

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Инамене Крістофер Чізоба

УДК 004.5; 614.2

ДИСЕРТАЦІЯ
КОМП'ЮТЕРНА ОНТОЛОГІЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ
«МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ»

122 – Комп'ютерні науки

12 – Інформаційні технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ / Инамене Крістофер Чізоба /

Науковий керівник:
доктор технічних наук, професор
Лупенко Сергій Анатолійович

Тернопіль – 2021

АНОТАЦІЯ

Инамене Крістофер Чізоба. Комп'ютерна онтологія предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів». – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.

Зміст анотації. Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання розробки концептуальних, формальних та машинно-інтерпретованих моделей подання та організації знань в інтегрованому онтоорієнтованому інформаційному середовищі для моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудові на їх основі прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що є ядром бази знань таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова система, експертна система підтримки прийняття рішень та система комп'ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, наведено зв'язок роботи з науково-дослідною темою, поставлено мету та визначено завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, наведено перелік методів дослідження, що застосовувались для досягнення мети дисертаційної роботи. Сформульовано наукову новизну, практичне значення отриманих результатів та особистий творчий внесок здобувача. Подано відомості щодо апробації та опублікування результатів дослідження.

У першому розділі «Огляд та аналіз відомих моделей, методів та засобів побудови онтологій предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»» на основі огляду та аналізу сучасних наукових та технологічних досягнень в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, встановлено, що важливою науковою та прикладною проблемою є

розробка інтегрованого інтелектуалізованого інформаційного середовища для моделювання та опрацювання циклічних сигналів, яке уможливить інтеграцію (систематизацію та структурузацію) знань в цій предметній області, автоматизує процес моделювання та опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів, інтенсифікує процеси розробки нових та обґрунтованого вибору відомих математичних моделей і методів опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень.

У розділі проведено компаративний аналіз відомих моделей та технологій подання знань в інтелектуалізованих інформаційних системах, що дало змогу обґрунтувати слушність застосування онтологічного підходу до подання знань предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», оскільки онтологічний підхід добре узгоджений із аксіоматико-дедуктивною стратегією організації теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що суттєво підвищує рівень її структурованості, строгості та формалізованості, полегшує виявлення нових напрямів та регіонів розвитку теорії циклічних функціональних відношень.

Проведено огляд відомих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем, зокрема, в предметній області моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що стало підставою для обґрунтування актуальності дослідження та формулювання наукового завдання розробки концептуальних, формальних та машинно-інтерпретованих моделей подання та організації знань в інтегрованому онтоорієнтованому інформаційному середовищі для моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудови на їх основі прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що є ядром бази знань таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова система, експертна система підтримки прийняття рішень та система комп'ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

У другому розділі «Концептуальні, формальні та програмно-технологічні засади розробки комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та

опрацювання циклічних сигналів»» сформульовано загальні вимоги до розроблюваної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що дало змогу явно задати сукупність необхідних її властивостей та задати чіткі дослідницькі та проектні орієнтири на всіх етапах її створення. Розроблено узагальнену концептуальну модель предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», яка на вербально-графічному рівні відображає семантичний простір цієї предметної області та виділяє п'ять її змістовних підпросторів. Встановлено тісний логіко-семантичний взаємозв'язок між цими змістовними просторами та онтологіями, які їх специфікують в машинно-інтерпретовній формі.

Розроблено формальні моделі складових онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» у вигляді певних реляційних систем. Зокрема, розроблено формальну модель онтології математичних моделей циклічних сигналів, яка включає у себе скінченну множину назв класів циклічних функціональних відношень; функцію інтерпретації, що задає означення відповідних класів циклічних функціональних відношень як складових глосарію; відношення родо-видового підпорядкування, яке задає таксономію (ієрархію) між різними класами циклічних функціональних відношень; вектор унарних відношень, які задають властивості (ознаки, атрибути) відповідного класу циклічних функціональних відношень, та восьмикомпонентний вектор, елементи якого характеризують стан (рівень) пропрацьованості (імплементації, розробки) відповідних інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень. Здійснено обґрунтований вибір мови опису онтологій OWL DL та середовища розробки онтологій Protégé як ефективних, зручних у використанні та безкоштовних засобів розробки комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що суттєво інтенсифікує процес розробки відповідної онтології.

У третьому розділі «Комп'ютерна онтологія математичних моделей сигналів циклічної просторово-часової структури на основі методу індукції множини та таксономії класів циклічних функціональних відношень» здійснено обґрунтування та застосування методу індукції (генерування, породження) множини назв та означень класів циклічних функціональних відношень, а також їх таксономії, що є основними складовими глосарію та множини відношень комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів.

У середовищі Protégé, шляхом упорядкованого багатократного застосування логічної операції поділу родових понять на видові поняття, побудовано множини назв та таксономії видів областей значень, видів атрибутів циклічності, видів областей визначення та видів функцій ритму абстрактного циклічного функціонального відношення, що уможливило застосування методу індукції (генерування, породження) для побудови прототипу комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів.

Шляхом упорядкованого комбінування назв видів області значень, видів атрибутів циклічності, видів області визначення, видів функції ритму в означенні абстрактного циклічного функціонального відношення, у середовищі Protégé побудовано глосарій класів циклічних функціональних відношень як математичних моделей циклічних сигналів, а також побудовано таксономію класів циклічних функціональних відношень, що є важливою складовою комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів та уможливорює підвищення рівня структурованості, формалізованості та машинної інтерпретованості теорії циклічних функціональних відношень.

Розроблено метод побудови векторів властивостей класів циклічних функціональних відношень та векторів рівнів імплементації відповідних цим класам методів та програмних засобів, що задаються як атрибути класів комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів. Ці вектори повністю характеризують як кожен конкретний клас циклічних функціональних відношень, так і рівень розробленості технологій (методів та засобів)

опрацювання та імітації циклічних сигналів у рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень, що важливо при розв'язанні задачах обґрунтованого вибору математичної моделі, технологій опрацювання та імітації (генерування) циклічних сигналів.

Розроблено прототип комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів в середовищі Protégé, яка до свого складу включає глосарій (множину назв та множину означень) та таксономію класів циклічних функціональних відношень, кожен із яких охарактеризовано вектором властивостей та вектором рівнів імплементації відповідних методів та програмних систем, що у компактній та зручній для сприйняття формі містять відомості про визначальні властивості існуючих математичних моделей, рівня розробки методів та засобів їх напрацювання для вирішення типових завдань в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів». Зокрема, такі відомості є ваговою підставою для коректного та обґрунтованого вибору дослідником (проектувальником) математичних моделей, методів, алгоритмів та програмних засобів, необхідних для вирішення конкретних завдань дослідження циклічних сигналів, а також можуть слугувати основою розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогнозування, прийняття рішень) циклічних сигналів в інформаційних системах.

У четвертому розділі «Архітектури інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища та прототип інформаційної довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»» сформульовано основні вимоги та розроблено узагальнену архітектуру інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що уможливорює ефективне системне вирішення цілого спектру важливих методологічних, методичних та технологічних завдань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, зокрема, суттєво спрощує, інтенсифікує (автоматизує) та підвищує

ступінь достовірності процедури розробки математичного та програмного забезпечення інтелектуалізованих систем для потреб медицини, техніки та економіки. Для програмної реалізації інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів було вибрано web-фреймворк Django, який написано на мові Python, та систему управління базами даних MySQL, що уможливило забезпечення високої швидкості розробки програмного продукту, наявність вбудованого багатофункціонального та гнучкого інтерфейсу адміністратора, а також наявність засобів інформаційної безпеки та кросплатформність.

На основі розроблених концептуальних та формальних моделей подання та організації знань, а також враховуючи структурно-функціональні аспекти побудованого прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» сформульовано вимоги та розроблено узагальнені архітектури таких складових інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів як інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»; експертної онтоорієнтованої системи підтримки прийняття рішень предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Із використанням web-фреймворку Django на основі вбудованого інтерфейсу адміністратора розроблено прототип інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», функціонал якої забезпечує доступ до статей про математичні моделі та методи опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів, які структуровані згідно із розробленою таксономією класів циклічних функціональних відношень, що є складовою комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Основні наукові результати дисертації опубліковано у 6 працях, зокрема: 2 статті у закордонних наукових періодичних виданнях [1, 6], 2 статті у наукових фахових періодичних виданнях України [2, 3], 2 публікації у матеріалах міжнародних наукових, науково-технічних конференцій [4, 5]. З них 1 робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus [4]; 1 – до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus [2].

