насосу при цьому спостерігається ряд ефектів, які необхідно врахувати при його моделюванні. Це ефекти Пельть'є, Джоуля, Томсона.

Модель ТЕП [4] складається з трьох джерел напруги керованих струмом та двох джерел струму керованих струмом у відповідності з рисунком 3.



Q_a – вхідний ("холодний") тепловий потік ТЕП; Q_e – вихідний ("гарячий") тепловий потік ТЕП; P – електрична потужність, яка споживається ТЕП; R_m – електричний опір ТЕП; Θ_m – тепловий опір ТЕП; am – коефіцієнт р-п переходу [V/K]; T_e – абсолютна температура теплої сторони [K]; T_a – абсолютна температура холодної сторони [K]; V – падіння напруги на ТЕП; I – струм крізь ТЕП.

Рис. 3 – Модель елемента Пельть'є

Вхідний "холодний" тепловий потік ТЕП розраховується із залежності (1).

$$Q_a = -\frac{\Delta T}{\Theta_m} + am \cdot T_a \cdot I - \frac{I^2 R_m}{2} \quad (1)$$

Вихідний "гарячий" тепловий потік ТЕП визначається ефектом Пельть'є ($am \cdot T_e$), теплопровідністю ТЕП (t / Θ_m) і тепловим ефектом Джоуля ($I^2 R_m$). Дію ефекту Томсона не враховуємо оскільки вона незначна (2).

$$Q_e = -\frac{\Delta T}{\Theta_m} + am \cdot T_e \cdot I + \frac{I^2 R_m}{2} \quad (2)$$

Потужність, що споживає ТЕП розраховується із залежності (3).

$$P = V \cdot I = I \cdot (am \cdot \Delta T + R_m \cdot I) \quad (3)$$

Коефіцієнт продуктивності COP характеризує ефективність роботи ТЕП (4).

$$COP = Q_a / P \quad (4)$$

Параметри am , Θ_m і R_m можуть бути розраховані за даними технічного паспорту на ТЕП з використанням рівнянь (5 – 7).

$$R_m = \frac{V_{max}}{I_{max}} \cdot \frac{(T_e - \Delta T_{max})}{T_e} \quad (5)$$

$$\Theta_m = \frac{\Delta T_{max}}{I_{max} \cdot V_{max}} \cdot \frac{2 \cdot T_e}{(T_e - \Delta T_{max})} \quad (6)$$

$$am = \frac{V_{max}}{T_e} \quad (7)$$

де I_{max} – максимально допустимий струм; V_{max} – напруга, яка виникає на термоелементі при I_{max} ; ΔT_{max} – максимально допустима різниця температур між холодною та гарячою стороною.

Реалізуємо модель ТЕП в середовищі Matlab Simulink [5] у відповідності з рисунком 4.

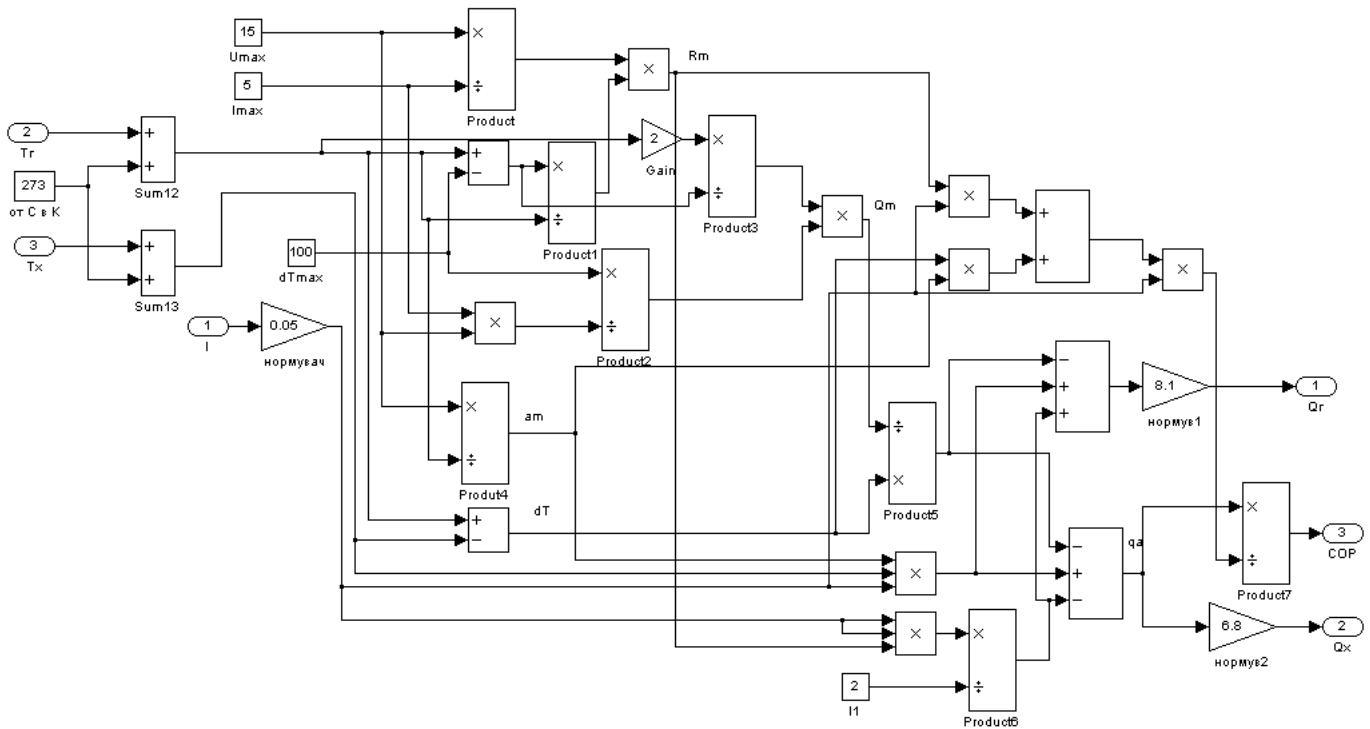


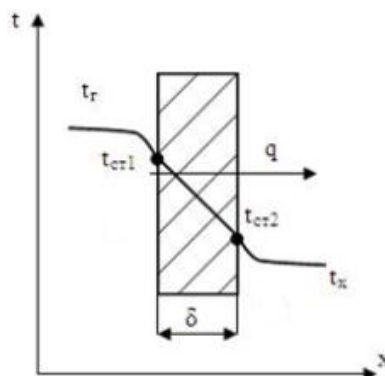
Рис. 4 – Реалізація імітаційної моделі ТЕП в середовищі Matlab Simulink

Вхідними параметрами моделі ТЕП є температури холодної T_c та гарячої T_r сторін, I - струм споживання ТЕП, а також конструктивні параметри використаних елементів Пельть'є: $\Delta T_{max}, I_{max}, V_{max}$

Вихідні параметри - "холодний" Q_c та "гарячий" Q_h теплові потоки ТЕП та COP ТЕП.

6.2. Модель пароводяної сорочки

На рисунку 5 представлено приклад профілю зміни температури та напрямку теплового потоку при передачі тепла через плоску розподільну стінку [6, 12, 13].



q – тепловий потік від гарячого теплоносія до холодного; t_{cr1} , t_{cr2} – температури стінки з гарячої та холодної сторони відповідно; t_r і t_c – температура гарячого і холодного теплоносія відповідно; $\Delta t = t_r - t_c$ – температурний напір; δ – товщина стінки

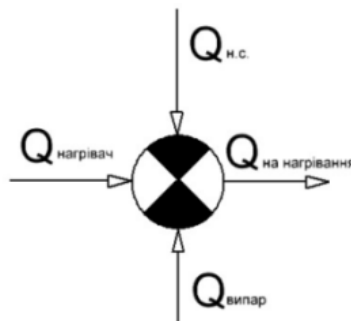
Рис. 5 – Характер зміни температур в теплоносіях та стінках

Для розрахунку теплового потоку через плоску стінку скористуємося наступною залежністю

$$Q = k_n \cdot F \cdot (t_{cr1} - t_{cr2}) = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t_{cr1} - t_{cr2}) \quad (9)$$

де: λ – еквівалентний коефіцієнт теплопровідності, F – площа поверхні плоскої стінки, k_n – коефіцієнт теплопередачі $Вт/(м^2 \cdot К)$.