Ключові слова: комп'ютерна онтологія, онтологічне моделювання, формальна модель онтології, онтоорієнтована інформаційна система, математичне моделювання, опрацювання сигналів, циклічні сигнали.

SUMMARY

Nnamene Christopher Chizoba. Computer ontology of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals". - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the speciality 122 "Computer Science". - Ternopil National Technical University, named after Ivan Pulyuy, Ternopil, 2021.

Annotation content: The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific problem of development of conceptual, formal and machine-interpretive models of representation and organization of knowledge in the integrated onto - oriented information environment for Modeling and processing of cyclic signals within the theory of cyclic functional relations. "Modeling and processing of cyclic signals" is the core knowledge base of such onto-oriented information systems as information reference systems, expert decision support systems, computer modeling and processing of cyclic signals.

The introduction substantiates the study's relevance, links the work with the research topic, sets the purpose and objectives of the study, object and subject of research, lists the research methods used to achieve the goal of the dissertation. The scientific novelty, practical significance of the obtained results and personal creative contribution were formulated. Information on approbation and publication of research results is provided.

The first section, "Review and analysis of known models, methods and tools for building ontologies of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals". Based on a review and analysis of modern scientific and technological advances in the field of Modeling and processing of cyclic signals, it is established that a significant scientific and applied problem is the

development of an integrated intellectualized information environment for Modeling and processing of cyclic movements. Subject area automates the process of Modeling, processing and computer simulation of cyclic signals, intensifies the development of new and sound choices of known mathematical models and methods of cyclic signal processing in the theory of cyclic functional relations.

The section presents a comparative analysis of known models and technologies of knowledge representation in intellectualized information systems, which substantiates the validity of the ontological approach to knowledge representation of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals". The ontological approach is well coordinated with axiomatics and processing of cyclic signals, which significantly increases the level of its structure, rigour and formalism, facilitates the identification of new directions and regions of development of the theory of cyclic functional relations.

A review of known ontologies and onto-oriented information systems, in particular, in the field of Modeling and processing of cyclic signals, which became the basis for substantiating the relevance of research and formulation of the scientific task of developing conceptual, formal and machine-interpretive models of representation and organization of knowledge in an integrated ontology. Modeling and processing of cyclic signals within the theory of cyclic functional relations, as well as building on their basis a prototype of computer ontology of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals", which is the core knowledge base of such onto-oriented information systems as an information reference system, expert support system decision making and method of computer modeling and processing of cyclic signals.

The second section, "Conceptual, formal and software-technological principles of development of computer ontology of the subject area "Modeling

and processing of cyclic signals". Formulates general requirements for the developed ontology, which allows to specify its properties and set clear research and design guidelines at all stages of its creation. A generalized conceptual model of the subject area, "Modeling and processing of cyclic signals", has been developed. At the verbal-graphic level, it reflects the semantic space of this subject area and identifies five of its content subspaces. A close logical-semantic relationship has been established between these meaningful spaces and the ontologies that specify them in a machine-interpretive form.

Formal models of components of the ontology of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals" in the form of specific relational systems are developed. In particular, a formal model of the ontology of mathematical models of cyclic signals has been developed, which includes a finite set of names of classes of cyclic functional relations; an interpretation function that defines the corresponding classes of cyclic functional relations as components of the glossary; the relation of genus-species subordination, which defines a taxonomy (hierarchy) between different classes of cyclic functional relations; vector of unary relations that define the properties (features, attributes) of the corresponding class of cyclic functional relations, and eight-component vector, the elements of which characterize the state (level) of elaboration (implementation, development) of relevant information technologies of processing and computer simulation (generation) of cyclic signals within the corresponding class of cyclic functional relations. There is a reasonable choice of language for describing OWL DL ontologies and Protégé ontology development environment as effective, easy-to-use and free tools for developing computer ontology of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals", which significantly intensifies the process of developing the relevant ontology.

In the third section, "Computer ontology of mathematical models of signals of cyclic space-time structure based on the method of set induction and taxonomy of classes of cyclic functional relations", the substantiation and application of the method of induction (generation, generation) of many names and definitions of classes of cyclic functional relations their taxonomies, which are the main components of the glossary and the set of relations of the computer ontology of mathematical models of cyclic signals.

In the Protégé environment, by orderly repeated application of the logical operation of the division of generic concepts into species concepts, sets of names and taxonomies of types of value domains, types of cyclicity attributes, types of domain definitions and types of rhythm functions of abstract cyclic functional relation are constructed. generation) to build a prototype computer ontology of mathematical models of cyclic signals.

By orderly combining the names of the types of the domain of values, the types of attributes of cyclicity, the types of the part of the definition, the types of rhythm function in the definition of abstract cyclic functional relation, a glossary of classes of cyclic functional relations as mathematical models of cyclic signals are constructed in Protégé, which is an important component of the computer ontology of mathematical models of cyclic signals and allows to increase the level of structure, formality and machine interpretability of the theory of cyclic functional relations.

A method for constructing property vectors of classes of cyclic functional relations and vectors of implementation levels of methods and software corresponding to these classes, which are given as attributes of computer ontology classes of mathematical models of cyclic signals, has been developed. These vectors fully characterize each specific class of cyclic functional relations and the level of technology (methods and tools) for processing and simulating

cyclic signals within their mathematical model in the form of a corresponding class of cyclic functional relations, which is important in solving problems of reasonable choice of mathematical models, technologies of processing and simulation (generation) of cyclic signals.

A prototype of a computer ontology of mathematical models of cyclic signals in the Protégé environment has been developed, which includes a glossary (set of names and set of definitions) and taxonomy of classes of cyclic functional relations, each of which is characterized by a vector of properties and implementation levels of appropriate methods. that in a compact and easy to understand form contain information about the defining properties of existing mathematical models, the level of development of methods and tools for their development to solve typical problems in the subject area "Modeling and processing of cyclic signals". In particular, such information is an essential basis for the correct and reasonable choice of the researcher (designer) of mathematical models, methods, algorithms and software needed to solve specific problems of cyclic signals and can serve as a basis for developing onto-oriented information systems for Modeling, generating, processing (analysis, forecasting, decision making) of cyclic signals in information systems.

In the fourth section, "Architectures of the integrated onto-oriented information environment and the prototype of the information reference system of the subject area" Modeling and processing of cyclic signals ", the basic requirements are formulated and the generalized architecture of the integrated onto-oriented information environment of Modeling and processing, methodological and technological tasks in the field of Modeling and processing of cyclic signals, in particular, significantly simplifies, intensifies (automates) and increases the reliability of the procedure for developing mathematical and software of intelligent systems for the needs of medicine, technology and

economics. For the software implementation of the integrated onto-oriented information environment for Modeling and processing cyclic signals, the Django web framework written in Python and the MySQL database management system was chosen, enabling high-speed software development and a built-in multifunctional and flexible interface. Also, the availability of information security tools and cross-platform.

Based on the developed conceptual and formal models of knowledge representation and organization, as well as taking into account structural and functional aspects of the constructed prototype of computer ontology of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals", formulated requirements and generalized architectures of such components of integrated information signals as an information-oriented reference system of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals"; expert onto-oriented decision support system of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals", information system with onto-oriented architecture for Modeling and processing of cyclic signals.

Using the Django web framework based on the built-in administrator interface, a prototype of the information-oriented help system of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals" was developed, the functionality of which provides access to articles on mathematical models and methods of processing and computer simulation with the developed taxonomy of classes of cyclic functional relations, which is a component of the computer ontology of the subject area "Modeling and processing of cyclic signals".

The main scientific results of the dissertation are published in 6 works, in particular: 2 article in a foreign scientific periodical journals [1, 6], two articles in professional, scientific journals of Ukraine [2, 3], two publications in international scientific, scientific and technical conferences [4, 5]. One work is

part of the global scientometric database Scopus [4]; 1 - to the international scientometric databases Index Copernicus [2].

Keywords: computer ontology, ontological modeling, formal ontology model, onto-oriented information system, mathematical modeling, signal processing, cyclic signals.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. S. Lupenko, A. Zozulya, Christopher Chizoba, N. Stadnyk, A. Horkunenko. Method of set and taxonomy induction of cyclic functional relations classes within the framework of axiomatic-deductive strategy of organization cyclic functional relations theory. *Scientific Journal Innovative Solutions In Modern Science*, № 4(48), 2021. pp. 92-106. (Індексується в CORE, WORLDCAT, BIELEFELD ACADEMIC SEARCH ENGINE, CITEFACTOR, Google Scholar).
2. Lupenko S.A., Lytvynenko Ya.V., Hotovych V.A., Zozulia A.M., Chizoba Nnamene K., Volyanyk O.V. Concept of design, requirements and generalaized architectures of components of the integrated onto-oriented information environment of simulation and processing of cyclic signals. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*, No 2. –Ternopil 2021. pp. 147-160. (Індексується в Index Copernicus).
3. Lupenko S.A., Lytvynenko Ia.V., Zozulya A.M., Nnamene K. Chizoba, Volyanyk O.V. Models, methods and means of ontology development of cyclic signal processing. *Journal of Hidrocarbon Power Engineering*, Vol. 8, Issue 1 (2021). pp. 8-17. (Індексується в WORLDCAT, CITEFACTOR, Google Scholar).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. Stadnyk N. An approach to constructing a taxonomic tree of models cyclic signals in the tasks of developing an onto-oriented system for decisions supporting of models choice. S. Lupenko, N. Stadnyk, Ch. Nnamene. *9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* June 5-7, 2019 in Ceske Budejovice, Czech Republic. pp. 89–92. (Індексується в Scopus).
5. Стадник Н. Класи еквівалентності циклічних випадкових процесів та співвідношення між ними. Н. Стадник, С. Лупенко, К. Чізова Ннамене. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та

прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. ТНТУ, 2020. с. 179–180. (Google Scholar).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

6. Christopher, N. C., Okemiri, H. A., Rita, A. U., Isaiah, A. I., Christian, O. K., & Chinazo I., C. Patient Data Integration: A Panacea for Effective Healthcare. *Journal of Computer Science*, 16(2) 2020. pp. 235-248.

ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів	22
Вступ	23
РОЗДІЛ 1. Огляд та аналіз відомих моделей, методів та засобів побудови онтологій предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»	
1.1. Сучасний стан математичного моделювання, методів і засобів опрацювання циклічних сигналів	31
1.2. Обґрунтування актуальності розробки комп'ютерної онтології та інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень.....	36
1.3. Огляд та аналіз відомих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем.....	38
1.4. Постановка наукового завдання дисертаційного дослідження.....	44
Висновки до першого розділу	45
РОЗДІЛ 2. Концептуальні, формальні та програмно-технологічні засади розробки комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»	
2.1. Узагальнені вимоги до онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».....	47
2.2. Узагальнена концептуальна модель предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».....	49
2.3. Формальні моделі онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».....	53
2.3.1. Узагальнена формальна модель складових онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».....	53

2.3.2. Формальна модель онтології моделей циклічних сигналів	54
2.4. Обґрунтування вибору мови та програмних засобів розроблення онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».....	56
Висновки до другого розділу	58

РОЗДІЛ 3. Комп'ютерна онтологія математичних моделей сигналів циклічної просторово-часової структури на основі методу індукції множини та таксономії класів циклічних функціональних відношень

3.1. Принцип індукції множини та таксономії класів циклічних функціональних відношень як математичних моделей сигналів із циклічною просторово-часовою структурою.....	60
3.2. Таксономія областей значень циклічних функціональних відношень.....	64
3.3. Таксономія видів атрибутів циклічності циклічних функціональних відношень.....	73
3.4. Таксономія видів областей визначення циклічного функціонального відношення.....	79
3.5. Таксономія видів функцій ритму циклічного функціонального відношення.....	84
3.6. Підхід до кодування вузлів та надання пріоритетів таксономіям.....	89
3.7. Процедура породження глосарію класів циклічних функціональних відношень із базового означення абстрактної циклічної функції та множин $X_{\psi}, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$	90

3.8. Метод формування вектора властивостей класів циклічних функціональних відношень в рамках комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів.....	94
3.9. Метод формування вектора рівнів розробки математичного та програмного забезпечень для опрацювання та імітації циклічних сигналів в рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень.....	102
3.10. Кодування класів циклічних функціональних відношень та їх таксономія.....	105
Висновки до третього розділу	109

РОЗДІЛ 4. Архітектури інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища та прототип інформаційної довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

4.1. Вимоги та узагальнена архітектура інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів.	112
4.2. Вимоги до бази знань інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів.....	115
4.3. Вимоги та узагальнена архітектура інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»	117
4.4. Вимоги та узагальнена архітектура експертної онтоорієнтованої системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»	119
4.5. Вимоги та узагальнена архітектура інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.....	122

4.6. Вибір мови програмування та засобів розробки інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів.....	124
4.7. Розробка прототипу інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».....	124
Висновки до четвертого розділу.....	133
ВИСНОВКИ	135
Список використаних джерел	139
Додатки	161
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертаційної роботи	161
Додаток Б. Таксономія класів циклічних детермінованих функціональних відношень.....	163
Додаток В. Фрагменти програмного коду прототипу інформаційної довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» розробленої засобами Python/Django.....	225
Додаток Г. Акти впровадження	232

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

OWL – Ontology Web Language

ІОІС_МОЦС – інтегроване онтоорієнтоване інформаційне середовище моделювання та опрацювання циклічних сигналів

ІОДС_МОЦС – інформаційна онтоорієнтована довідкова система предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

БЗ_МОЦС – база знань предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

ОПО_МОЦС - онтологія предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

ЕОС_МОЦС – експертна онтоорієнтована система підтримки прийняття рішень в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

ІСОА_МОЦС - інформаційна система із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів

ВСТУП

Актуальність теми. Розробкою математичних моделей, методів комп'ютерного моделювання та опрацювання сигналів циклічної структури, а також створенням на їх основі відповідних інформаційних систем для аналізу, прогнозування, класифікації, кластеризації, регресії, прогнозування, імітації (генерування) циклічних сигналів присвячено багато наукових праць [1-65].

Значного розвитку та систематизації теорія моделювання та опрацювання циклічних сигналів отримала в рамках теорії циклічних функціональних відношень, що суттєво узагальнило відомі математичні моделі сигналів та процесів циклічної структури [66-76]. В рамках цього підходу побудовано нові математичні моделі, методи опрацювання (статистичного оцінювання, спектрального аналізу, дискретизації) та методи комп'ютерної імітації циклічних сигналів біологічного, економічного та технічного походження. Зокрема, у рамках стохастичного підходу активно застосовуються та розвиваються математичні моделі у вигляді циклічних випадкових процесів та векторів, а також, умовні циклічні випадкові процеси, які узагальнюють періодичні (періодично корельовані та періодично розподілені) випадкові процеси та вектори, та мають формальні засоби врахування мінливості ритму досліджуваних циклічних сигналів. На основі цих математичних моделей та методів опрацювання циклічних сигналів створено ряд програмних систем для аналізу та прогнозування циклічних сигналів (процесів) в галузі медичної кардіодіагностики, економетрії та неруйнівної діагностики стану матеріалів [77-114].

Не зважаючи на безсумнівно позитивні науково-методологічний та технологічний ефекти від отриманих результатів у рамках теорії циклічних функціональних відношень, однак велика кількість математичних моделей, методів та програмних засобів опрацювання циклічних сигналів суттєво ускладнює розробнику таких систем вибір математичного забезпечення

(моделей, методів та алгоритмів) та програмного забезпечення, які лежать в основі функціонування такого класу інформаційних систем.