Модель теплового балансу пароводяної сорочки в графічному вигляді приставлена на рисунку 6.



$Q_{\text{нагрівач}}$ – підведений тепловий потік, $Q_{\text{нс}}$ – втрати в навколишнє середовище, $Q_{\text{додат}}$ – тепловий потік до випарника, $Q_{\text{на нагрівання}}$ – тепловий потік на нагрівання води у водяній сорочці.

Рис. 6 – Модель теплових потоків водяної (пароводяної) сорочки

Втрати в навколишнє середовище можна розрахувати, скориставшись наступною залежністю:

$$Q_{\text{нс}} = kF\Delta t \quad (10)$$

де k_p - середній коефіцієнт теплопередачі $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; F - загальна площа поверхні теплоізоляції; $\Delta t = t_w - t_{\text{нс}}$, t_w – температура води у водяній сорочці; $t_{\text{нс}}$ – температура навколишнього середовища.

Виразимо добуток k та F одним коефіцієнтом втрат $k_{\text{втрат}}$. Скориставшись наведеними вище залежностями (8 – 9), складемо рівняння теплового балансу водяної сорочки (11).

$$Q_{\text{нагрівач}} + Q_{\text{додат}} = Q_{\text{нс}} + Q_{\text{на нагрівання}} \quad (11)$$

Виходячи із теплового балансу пароводяної сорочки, розрахуємо температуру води $T_{\text{води}}$ в ній за допомогою залежності (12):

$$T_{\text{води}} = \int \frac{Q_{\text{нагр}} - Q_{\text{у вино}} - k(T_{\text{води}} - T_{\text{нс}} + dT)}{m_{\text{води}} \cdot c_{\text{води}}} dt + T_{\text{води поч}} \quad (12)$$

Реалізуємо модель водяної сорочки в програмі Matlab в пакеті Simulink у відповідності з рисунком 7.

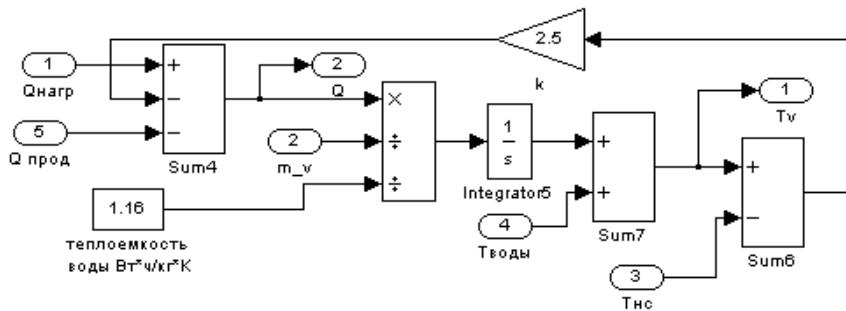


Рис. 7 - Реалізація моделі водяної сорочки в середовищі Matlab Simulink

Вхідними параметрами моделі є: "гарячий" тепловий потік ТЕП ($Q_{\text{нагр}}$), різниця температур між температурою продукту та температурою води(тиском) у пароводяній сорочці (dT), температура навколишнього середовища ($T_{\text{нс}}$), маса води у пароводяній сорочці (m) та її теплоємність (c). Вихідними параметрами є температура води у водяній сорочці ($T_{\text{вода}}$), та тепловий потік, який витрачається на підігрів продукту ($Q_{\text{прод}}$),

6.3. Модель випарника

Розглянемо спрощену модель процесу випаровування [7] у відповідності з рисунком 8.

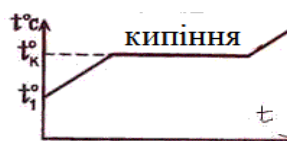


Рис. 8 – Залежність температури від часу(процес кипіння)



В якості продукту, який знаходиться у випарнику, розглянемо суміш фруктів та сиропу. Спочатку вся енергія витрачається на підігрів продукту до температури кипіння, яка визначається тиском у випарнику, далі при сталій температурі відбувається його випаровування, після його закінчення температура почне збільшуватися, тобто енергія буде витрачатися на підігрів сухої речовини.

Розглянемо дві ділянки цієї моделі: підігрів бінарної суміші до температури кипіння та її випаровування. Модель зміни температури продукту у випарнику представлена наступною системою рівнянь (14).

$$T_{\text{прод}} = \begin{cases} \int \frac{(T_{\text{води}} - T_{\text{прод}}) \cdot F_{\text{стілки}}}{R_{\text{стілки}} \cdot C_{\text{прод}} \cdot m_{\text{прод}}} dt; & \text{при } T_{\text{прод}} < T_{\text{кипіння пр од}} \\ \frac{(T_{\text{води}} - T_{\text{прод}}) \cdot F_{\text{стілки}}}{R_{\text{стілки}} \cdot C_{\text{прод}} \cdot m_{\text{прод}}}; & \text{при } T_{\text{пр од}} = T_{\text{кипіння пр од}} \\ \int T_{\text{кипіння пр од}} - (T_{\text{пр од}} - T_{\text{кипіння пр од}}) dt; & \text{при } T_{\text{пр од}} > T_{\text{кипіння пр од}} \end{cases} \quad (14)$$

Модель зміни теплового потоку, який витрачається на випаровування продукту з фруктів та сиропу, представлена залежністю (15).

$$Q_{\text{на випар.}} = \int \frac{(T_{\text{води}} - T_{\text{пр од}}) \cdot F_{\text{стілки}}}{R_{\text{стілки}}} dt - (T_{\text{пр од}} - T_{\text{кип. пр од}}) \cdot C_{\text{пр од}} \cdot m_{\text{пр од}}; \quad \text{при } T_{\text{пр од}} \geq T_{\text{кипіння пр од}} \quad (15)$$

Модель зміни витрат випарованої води представлена залежністю (16).

$$G = m_{\text{пр од поч}} - \int_0^{m_{\text{пр од поч}}} \frac{Q_{\text{на випаровування}}}{L} dt; \quad T_{\text{пр од}} \geq T_{\text{кипіння пр од}}$$

звідки $m_{\text{пр од поч}} = (m_{\text{пр од}} - \%m_{\text{води}} \cdot m_{\text{пр од}}) \cdot \rho$ (16)

Реалізуємо модель випарника в програмі Matlab в пакеті Simulink у відповідності з рисунком 9.