Такий стан справ зумовлює необхідність розробки інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів (явищ, процесів) в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудови комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що буде вагомою підставою для обґрунтованого вибору дослідником (проектувальником) математичних моделей, методів, алгоритмів та програмних засобів, необхідних для вирішення конкретних завдань дослідження циклічних сигналів, а також буде слугувати основою розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогнозування, прийняття рішень) циклічних сигналів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами:

Дисертаційне дослідження пов'язане з виконанням науково-дослідної теми «Забезпечення експлуатаційних властивостей робочих поверхонь відповідальних деталей машин технологічними методами» (№ держреєстрації 0121U112077). Розроблена дисертантом комп'ютерна онтологія предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» застосовувалася у задачах обґрунтованого вибору моделей та методів аналізу циклічних процесів рельєфоутворення на поверхні матеріалів в задачах неруйнівної діагностики стану матеріалів.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розробка концептуальних, формальних та машинно-інтерпретованих моделей подання та організації знань в інтегрованому онтоорієнтованому інформаційному середовищі для моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудова на їх основі прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що є ядром бази знань таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова

система, експертна система підтримки прийняття рішень та система комп'ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Для досягнення сформульованої мети в дисертаційній роботі необхідно розв'язати наступні завдання:

1) провести компаративний аналіз відомих наукових та технологічних досягнень в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, відомих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем для цієї галузі знань, з метою виявлення їх недоліків та задля формулювання наукового завдання дисертаційної роботи;

2) розробити узагальнену концептуальну модель предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», яка б системно відображала структуру семантичного простору цієї предметної області та слугувала б змістовною основою для побудови формальних та машинно-інтерпретованих онтологічних моделей знань в цій предметній області;

3) розробити формалізовані онтологічні моделі та прототип комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що ґрунтуються на розробленій узагальненій концептуальній моделі та лежать в основі функціонування усіх складових інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів;

4) сформулювати вимоги та розробити узагальнені архітектури інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів, а також таких його складових як інформаційна онтоорієнтована довідкова система; експертна онтоорієнтована система підтримки прийняття рішень, інформаційна система із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів;

5) розробити прототип інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що забезпечує ефективний доступ до статей про математичні моделі та методи опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів.

Об'єктом дослідження є процес моделювання та розроблення комп'ютерної онтології та онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Предметом дослідження є моделі, методи та програмні засоби розроблення комп'ютерної онтології та онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої в дисертаційній роботі мети використані наступні методи дослідження: методи системного та порівняльного аналізу для обґрунтування актуальності та постановки наукового завдання дисертаційної роботи; методи дескриптивної логіки для обґрунтування та застосування аксіоматико–дедуктивної стратегії організації знань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів у рамках теорії циклічних функціональних відношень; методи теорії множин, відношень та формальних систем для побудови формальних моделей подання знань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів; методи організації та побудови онтоорієнтованих баз знань для розроблення та імплементації онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»; методи проектування інформаційних систем для розроблення вимог, архітектури та прототипу інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше, розроблено узагальнені концептуальну та формальну моделі предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», які завдяки адекватному врахуванню її змістовних та структуро-логічних аспектів, а також завдяки відображенню відомостей про математичні моделі, типові завдання, методи, засоби (програмні, апаратні та програмно-апаратні) та результати опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, заклало основу для побудови комп'ютерної онтології цієї предметної області.

2. Вперше, розроблено формальну модель онтології математичних моделей циклічних сигналів, яка включає у себе скінченну множину назв класів циклічних функціональних відношень; функцію інтерпретації, що задає означення відповідних класів циклічних функціональних відношень як складових глосарію; відношення родо-видового підпорядкування, яке задає таксономію (ієрархію) між різними класами циклічних функціональних відношень; вектор унарних відношень, які задають властивості (ознаки, атрибути) відповідного класу циклічних функціональних відношень, та восьмикомпонентний вектор, елементи якого характеризують стан (рівень) пропрацьованості (імплементації, розробки) відповідних інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень, що стало теоретичною підставою для побудови прототипу комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів із використанням мови опису онтологій OWL DL в середовищі редактора Protégé.

3. Вперше, як метод формування таких основних складових комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів як множини назв та означень класів циклічних функціональних відношень, а також як метод формування їх таксономії, обґрунтовано та застосовано метод індукції (генерування, породження), який полягає у комбінаторному упорядкованому поєднанні назв видів областей значень, видів атрибутів циклічності, видів областей визначення та видів функцій ритму в означенні абстрактного циклічного функціонального відношення як узагальненої математичної моделі сигналів циклічної просторово-часової структури, що уможливило автоматизоване наповнення розробленого прототипу комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів.

4. Вперше, на основі розроблених концептуальних та формальних моделей подання та організації знань, а також враховуючи структурно-функціональні аспекти побудованого прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» сформульовано вимоги та

розроблено узагальнені архітектури інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів, а також таких його складових як інформаційна онтоорієнтована довідкова система; експертна онтоорієнтована система підтримки прийняття рішень, інформаційна система із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів, засобами розробки яких обґрунтовано web-фреймворк Django та систему управління базами даних MySQL, що заклало вагомі підстави для ефективного системного вирішення цілого спектру важливих методологічних, методичних та технологічних завдань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному. Отримані теоретичні результати дисертаційного дослідження дали змогу розробити прототип комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів в середовищі Protégé, що у компактній та зручній для сприйняття формі містить відомості про визначальні властивості існуючих математичних моделей, рівень розробки методів та засобів їх напрацювання для вирішення типових завдань в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів». Зокрема, розроблена комп'ютерна онтологія уможливіє реалізацію процедури коректного та обґрунтованого вибору дослідником (проектувальником) математичних моделей, методів, алгоритмів та програмних засобів, необхідних для вирішення конкретних завдань дослідження циклічних сигналів, а також стала основою розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогнозування, прийняття рішень) циклічних сигналів в інформаційних системах.

Побудована комп'ютерна онтологія дала змогу розробити узагальнену архітектуру інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів, а також таких його складових як інформаційна онтоорієнтована довідкова система; експертна онтоорієнтована система підтримки прийняття рішень, інформаційна система із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що

уможлиблює ефективне системне вирішення цілого спектру важливих методологічних, методичних та технологічних завдань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, зокрема, суттєво спрощує, інтенсифікує (автоматизує) та підвищує ступінь достовірності процедури розробки математичного та програмного забезпечення інтелектуалізованих систем для потреб медицини, техніки та економіки.

Також практично важливим результатом є розробка із використанням web-фреймворку Django прототипу інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», функціонал якої через програмні засоби адміністрування забезпечує ефективний доступ до статей про математичні моделі та методи опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів, які організовано згідно із назвами та таксономією класів циклічних функціональних відношень, що є складовою комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Результати дисертаційного дослідження впроваджено у процес практичної та дослідницької діяльності ТОВ «Сталий розвиток» (Любляна, Словенія), а також впроваджено в навчальний процес на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя.

Особистий внесок здобувача. Всі наукові результати дисертаційної роботи сформульовані та отримані автором самостійно. У наведених працях (додаток А) здобувачеві належать: в [1] – обґрунтування та застосування методу індукції (генерування, породження) у середовищі Protégé множини назв та таксономії видів областей значень, видів атрибутів циклічності, видів областей визначення та видів функцій ритму абстрактного циклічного функціонального відношення для побудови комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів; в [2] – розроблення узагальнених архітектур складових інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів; в [3] – розроблення концептуальної та формальної онтологічних моделей предметної області «Моделювання та

опрацювання циклічних сигналів»; в [4] – побудова таксономії класів циклічних функціональних відношень як важливої складової комп’ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів; в [5] – обґрунтування підходу до структуризації класу циклічних випадкових процесів; в [6] - розробка архітектури та програмної реалізації інформаційної системи.

З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані результати особистих досліджень здобувача.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати дисертаційного дослідження доповідалися та обговорювалися на міжнародних конференціях, а саме, на: Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя (Тернопіль, 2020 р.); 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) (Ceske Budejovice, Czech Republic, 2019 р.). Також результати дисертаційних досліджень регулярно доповідалися на наукових семінарах кафедри комп’ютерних наук ТНТУ ім. І. Пулюя (2017–2021 рр.).

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано у 6 працях, зокрема: 2 статті у закордонних наукових періодичних виданнях, 2 статті у наукових фахових періодичних виданнях України, 2 публікації у матеріалах міжнародних наукових, науково-технічних конференцій. З них одна робота входить до міжнародної наукометричної бази Scopus, а одна – до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел із 179 найменувань, 4 додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи складає 233 сторінки, з них 160 сторінки основного тексту, де наведено 62 рисунки та 1 таблиця.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ПОБУДОВИ ОНТОЛОГІЙ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ»

Розділ 1 присвячено огляду інформаційних систем та технологій моделювання та опрацювання циклічних сигналів, а також відомих моделей, методів та засобів побудови онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем, зокрема, в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів; аналізу проблем та шляхам їх усунення в задачах розроблення високоефективних інформаційних систем комп'ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів, інформаційних довідкових систем та експертних систем підтримки прийняття модельних рішень; обґрунтуванню необхідності розроблення комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів на базі теорії циклічних функціональних відношень» як ядра бази знань інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища.

Основні результати розділу опубліковано в працях [115 -117].

1.1. Сучасний стан математичного моделювання, методів і засобів опрацювання циклічних сигналів

Циклічні сигнали та процеси є носіями відомостей про функціонування багатьох систем різної природи. До класу сигналів із циклічною просторово-часовою структурою належать кардіосигнали електричної, магнітної та акустичної (механічної) природи, а також багато інших біологічних процесів, що забезпечують гомеостаз організму людини, циклічні економічні процеси, процеси рельєфоутворення на поверхні матеріалів, процеси енергоспоживання (електро-, газо-, нафтоспоживання), а також багато сигналів технічного призначення в радіотехнічних та телекомунікаційних системах.

Автоматизація процесів аналізу, прогнозування та комп'ютерної імітації (генерування) циклічних сигналів потребує розробки їх ефективних математичних моделей, методів комп'ютерного моделювання та опрацювання сигналів, а також створенням інформаційних систем для аналізу, прогнозування, класифікації та кластеризації циклічних сигналів. У процесі розробки інформаційних систем для аналізу та прогнозування циклічних сигналів центральну, визначну роль відіграє побудова чи обґрунтований вибір математичних моделей цих сигналів. Такі моделі повинні адекватно відображати важливі, з точки зору задач дослідження, сторони їх просторово-часової структури. Якість (адекватність, конструктивність) математичних моделей циклічних сигналів суттєво визначає точність та достовірність методів їх опрацювання, імітації в інформаційній системі, зумовлює рівень інформативності та репрезентативності діагностичних (аутентифікаційних, прогностичних) ознак, які є характеристиками (параметрами) математичної моделі, впливає на достовірність прийнятих рішень та, певною мірою, зумовлює структуру програмної та апаратної складових проекрованої інформаційної системи [67, 68].

Розробкою математичних моделей, методів комп'ютерного моделювання та опрацювання сигналів циклічної структури, а також створенням на їх основі відповідних інформаційних систем для аналізу, прогнозування, класифікації, кластеризації, регресії, прогнозування, імітації (генерування) циклічних сигналів присвячено багато наукових праць [1-65]. Відомо багато математичних моделей циклічних сигналів, що розроблені в рамках як детермінованого, так і стохастичного підходів до їх опису. Серед детермінованих моделей, найбільш відомими є гармонічні та квазігармонічні функції, періодичні та майже періодичні полігармонічні функції, які описують часову структуру циклічних сигналів, а також моделі у вигляді ряду лінійних та нелінійних диференціальних (або різницевих) рівнянь, які описують механізми формування (породження) таких сигналів. Серед стохастичних математичних моделей циклічних сигналів

вже класичними стали періодично корельовані та періодично розподілені випадкові процеси, періодичні білі шуми (процеси із незалежними періодичними значеннями), лінійні періодичні випадкові процеси та поля, марковські періодичні випадкові процеси, майже періодичні, зокрема, полі періодичні випадкові процеси.

Значного розвитку теорія моделювання та опрацювання циклічних сигналів отримала в рамках теорії циклічних функціональних відношень, що суттєво узагальнило відомі математичні моделі сигналів та процесів циклічної просторово-часової структури [66-76]. Фундаментальним поняттям теорії циклічних функціональних відношень є поняття абстрактного циклічного функціонального відношення як узагальненої математичної моделі циклічних сигналів, що адекватно і несуперечливо відображає їх циклічну структуру для досить широкого класу таких сигналів. Це поняття стосується власного абстрактного логіко-семантичного ядра теорії циклічних функціональних відношень [118-120]. Зокрема, з метою формалізації та розширення множини можливих властивостей, відносно яких має місце повторюваність у структурі досліджуваного циклічного сигналу, зокрема, для відображення не лише точної чи ймовірнісної повторюваності, введено поняття атрибуту та множини атрибутів. Так, введено відображення $p: \Psi \rightarrow A$ лінійного простору Ψ на деяку множину A , що є множиною можливих значень атрибуту. Елементами множини A можуть бути числа, вектори, функції, а, отже, відображення $p: \Psi \rightarrow A$ може бути числовою функцією, функціоналом, оператором.

Так, згідно роботи [67], дамо означення циклічного за множиною атрибутів функціонального відношення та циклічного за одним атрибутом функціонального відношення.

Означення 1.1. Упорядковане за областю визначення W функціональне відношення $f: W \rightarrow \Psi$ із областю значень Ψ є циклічним за множиною атрибутів $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow A_k, k = \overline{1, K}\}$ функціональним відношенням, якщо для кожного його упорядкованого n_k -кратного декартового степеня f^{n_k} існує найдрібніше

зліченне розбиття $\mathbf{D}_{f^{n_k}}^c = \{f_{c_m}^{n_k} = f_{c_m} \times f^{n_k-1}, m \in \mathbf{Z}\}$ на ізоморфні відносно порядку та атрибуту $p_k : \Psi^{n_k} \rightarrow \mathbf{A}_k$ відношення.

Частинним випадком означення 1.1 є означення циклічного функціонального відношення за одним атрибутом.

Означення 1.2. Упорядковане за областю визначення \mathbf{W} функціональне відношення $f: \mathbf{W} \rightarrow \Psi$ із областю значень Ψ є циклічним за атрибутом $p: \Psi \rightarrow \mathbf{A}$ функціональним відношенням, якщо існує його найдрібніше зліченне розбиття $\mathbf{D}_f^c = \{f_{c_m}, m \in \mathbf{Z}\}$ на ізоморфні відносно порядку та атрибуту $p: \Psi \rightarrow \mathbf{A}$ функціональні відношення.

Означення 1.3. Областю визначення циклічного функціонального відношення є впорядкована дискретна $\mathbf{W} = \mathbf{D} = \{t_{ml} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2\}$ множина або множина $\mathbf{W} = \mathbf{R}$ дійсних чисел. У випадку дискретності області визначення $\mathbf{W} = \mathbf{D}$ для її елементів має місце такий тип лінійного упорядкування: $t_{m_1 l_1} < t_{m_2 l_2}$, якщо $m_2 > m_1$, або якщо $m_2 = m_1$, а $l_2 > l_1$, в інших випадках $t_{m_1 l_1} > t_{m_2 l_2}$ ($m_1, m_2 \in \mathbf{Z}, l_1, l_2 \in \overline{1, L}, 0 < t_{m, l+1} - t_{m, l} < \infty$).

Як видно із означення 1.3, множина \mathbf{W} є лінійно упорядкованою множиною (чи дискретною підмножиною) дійсних чисел. Під дискретною множиною будемо розуміти таку множину, яку утворюють тільки ізольовані точки.

Означення 1.4. Областю значень циклічного функціонального відношення є деякий лінійний простір Ψ над полем дійсних або комплексних чисел, елементами якого можуть бути числа, нечіткі числа, вектори, матриці, тензори, інтервали, функції, оператори, випадкові величини, випадкові вектори, випадкові матриці, випадкові функції та випадкові оператори і т. п.

Функція ритму циклічного функціонального відношення $f: \mathbf{W} \rightarrow \Psi$, має такі властивості:

1.
 - a) $T(t, n) > 0$, якщо $n > 0$ ($T(t, 1) < \infty$);
 - b) $T(t, n) = 0$, якщо $n = 0$;
 - c) $T(t, n) < 0$, якщо $n < 0$, $t \in \mathbf{W}$.

(1.1)

2. Для будь-яких $t_1 \in \mathbf{W}$ та $t_2 \in \mathbf{W}$, для яких $t_1 < t_2$, для функції $T(t, n)$ виконується строга нерівність:

$$T(t_1, n) + t_1 < T(t_2, n) + t_2, \quad \forall n \in \mathbf{Z}. \quad (1.2)$$

Для циклічного за атрибутом $p: \Psi \rightarrow \mathbf{A}$ функціонального відношення має місце рівність:

$$p(f(t)) = p(f(t + T(t, n))) \in \mathbf{A}, \quad t \in \mathbf{W}, \quad n \in \mathbf{Z}. \quad (1.3)$$

Функція $T(t, n)$ є найменшою за модулем ($|T(t, n)| \leq |T_\gamma(t, n)|$) серед усіх таких функцій $\{T_\gamma(t, n), \gamma \in \mathbf{\Gamma}\}$, які задовольняють (1.1) - (1.3).