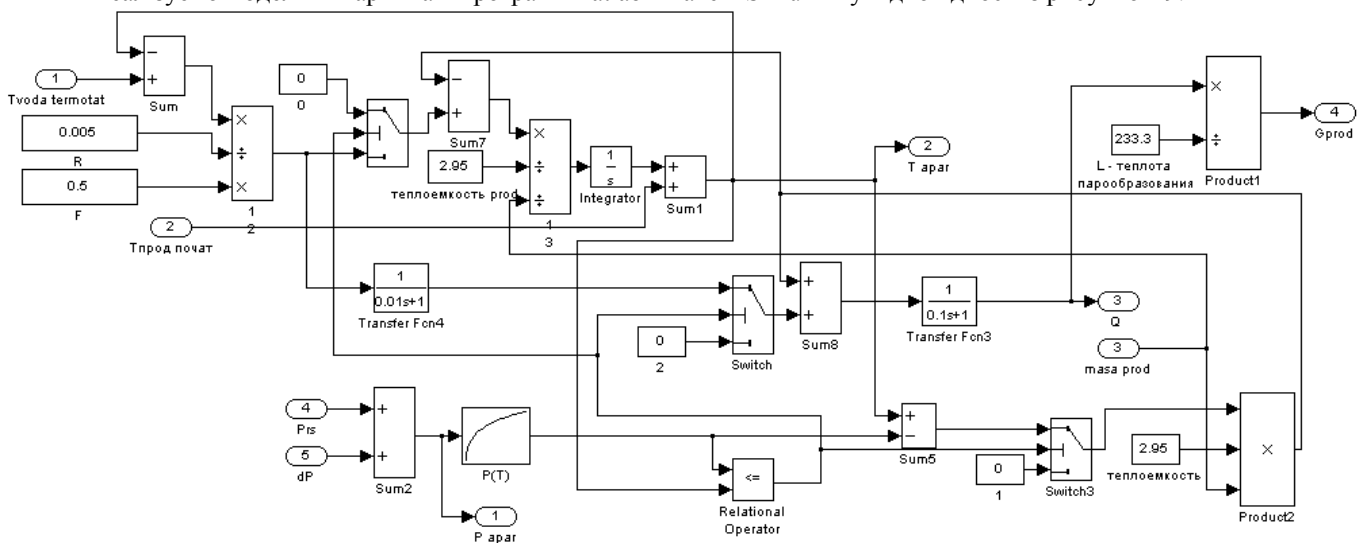


Рис. 9 – Реалізація моделі випарника в середовищі Matlab Simulink

Вхідними параметрами моделі випарника є: температура води у водяній сорочці ($T_{\text{води}}$), початкова температура продукту ($T_{\text{пр од поч}}$), розрідження в ресивері ($P_{\text{рес}}$) та перепад розрідження на паропроводі (dP), площа підігріву випарника (F) та тепловий опір матеріала, з якого вона виготовлена (R), початкова маса продукту ($m_{\text{пр од}}$) та концентрація сухих речовин ньому ($\%c.p$). Вихідними параметрами моделі випарника є: температура продукту ($T_{\text{пр од}}$), тиск у випарнику ($P_{\text{ар}}$) витрати пари з випарника ($G_{\text{п}}$).

6.4. Модель паропроводу

Гідравлічний опір в трубопроводах – опір руху рідин (газів), який чиниться на ділянці трубопроводу, оцінюється величиною "втраченого" тиску ΔP , що представляє собою частину питомої енергії потоку, яка необоротно витрачається на роботу сил опору. При сталому перебігу рідини (газу) у трубопроводі круглого перерізу D_r (н/м^2) визначається за формулою (18) [9,10].

$$\Delta P = \lambda \frac{u^2 L}{2D} \cdot \rho \quad (18)$$



де λ – коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводу; u – швидкість потоку (м/с); D – внутрішній діаметр трубопроводу, м; L – довжина трубопроводу, м; ρ – густина рідини, кг/м³.

Реалізуємо модель паропроводу від випарника до конденсатора в середовищі Matlab Simulink у відповідності з рисунком 10.

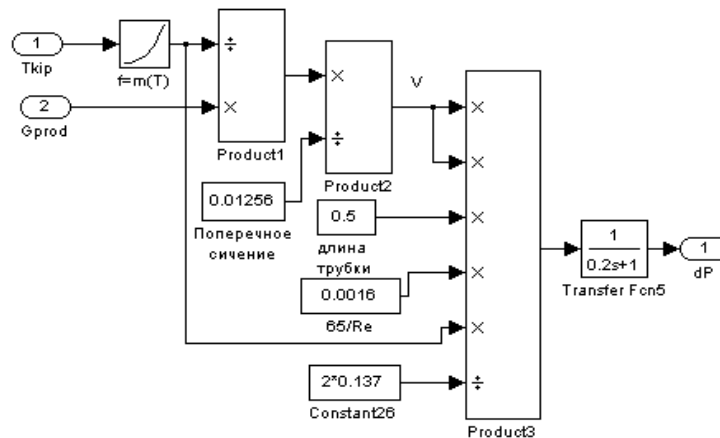


Рис. 10 – Реалізація моделі паропроводу в середовищі Matlab Simulink

Вхідними параметрами моделі є температура сокових парів ($T_{\text{пара}}$), масові витрати пари. Вихідними параметрами моделі є перепад тиску (ΔP) в паропроводі.

6.5. Модель конденсатора

Для побудови моделі конденсатора скористуємося залежностями (2.4) та (2.8). Модель теплових потоків конденсатора зображено на рисунку 11.

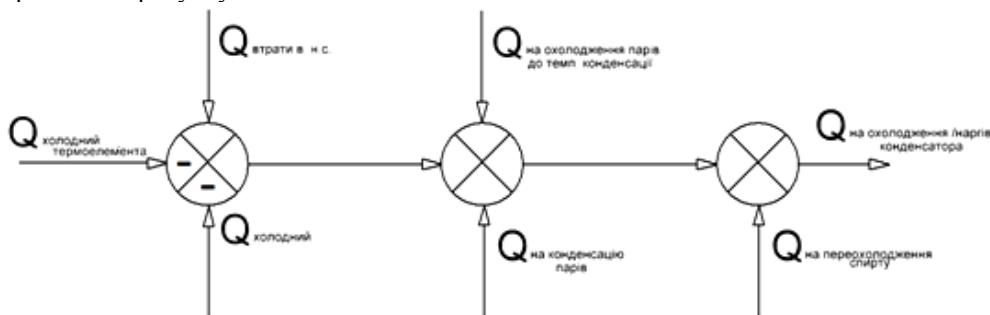


Рис. 11 – Модель теплових потоків конденсатора

Реалізація моделі конденсатора в середовищі Matlab Simulink представлена на рисунку 12.

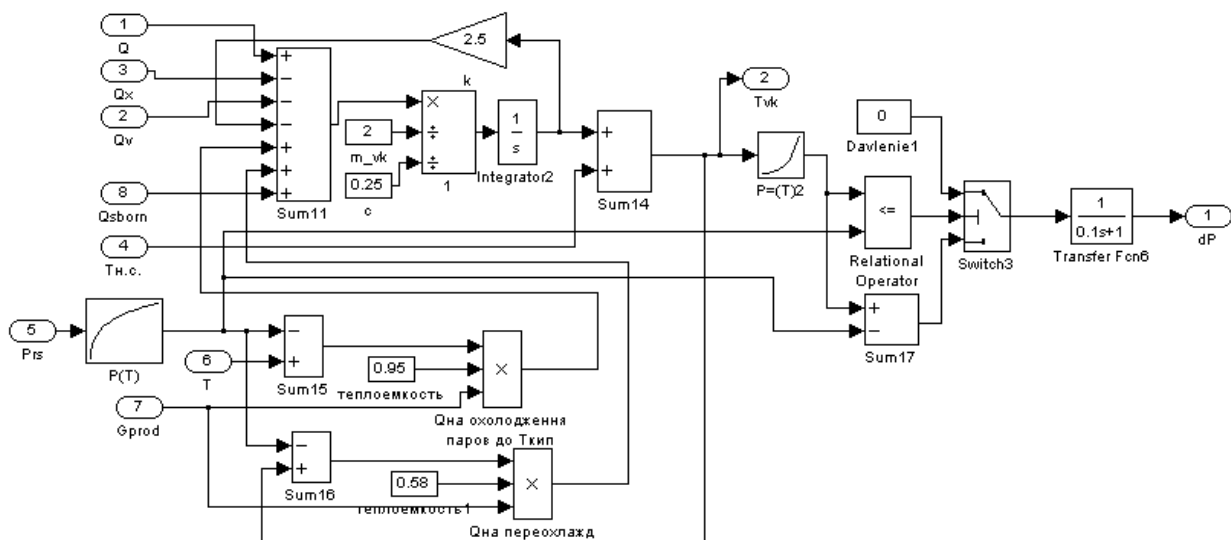


Рис. 12 – Модель конденсатора в програмі Matlab в пакеті Simulink



Вхідними параметрами моделі є тепловий потік сокових парів ($Q_{\text{паров}}$), «холодні» теплові потоки від ТЕП та вентилятора $Q_{\text{теп}}$ та $Q_{\text{вен}}$ відповідно та температура навколишнього середовища ($T_{\text{н.с.}}$). Вихідними параметрами моделі є: температура(тиск) конденсації пари та різниця між тиском(температурою) конденсації пари та тиском у ресивері.