У роботах [66-76], дано означення деяким важливим для практики моделювання циклічних сигналів класам циклічних функціональних відношень, які є підкласами абстрактного циклічного функціонального відношення. Зокрема, дано означення досліджено властивості таких класів як циклічний випадковий процес, умовний циклічний випадковий процес, вектор циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, циклічна детермінована числова функція, циклічна інтервальна числова функція, циклічна нечітка функція.

В рамках цього підходу побудовано нові математичні моделі, методи опрацювання (статистичного оцінювання, спектрального аналізу, дискретизації) та методи комп'ютерної імітації циклічних сигналів біологічного, економічного та технічного походження. На основі цих математичних моделей та методів опрацювання циклічних сигналів створено ряд програмних систем для аналізу та прогнозування циклічних сигналів (процесів) в галузі медичної кардіодіагностики, біометричної динамічної аутентифікації особи, економетрії та неруйнівної діагностики стану матеріалів [77-114].

1.2. Обґрунтування актуальності розробки комп'ютерної онтології та інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання, та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень

Отримані наукові та прикладні результати в рамках теорії циклічних функціональних відношень далеко не вичерпують усього її потенціалу, зокрема, не вичерпують можливостей породження значної множини підкласів абстрактного циклічного функціонального відношення та розробки детальної таксономії цих нових класів математичних моделей циклічних сигналів. Теорія циклічних функціональних відношень містить всі необхідні передумови для створення єдиної наукової методології розробки нових, обґрунтування, структурної та параметричної ідентифікації математичних та комп'ютерних моделей, методів перетворення, аналізу та прогнозування циклічних сигналів в сучасних інтелектуалізованих інформаційних системах в рамках детермінованого, стохастичного, нечіткого та інтервального підходів.

Однак, таке велике різноманіття математичних моделей, методів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів, які розроблені та будуть розроблені у майбутньому в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також програмних засобів, які автоматизують ці методи, з однієї сторони, надає значні можливості щодо розробки ефективних інформаційних систем для діагностування, прогнозування та оцінювання стану систем за циклічними сигналами, які ними генеруються, а з іншої - суттєво ускладнює розробнику таких систем вибір математичного забезпечення (моделей, методів та алгоритмів) та програмного забезпечення, які лежать в основі функціонування такого класу інформаційних систем. Така ситуація ще більше ускладнюється тим, що часто в колективні розробників немає прямого фахівця в галузі математичного моделювання та опрацювання циклічних сигналів, а також тим, що розробку математичного та програмного забезпечення таких систем часто необхідно робити «з нуля».

Зважаючи на наведене вище, актуальним є розробка інтегрованого інтелектуалізованого інформаційного середовища моделювання (математичного та комп'ютерного) та опрацювання (аналізу, прогнозування, розпізнавання, діагностики, аутентифікації) циклічних сигналів (явищ, процесів) в умовах інтервальної, стохастичної та нечіткої невизначеностей. Таке інтегроване середовище уможливить накопичення, систематизацію (інтеграцію) та автоматизацію знань та технологій у предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», які мають місце зараз та будуть з'являтися у майбутньому в рамках теорії циклічних функціональних відношень.

Оскільки розробка інтегрованого інформаційного середовища зорієнтована на предметну область «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», тобто його функціонал повинен суттєво залежати, визначатися знаннями в цій предметній області, то слушно використовувати напрацювання в галузі інженерії знань для розробки бази знань для цього інтегрованого інформаційного середовища. Серед відомих підходів до моделювання та подання знань в інтелектуалізованих інформаційних системах таких як логічні моделі, продукційні правила, фрейми, семантичні мережі, онтології, найбільші можливості та перспективи застосування мають онтології, оскільки вони у собі поєднують ряд теоретичних та технологічних переваг всіх решта підходів [121-157]. Тому, розробку інтегрованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання слушно здійснювати із дотриманням парадигм онтологічного підходу та онтоорієнтованості як на етапах його архітектурного проектування, так і на етапах його кодування та експлуатації.

Доцільність онтологічного підходу обґрунтовується ще й тим, що онтологія дає змогу специфікувати знання та автоматизувати процедури логічного виведення (доведення), які містяться в теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів, уможливорює подання теорії циклічних функціональних відношень у машинно-інтерпретовній формі як основи розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогноз, прийняття рішень) циклічних сигналів. Крім того,

онтологічний підхід добре узгоджений із аксіоматико-дедуктивною стратегією організації теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів на базі циклічних функціональних відношень, що суттєво підвищує рівень її структурованості, строгості та формалізованості, полегшує виявлення нових напрямів та регіонів розвитку теорії циклічних функціональних відношень.

1.3. Огляд та аналіз відомих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем

Онтології як засіб для подання та збереження знань отримали своє активне застосування в різних предметних областях. Так в галузі медицини відомими комп'ютерними онтологіями є GO (рис. 1.1) [158], систематизований багатомовний тезаурус з властивостями онтології SNOMED CT (рис.1.2) [159], доменна онтологія FMA Ontology (рис.1.3) [160], онтологоподібний еталонний термінологічний словник NCI [161], онтологія Malaria Ontology, яка охоплює всі аспекти малярії та заходи для боротьби з нею; онтологія Hypertension Ontology для представлення клінічних даних про гіпертонічну хворобу; онтологія Antibiotic Resistance Ontology, що описує гени та мутації, стійкі до антибіотиків [162].

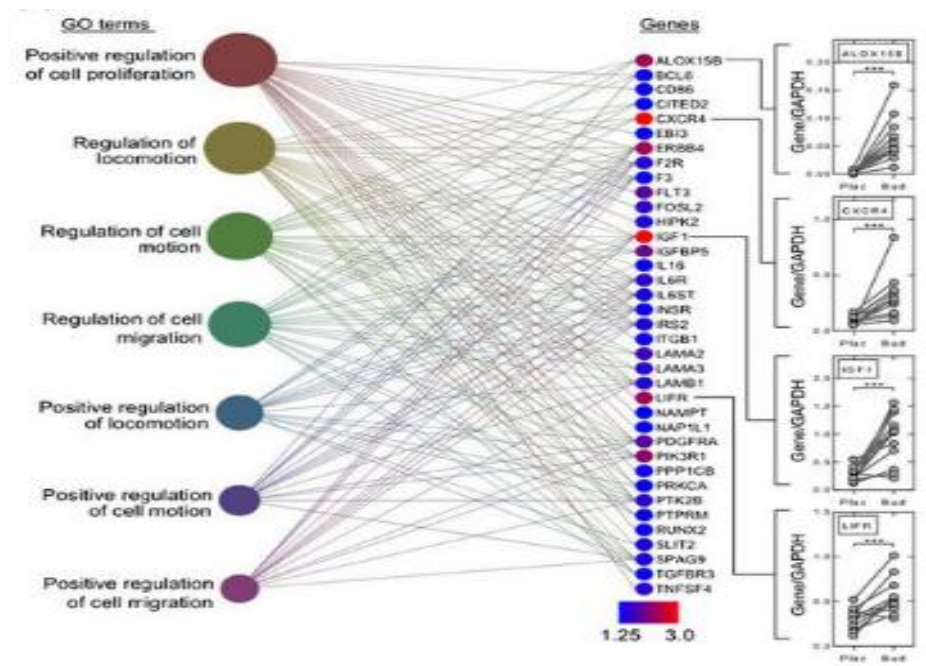


Рис. 1.1. Класифікація кластерів генів в GO

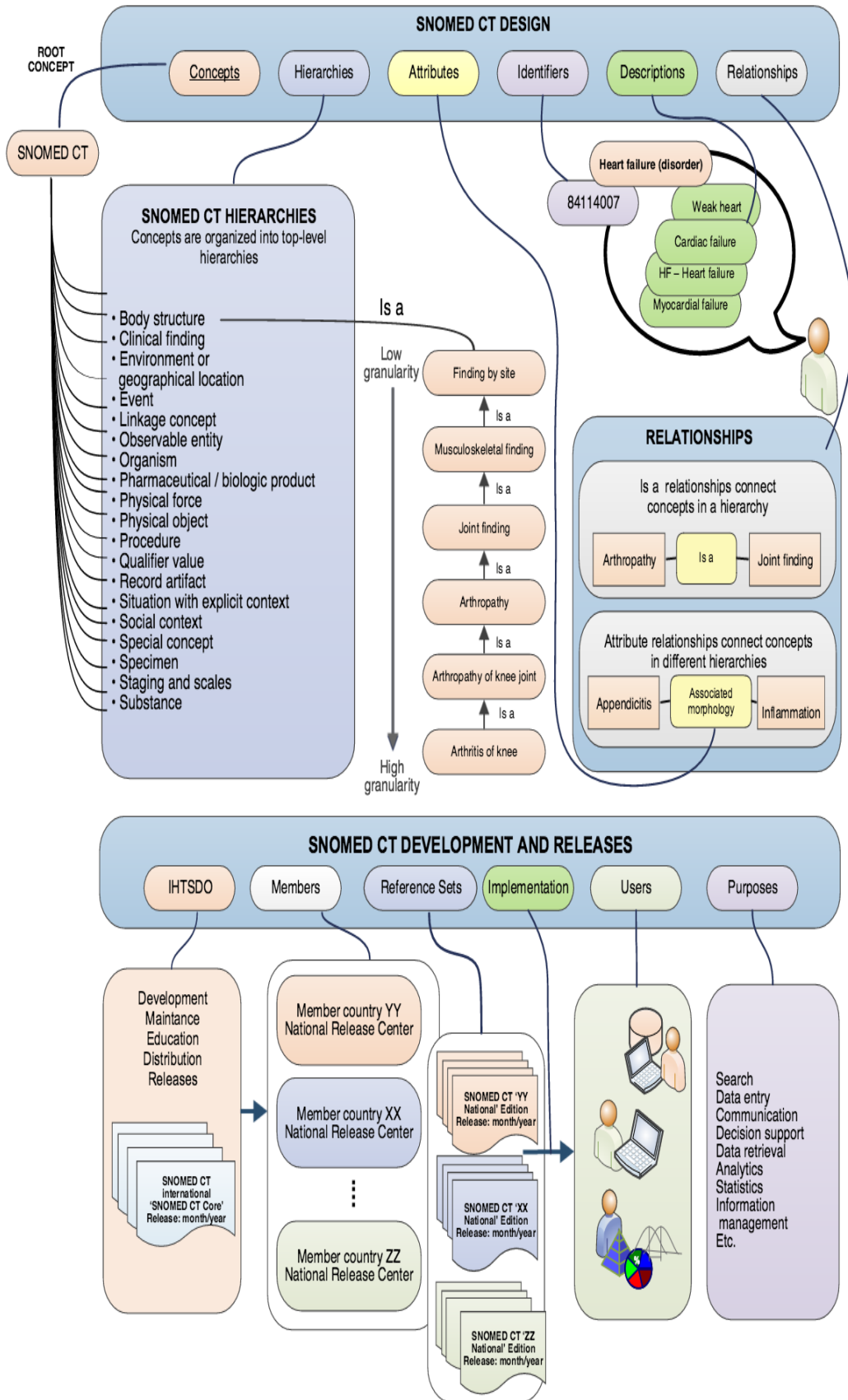


Рис. 1.2. Узагальнена архітектура SNOMED CT

онтологія MDO (Materials Design Ontology) [168], фрагмент якої наведено на рисунку 1.4.

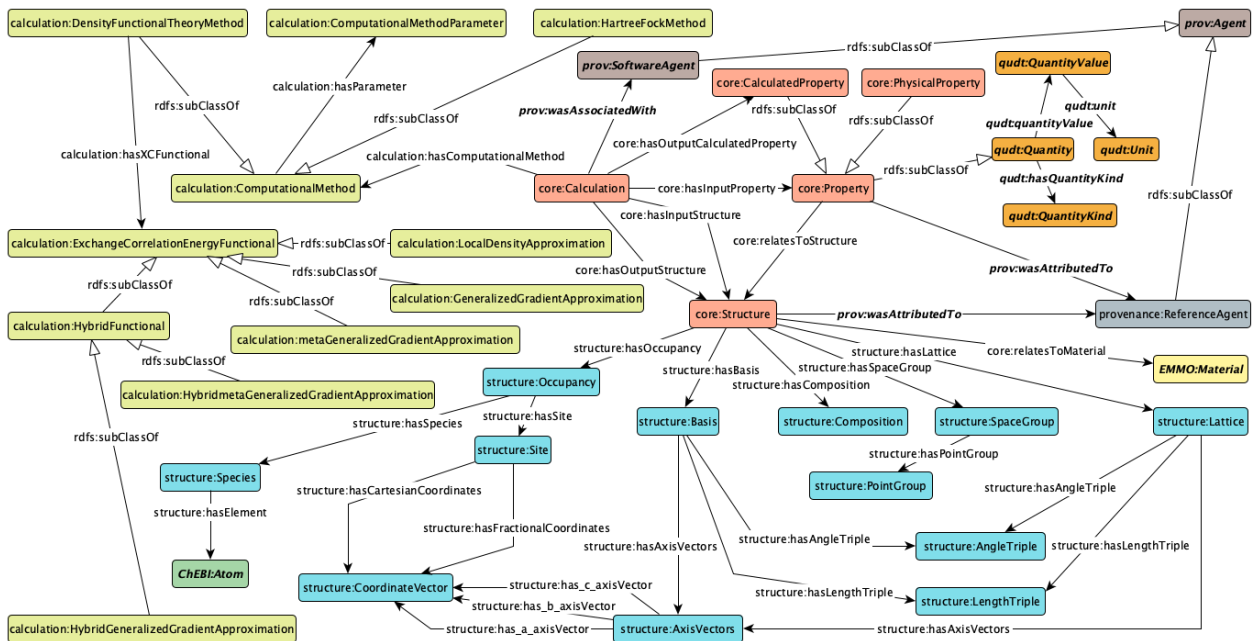


Рис.1.4. Фрагмент онтології Materials Design Ontology

Ця онтологія складається з таких чотирьох модулів:

1. Ядро – цей модуль, складається з концептів вищого рівня та взаємозв'язків онтології проектування матеріалів, які також повторно використовується в інших модулях.
2. Структура - модуль, призначений для представлення структурної інформації матеріалів, яка є основою розрахунків властивостей проєктованих матеріалів.
3. Розрахунок - модуль, призначений для представлення класифікації різних обчислювальних методів, що застосовуються для вирішення задач проектування матеріалів.
4. Походження - модуль, призначений для представлення інформації про походження матеріалу та розрахунків його властивостей.

У сфері економіки, зокрема в сфері текстових даних в економіці, також активно використовуються комп'ютерні онтології. Прикладом такої відомої

онтології є Ontology-based multi-label classification of economic articles, яка призначена для автоматичної класифікація документів в сфері економіки, дозволяючи їх автоматичний опис та пошук [169]. Фрагмент класифікації понять у цій онтології подано на рисунку 1.5.