6.6. Модель вакуумної системи

Для побудови моделі скористуємось рівнянням стану ідеального газу. [10]

$$pV = \frac{m}{M}RT \quad (2.19)$$

Оскільки всі процеси досить інерційні, припустимо, що вакуумний насос (ВН) безінерційний та виходячи із його конструкції та ємності вакуумної системи, опишемо процес відкачування повітря (зміну тиску в системі) залежністю (2.20),

$$P_{\text{сист.}} = \frac{\frac{P_{\text{атм.}} \cdot M_{\text{повітря}}}{R \cdot T_{\text{повітря}}} + (P_{\text{атм.}} - P_{\text{сист.}}) \cdot k - \int \frac{F_{\text{сист.}} \cdot M_{\text{повітря}}}{R \cdot T_{\text{повітря}}} \cdot V_{\text{рч.}} \cdot P_{\text{рч.}} \cdot \omega_{\text{нас.}}}{V_{\text{сист.}} \cdot M_{\text{повітря}}} \cdot R \cdot T_{\text{повітря}} \quad (2.20)$$

де $P_{\text{атм}}$ – атмосферний тиск; $P_{\text{сист.}}$ – тиск в вакуумній системі; M – молярна маса повітря; $V_{\text{сист.}}$ – об'єм вакуумної системи; $V_{\text{рч.}}$ – об'єм робочої камери ВН; $T_{\text{повітря}}$ – абсолютна температура повітря; R – універсальна газова стала; k – коефіцієнт підсосу повітря.

Реалізуємо модель вакуумної системи відповідності з рисунком 13.

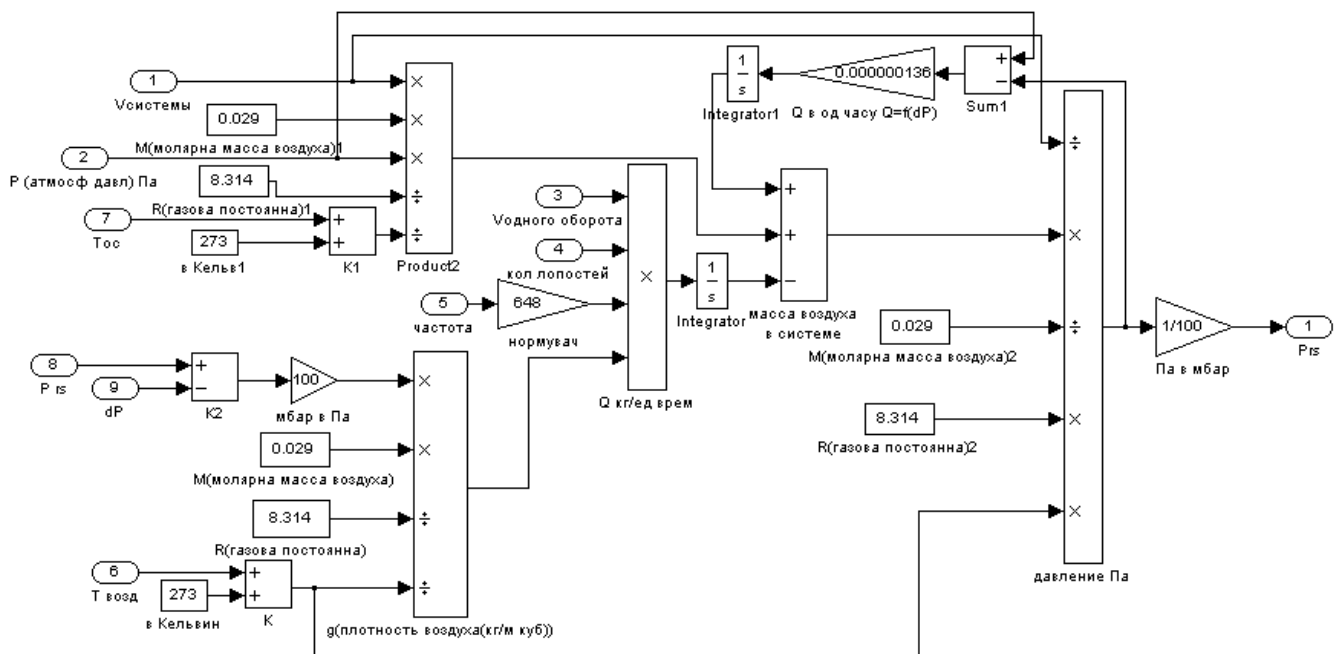


Рис. 13 – Реалізація моделі зміни тиску в системі в середовищі Matlab Simulink

6.7. Модель збірника конденсату

Для побудови моделі використовуємо рівняння стану ідеального газу (19) та залежності, які дозволять розрахувати енергію, що витрачається на підігрів речовини до температури кипіння (4), та на часткове випаровування конденсату (15), розрахувати зміну температури у збірнику за рахунок потрапляння в нього переохолодженого конденсату [6,10].

Необхідно також розрахувати зміну температури у збірнику за рахунок потрапляння в нього переохолодженого конденсату врахуванням "аварійного" режиму роботи, коли температура конденсату в збірнику вище ніж точка його кипіння та витрати енергії, яка буде використовуватися для охолодження парів, що прямують від збірника. Опишемо збірник конденсату наступними системами рівнянь (21 - 23).

$$T_{\text{конд}} = \begin{cases} \int \frac{((-T_{\text{кип конд}}) \cdot C_{\text{прод}} \cdot G) - k \cdot (-T_{\text{кип конд}})}{\int G dt - C_{\text{прод}} \cdot m_{\text{зд}} \cdot C_{\text{мат}}} dt; & T_{\text{конд}} > T_{\text{кипіння конд}} \\ \int \frac{((T_{\text{збор}} - T_{\text{санд}}) \cdot C_{\text{прод}} \cdot G) - k \cdot (T_{\text{н.с.}} - T_{\text{збір}})}{\int G dt - C_{\text{прод}} \cdot m_{\text{зд}} \cdot C_{\text{мат}}} dt; & T_{\text{конд}} < T_{\text{кипіння конд}} \end{cases} \quad (21)$$

$$m = \begin{cases} \int G dt + \int \frac{m \cdot C_{\text{прод}} \cdot (T_{\text{конд}} - T_{\text{кип конд}})}{L} dt; & T_{\text{конд}} > T_{\text{кипіння конд}} \\ \int G dt; & T_{\text{конд}} < T_{\text{кипіння конд}} \end{cases} \quad (22)$$



$$Q = \begin{cases} \int m \cdot C_{\text{прод}} \cdot (T_{\text{конд}} - T_{\text{кип конд}}) dt; & T_{\text{конд}} > T_{\text{кипіння конд}} \\ 0; & T_{\text{конд}} < T_{\text{кипіння конд}} \end{cases} \quad (23)$$

де $T_{\text{кипконд}}$ – температура кипіння конденсату; m – маса конденсату в збірнику; Q – енергія парів продукту; M – молярна маса; $V_{\text{сист}}$ – об’єм системи; $T_{\text{конд}}$ – температура конденсату; R – універсальна газова стала; G – витрати конденсату; $C_{\text{пр}}$ – теплоємність конденсату; $C_{\text{мат}}$ – теплоємність матеріалу, з якого виготовлено збірник; m_{36} – маса матеріалу, з якого виготовлено збірник; k – коефіцієнт теплових втрат в навколишнє середовище.

Реалізуємо модель збірника конденсату в середовищі Matlab Simulink відповідності з рисунком 14.

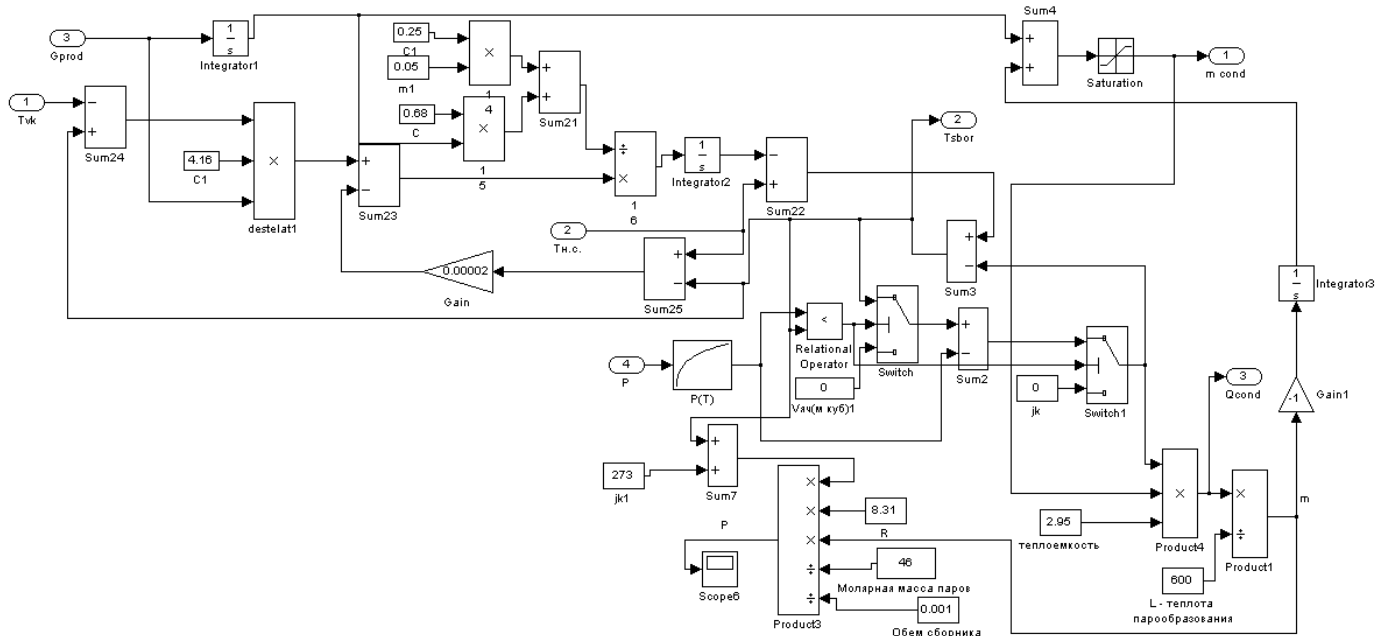


Рис. 14 – Реалізація моделі збірника конденсату в середовищі Matlab Simulink

6.8. Модель радіатора з повітряним охолодженням

Для побудови моделі радіатора будемо користуватися залежностями (4) та (8).

Реалізуємо модель в програмі Matlab в пакеті Simulink у відповідності з рисунком 15.

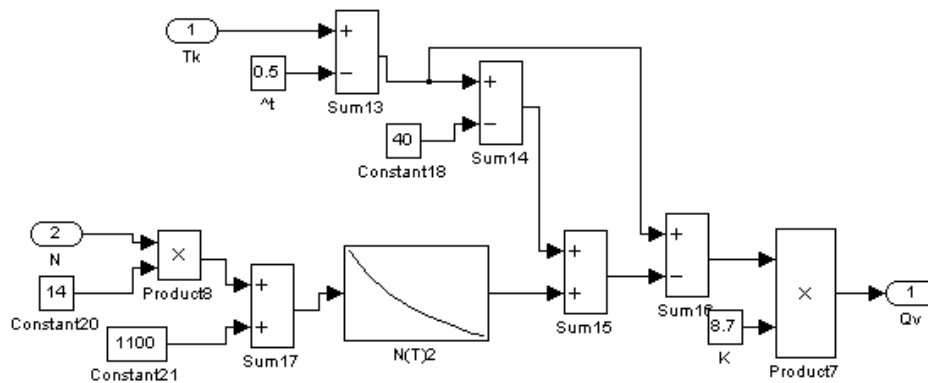


Рис. 15 – Реалізація моделі радіатора з повітряним охолодженням в середовищі Matlab Simulink

Вхідними параметрами моделі є температура конденсатора (T_k), кількість обертів вентилятора (N), температура навколишнього середовища, площа (F) та кількість (N) секцій радіатора. Вихідним – тепловий потік, що охолоджує воду в конденсаторі (Q_v).

6.9. Загальна імітаційна модель процесу

Виходячи із загальної структурної схеми імітаційна модель процесу в середовищі Matlab Simulink складеться з моделей окремих вузлів, а саме: термоелектричного перетворювача, пароводяної сорочки, випарника, паропровода, конденсатора і моделі вакуумної системи з ресивером та вакуумним насосом, з’єднаних необхідними зв’язками у відповідності з рисунком 16. Комплекс імітаційних моделей було максимально спрощено, оскільки він розроблявся



не для розрахунку конструктивних параметрів вузлів та агрегатів, а для дослідження процесу як об'єкту керування, і його основна задача адекватно відтворювати фізичні властивості та взаємозв'язки між основними змінними процесів в МВТК. Так у випарнику та конденсаторі прийнята модель ідеального перемішування, перепад температур (тиску) в теплових трубах та в пароводяній сорочці відсутній і т.д.

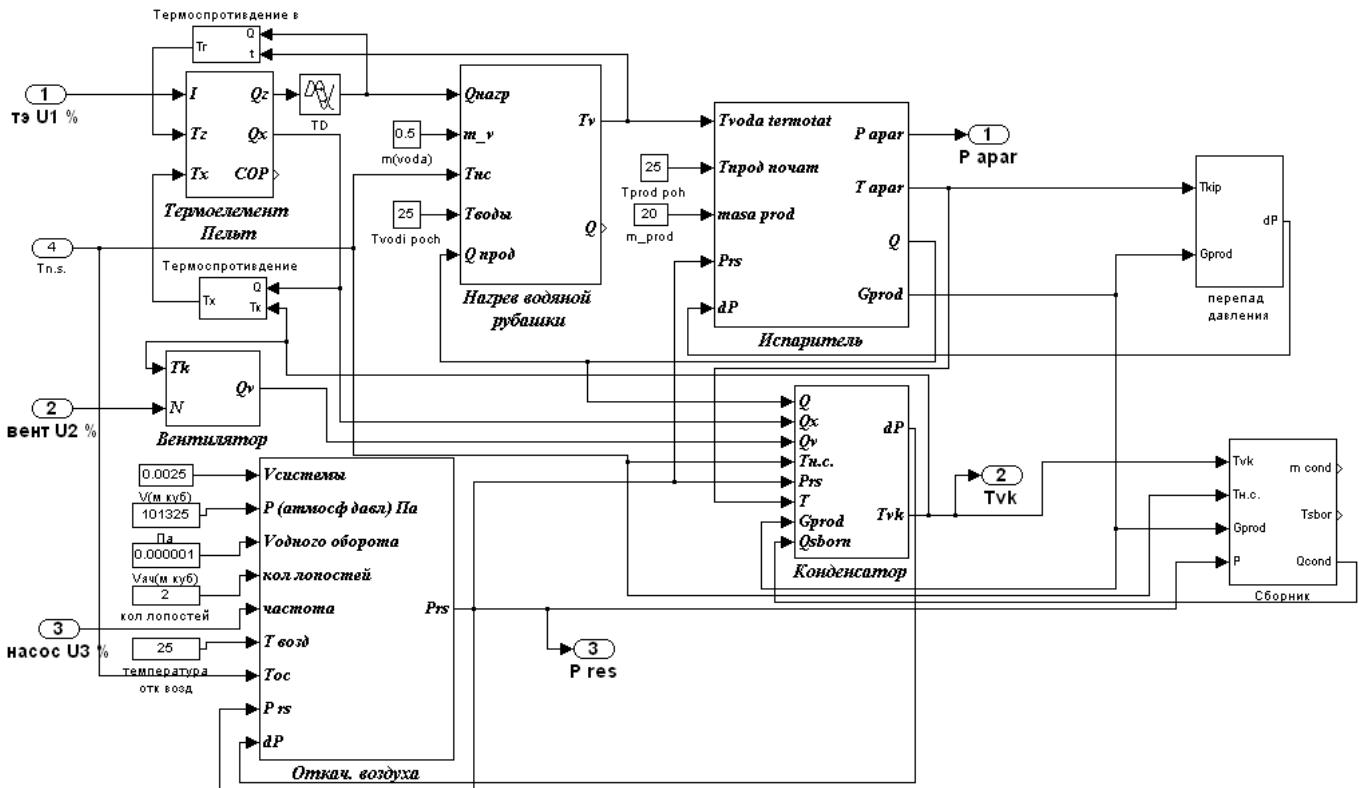


Рис. 16 – Реалізація загальної імітаційної моделі процесу термовакuumної обробки харчових продуктів в середовищі Matlab Simulink

7. Дослідження імітаційної моделі процесу та перевірка її на адекватність

З метою дослідження статичних та динамічних властивостей отриманої імітаційної моделі МВТК та перевірки моделі на адекватність, були організовані експерименти, які можна розглядати як отримання сімейств квазістатичних залежностей між основними змінними процесу [8,9,13]. Для цього в процесі моделювання були використані декілька паралельно працюючих моделей. При тому один з вхідних параметрів процесу, в майбутньому можливо керуючий вплив, змінювався в заданому діапазоні з постійною попередньо вибраною швидкістю на входах всіх паралельно працюючих моделей, а декілька різних фіксованих значень другого вхідного параметру подавались одночасно на відповідні входи цих моделей. При цьому проводилась реєстрація необхідних змінних процесу. Наприклад, величина струму ТЕП змінюється з постійною швидкістю від 0-10А (0 - 100%х.р.о.) і моделювання іде при різних фіксованих частотах обертання вентилятора від 0 до 2400 об/хв (0 - 100%х.р.о.) з реєстрацією основних змінних процесу: тиск у випарнику ($P_{пр}$), температура води в конденсаторі ($T_{вк}$), розрідження в ресивері ($P_{рес}$). і т.д. Результати такого машинного експерименту представлені на рисунках 17 та 18.

Характер цих залежностей свідчить про те, що температура у випарнику визначається перед усім температурним режимом конденсатора та перепадом тиску в паропроводі, який, в свою чергу, залежить від витрати пари крізь паропровід. Таким чином, керувати швидкістю випаровування можливо, контролюючи перепад тиску в паропроводі. Дуже суттєвий вплив на сталі температурні режими процесу термовакuumної обробки, при інших рівних умовах, мають як рівень струму ТЕП, так і частота обертання вентилятора. При збільшенні потужності ТЕП необхідно також збільшити потужність вентилятора, щоб її вистачало для виходу на заданий температурний режим конденсатора. Необхідно також враховувати, що при повній потужності ТЕП тиск насичених парів дистилляту, відповідний до температури конденсації, не повинен перевищувати тиск неконденсованих газів в вакуумній системі, що може привести до "аварійних" режимів. Наявність таких режимів на рисунках 17-18 спостерігається при частотах обертів вентилятора менших 30% від максимальних.

На рисунку 19а представлені динамічні залежності тиску у випарнику при ступінчатій зміні струму ТЕП для різних частот обертів вентилятора. З огляду на них, можливо зробити висновок, що вибрана потужність ТЕП замала. Для більш швидкого виходу на режим можливо або збільшити потужність ТЕП, або зменшити масу продукту.

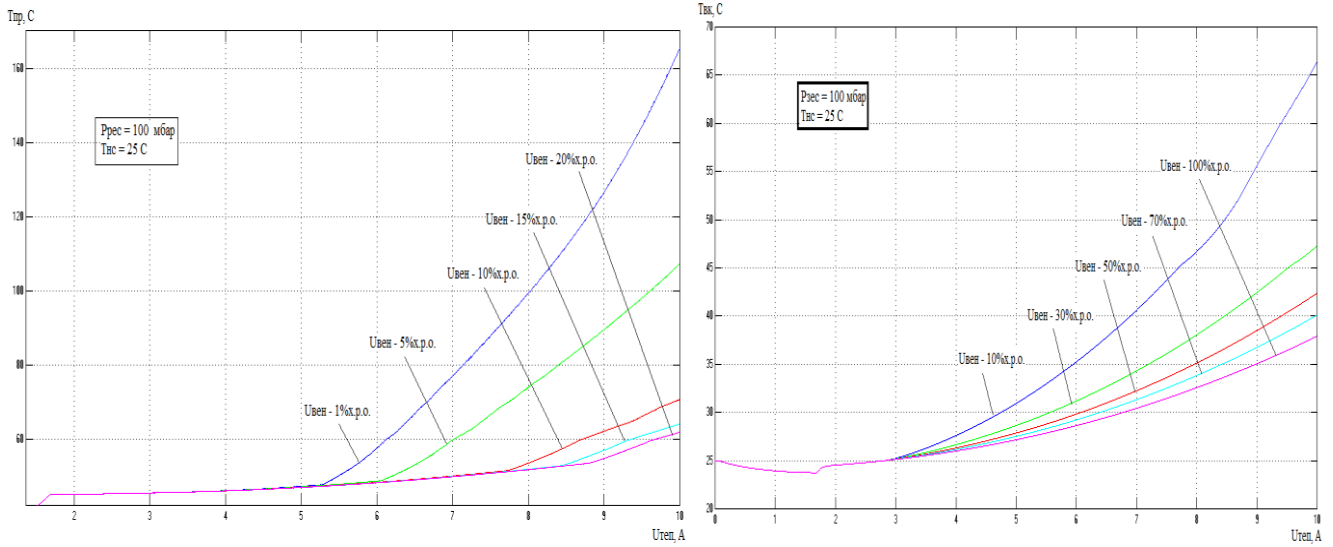


Рис. 17 – Квазістатичні залежності температури у випарнику(а) та температури конденсатора (б) від струму ТЕП при різних частотах вентилятора

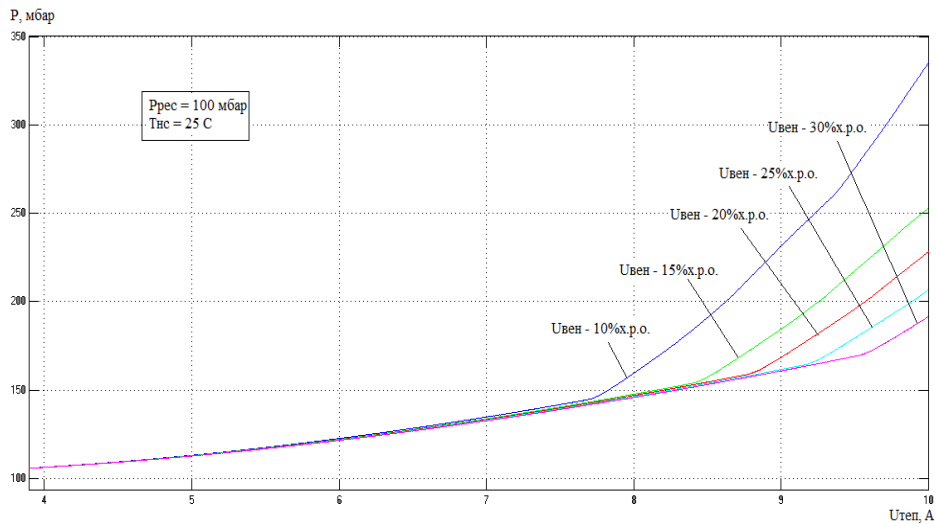


Рис. 18 – Квазістатичні залежності тиску у випарнику від струму ТЕП при різних частотах вентилятора

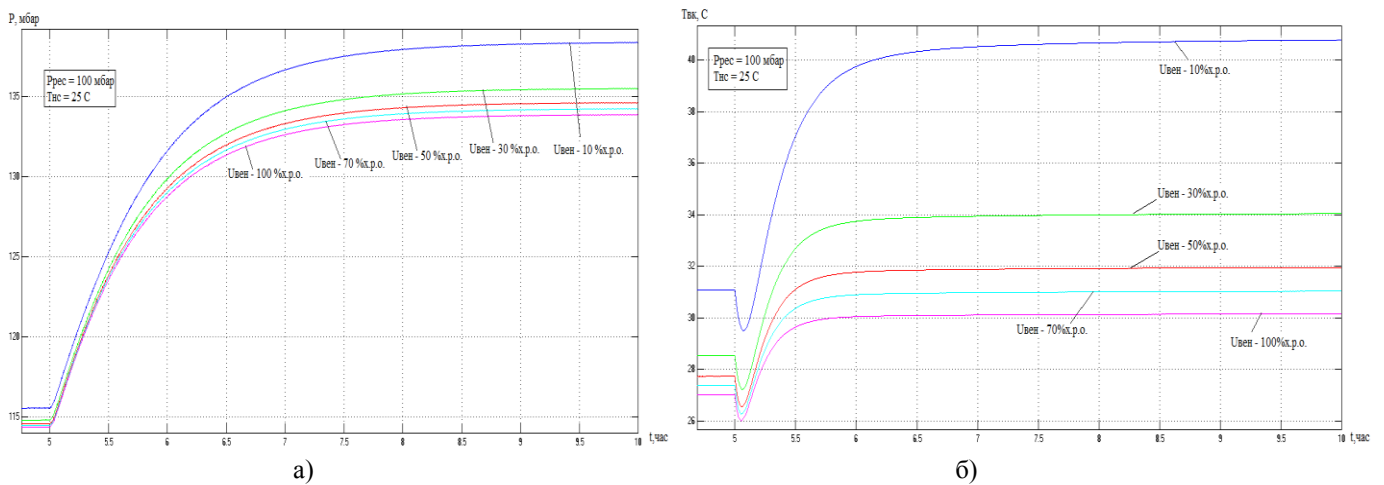


Рис. 19 – Динамічні залежності тиску у випарнику(а) та температури конденсатора (б) при ступінчатій зміні струму ТЕП для різних частот обертів вентилятора



На рисунку 19б представлені динамічні залежності температури води в конденсаторі при ступінчастому збільшенню струму ТЕП для різних частот обертів вентилятора. З графіків на рисунку 19б видно, що після ступінчастого збільшення струму ТЕП, температура води в конденсаторі спочатку зменшується, а потім зростає. Це обумовлюється тим, що при збільшенні рівня струму потужність ТЕП та його "холодний" тепловий потік охолоджуючий конденсатор зростає, і температура води в конденсаторі спочатку спадає, але з часом за рахунок інтенсифікації кипіння у випарнику та збільшенню кількості пари, що конденсується, вона знову зростає відповідно до сталого режиму. Така поведінка імітаційної моделі свідчить про те, що вона досить адекватно відтворює не тільки статичні, а і динамічні властивості тепломасообмінних процесів, що протікають в МВТК.

8. Висновки

Результати тестування статичних та динамічних властивостей розробленої аналітичної імітаційної моделі свідчать про те, що вона доволі адекватно відтворює складні тепломасообмінні процеси, які протікають в малогабаритному вакуумному термоелектричному котлоагрегаті, і може бути використана при дослідженні його як об'єкту керування, а також при розробці та тестуванню алгоритмів керування процесом.

Список використаних джерел

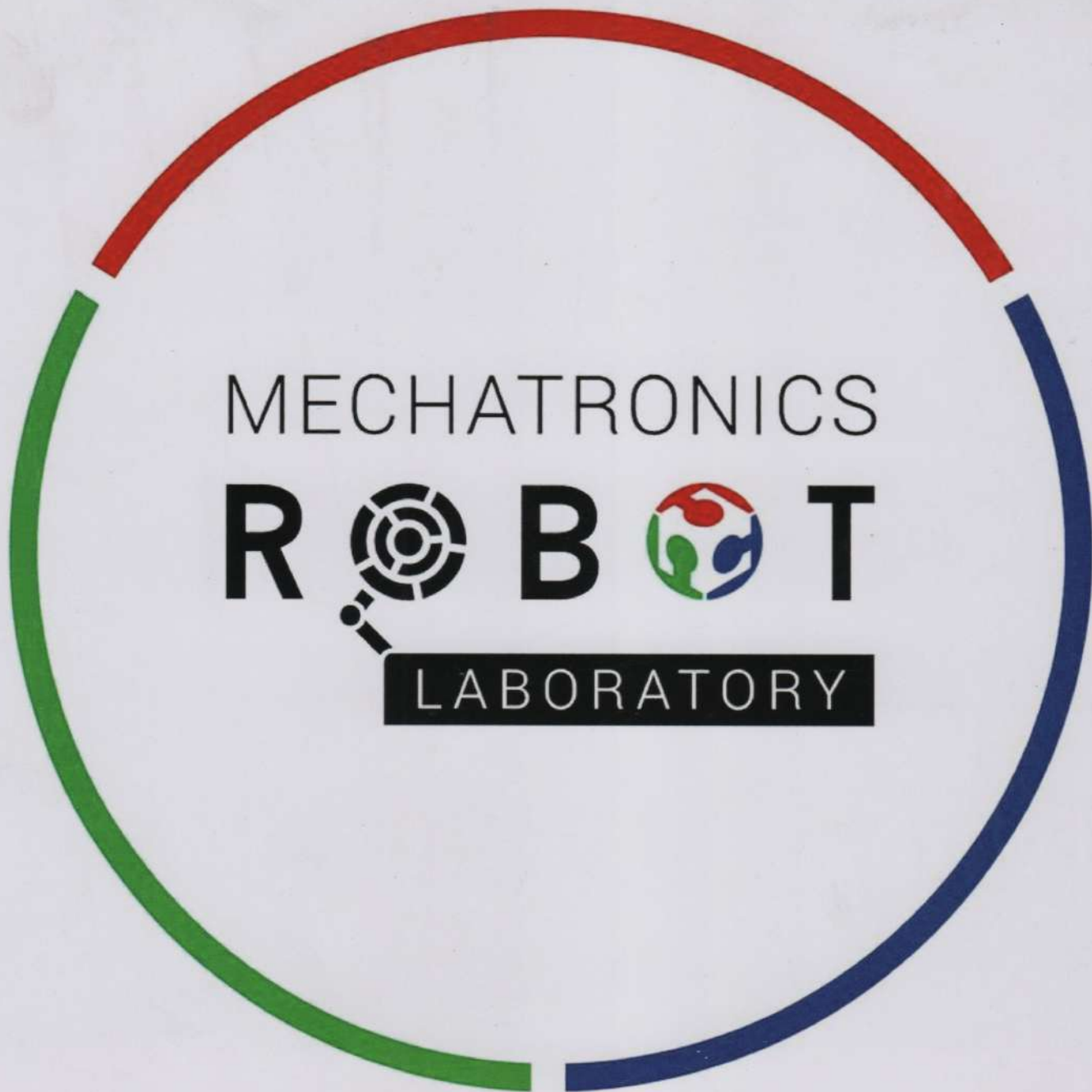
- [1] ДСТУ 3862-99 Ресторанне господарство. Терміни та визначення
- [2] Научные основы производства продуктов питания: учебное пособие для высшего профессионального образования / С.Я. Корячкина, О.М. Пригарина. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госунiversитет-УНПК», 2011. – 377 с.
- [3] Hudz, S., Mazur, A., & Kovalchuk, D.. The thermoelectric vacuum crock-pot and the automated workplace for its research as a control object. *Automation of Technological and Business Processes*, 9(2).
- [4] Chakib Alaoui, "Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation", *International Journal of Engineering, KSA*, vol. 5, no. 1, pp. 114-121, Sep 2011.
- [5] <https://www.mathworks.com/help/simulink/>
- [6] Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической промышленности. М.: Госхимиздат 1971.
- [7] Гальперин Н.И. Выпарные аппараты - Москва: Госхимиздат, тип. им. Евг.Соколовой: 2-я типолит. ГИМИЗ в Ленинграде, 1947. - 380 с : ил., 1 л. граф.
- [8] 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 // *Automation of technological and business processes*. –2019. –Т. 11, no. 1
- [9] Ковальчук Д., & Мазур, О.. Дослідження процесів утилізації тепла пароповітряних сумішей: імітаційне моделювання. *Automation of Technological and Business Processes*, 11(4), 68-82. <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i4.1601>
- [10] Злобин В.Г., Горбай С.В., Короткова Т.Ю. Техническая термодинамика. Часть 1. Основные законы термодинамики. Циклы тепловых двигателей: учебное пособие. -2 изд., испр. и перераб./ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб., 2016.-146 с.: ил. 52.
- [11] Энергоэффективное гарантирующее управление тепловыми и тепло-массообменными процессами пищевых технологий: проблемы, имитационные модели, структуры и алгоритмы САУ [Текст] : монография / Хобин В. А., Мазур А. В., Степанов М. Т. - Херсон : Гринь Д. С. [изд.], 2014. - 212 с. : рис., табл. - Библиогр.: с. 203-210. - 300 прим. - ISBN 978-617-7123-95-7
- [12] Мазур, А. В. Повышение энергетической эффективности тепловых процессов пищевых технологий средствами гарантирующего управления [Текст] : дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / Мазур Александр Васильевич ; Одесская национальная академия пищевых технологий. - О., 2006. - 208 л.: рис., табл. - Библиогр.: л. 167-178
- [13] Мазур О.В., Степанов М.Т. Моделювання процесів управління пастеризаційно-охолоджувальною установкою у середовищі MATLAB // *Наук. пр. ОДАХТ / Міністерство освіти України*. – Одеса: 2001. – Вип. 22. – С. 124–128.

References

- [1] DSTU 3862-99 Restoranne gospodarstvo. termini ta viznachennya
- [2] Koryachkina S.Ya., Prigarina O.M. *Nauchnyie osnovyi proizvodstva produktov pitaniya: uchebnoe posobie dlya vyisshego professionalnogo obrazovaniya*. Orel: FGBOU VPO Gosuniversitet-UNPK, 2011, 377 p.
- [3] Hudz, S., Mazur, A. And Kovalchuk, D. "The thermoelectric vacuum crock-pot and the automated workplace for its research as a control object", *Automation of technological and business processes*, 9(2), 2017
- [4] Chakib Alaoui, "Peltier Thermoelectric Modules Modeling and Evaluation", *International Journal of Engineering, KSA*, vol. 5, no. 1, pp. 114-121, Sep. 2011.
- [5] Simulink [Electronic source]. Available at <https://www.mathworks.com/help/simulink/>
- [6] Kasatkin, A. G. *Osnovnyie protsessyi i apparaty himicheskoy promyshlennosti*. Moscow, Goshimizdat, 1971.
- [7] Galperin, N.I. *Vyparnye apparaty*. Moskva, Goshimizdat, 1947, 380 p.
- [8] Kovalchuk, D.A., Mazur, O.V., Khobin, V.A. "Doslidzhennya protsesiv utilizatsiyi tepla paropovitryanih sumishey: rezultati eksperimentiv, strukturna ta parametrichna identifikatsiya osnovnih kanaliv ob'ektu", *Automation of technological and business processes*, 2019, 11(1)



- [9] Kovalchuk, D., & Mazur, O. “Doslidzhennya protsesiv utilizatsiyi tepla paropovitryanih sumishey: imitatsiyne modelyuvannya”. *Automation of technological and business processes*, 11(4), 68-82. <https://doi.org/10.15673/atbp.v11i4.1601>
- [10] Zlobin V.G., Gorbay S.V., Korotkova T.Yu. *Tekhnicheskaya termodinamika. Chast 1. Osnovnyie zakonyi termodinamiki. Tsiklyi teplovyih dvigateley: uchebnoe posobie.-2 izd., ispr. i pererab. VShTE SPbGUPTD. 2016.*
- [11] Hobin V. A., Mazur A. V., Stepanov M. T. *Energoeffektivnoe garantiruyuschee upravlenie teplovyimi i teplo-massoobmennyimi protsessami pischevyih tehnologiy: problemy, imitatsionnyie modeli, strukturyi i algoritmyi SAU : monografiya.* Kherson, Grin D. S., 2014, 212 p. ISBN 978-617-7123-95-7
- [12] Mazur, A. V. *Povyishenie energeticheskoy effektivnosti teplovyih protsessov pischevyih tehnologiy sredstvami garantiruyushego upravleniya : dis... kand. tehn. nauk: 05.13.07. Odesskaya natsionalnaya akademiya pischevyih tehnologiy. 2006.*
- [13] Mazur O.V., Stepanov M.T. “Modelyuvannya protsesiv upravlinnya pasterizatsiyno-oholodzhivalnoyu ustanovkoyu u seredovischi MATLAB” *Nauk. pr. ODAHT*, 22, pp. 124–128, 2001.
-



Laboratory of Mechatronics and Robotics in Odessa National Academy of Food Technologies was established in 2014. It is the first co-work space with the widely developed material base. The main aim of Laboratory is to popularize technical education in general and robotics in particular. In this regard Laboratory provides open access for everyone (conditions for access – 20 % of the time should be voluntarily devoted to social events that are valuable for Laboratory). Laboratory of Mechatronics and Robotics consists of eight auditoriums: workroom for prototyping, specialized auditorium of industrial pneumatic robotics, specialized auditorium of industrial electrical robotics, specialized auditorium of portable robotics, specialized auditorium of industrial hydraulic robotics, recreation zone for relaxation, a head office and a small storeroom. All the auditoriums have all the necessary stands and equipment for students' education process, for work on the projects and conducting of research.

Kanatnaya St, 112, Odessa, 65039, Ukraine
+380487124254

mechatronics.robotlab@gmail.com
<http://www.robot.onaft.edu.ua/>