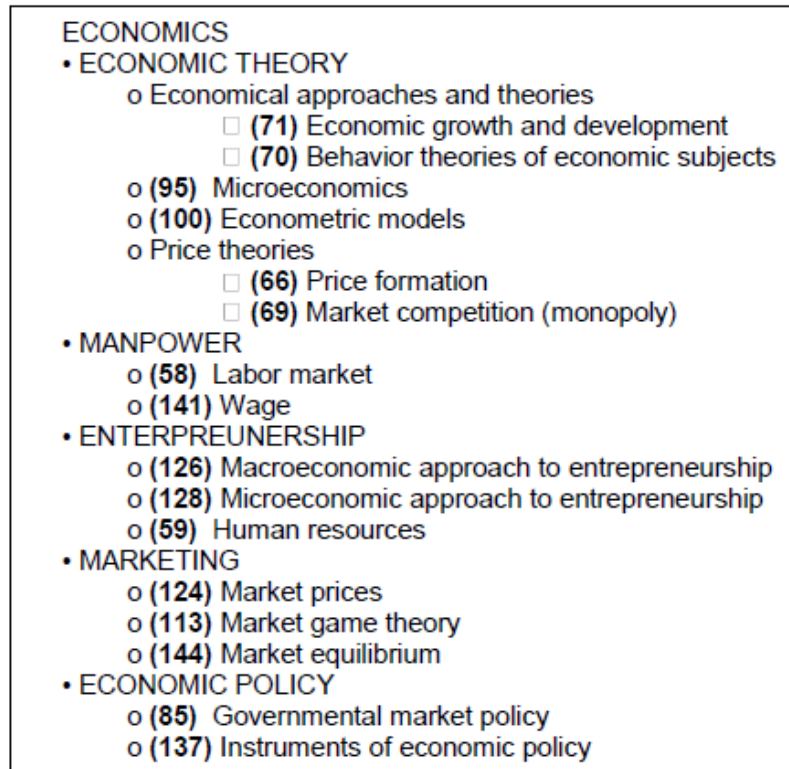


Рис. 1.5. Фрагмент ієрархії понять в онтології для економічної сфери

Для задач у математиці та математичного моделювання плідно застосовується онтологія OntoMath, а у предметній області опрацювання сигналів та зображень – комп’ютерна онтологія ODSPTB (Ontology-Directed Signal Processing Toolbox) [170]. Онтологія ODSPTB це система, що заснована на використанні онтологічних мов для побудови інструментів, призначених допомогти користувачам, які не мають досвіду опрацювання зображень, ефективно виконувати завдання в цій предметній області. Важливою складовою запропонованих рішень у цій системі став онтологічний опису сигналу, що є зрозумілим для користувачів. До складу такого опису входять класи та властивості досліджуваних сигналів, які ідентифікуються згідно певних

автоматичних алгоритмів опрацювання сигналів. Приклад фрагменту структури онтоорієнтованої інформаційної системи, яка ґрунтується на онтології ODSPTB наведено на рисунку 1.6.

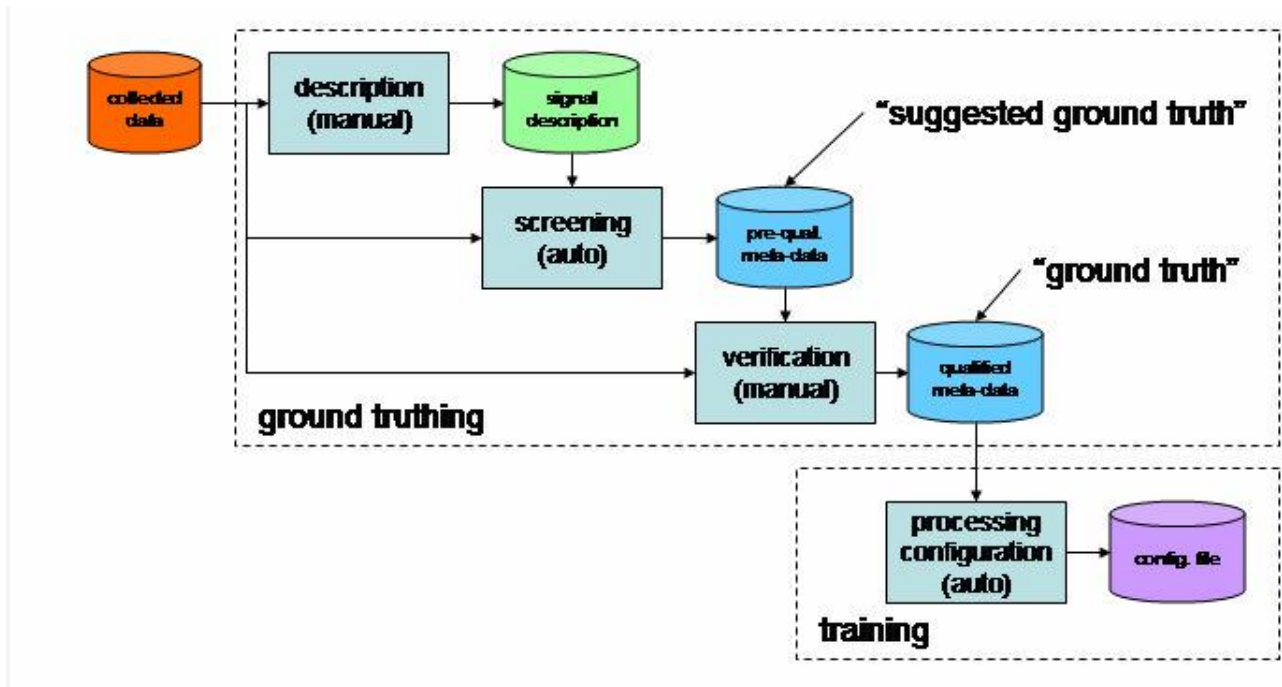


Рис. 1.6. Приклад фрагменту структури онтоорієнтованої інформаційної системи, яка ґрунтується на онтології ODSPTB.

До основних функцій, які виконуються в цій онтоорієнтованій інформаційній системі, належать такі:

1. Опис: користувач описує тип сигналів з точки зору певних класів та властивостей, які містяться в онтології ODSPTB.
2. Скринінг: система здійснює автоматичний пошук в базі даних зареєстрованих сигналів, які відповідають описам, створених користувачем.
3. Перевірка: система надає користувачеві попередньо визначені метадані для кожного сигналу.

4. Опрацювання конфігурації: система використовує метадані для автоматичного налаштування “ланцюжка” методів та засобів опрацювання необхідних сигналів.

1.4. Постановка наукового завдання дисертаційного дослідження

Незважаючи на значну кількість існуючих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем, комп’ютерної онтології, яка б систематично містила машинно-інтерпретовні знання про широкий клас математичних моделей, методів опрацювання та комп’ютерної імітації, а також містила б знання про програмні, програмно-апаратні та апаратні засоби опрацювання та імітації циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, наразі, немає, що суттєво ускладнює розробку інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища для моделювання циклічних сигналів в рамках детермінованого, стохастичного, нечіткого та інтервального модельних підходів (парадигм).

Виходячи із наведеного вище, актуальним науковим завданням даного дисертаційного дослідження є розробка концептуальних, формальних та машинно-інтерпретовних моделей подання та організації знань в інтегрованому онтоорієнтованому інформаційному середовищі для моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудова на їх основі прототипу комп’ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що є ядром бази знань таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова система, експертна система підтримки прийняття рішень та система комп’ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Вирішення цього актуального наукового завдання дисертаційного дослідження дасть змогу упорядкувати (структурувати), інтегрувати знання про відомі моделі, методи та засоби опрацювання (комп’ютерної імітації) циклічних сигналів різної природи та просторово-часової структури із використанням

детермінованого, стохастичного, нечіткого та інтервального підходів до їх математичного моделювання, а також сформує теоретичні та технологічні засади розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогнозування, прийняття рішень) циклічних сигналів.

Висновки до першого розділу

У першому розділі роботи було отримано такі результати.

1. На основі огляду та аналізу сучасних наукових та технологічних досягнень в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, встановлено, що важливою науковою та прикладною проблемою є розробка інтегрованого інтелектуалізованого інформаційного середовища для моделювання та опрацювання циклічних сигналів, яке уможливить інтеграцію (систематизацію та структурування) знань в цій предметній області, автоматизує процес моделювання та опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів, інтенсифікує процеси розробки нових та обґрунтованого вибору відомих математичних моделей і методів опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень.

2. Проведено аналіз відомих моделей та технологій подання знань в інтелектуалізованих інформаційних системах, що дало змогу обґрунтувати слушність застосування онтологічного підходу до подання знань предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», оскільки онтологічний підхід добре узгоджений із аксіоматико-дедуктивною стратегією організації теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що суттєво підвищує рівень її структурованості, строгості та формалізованості, полегшує виявлення нових напрямів та регіонів розвитку теорії циклічних функціональних відношень.

3. Проведено огляд відомих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем, зокрема, для моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що стало підставою для обґрунтування актуальності дисертаційного дослідження та

створення комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» як ядра бази знань інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища для моделювання та опрацювання циклічних сигналів на базі теорії циклічних функціональних відношень.

РОЗДІЛ 2.
**КОНЦЕПТУАЛЬНІ, ФОРМАЛЬНІ ТА ПРОГРАМНО-
ТЕХНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РОЗРОБКИ КОМП'ЮТЕРНОЇ
ОНТОЛОГІЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА
ОПРАЦЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ»**

У розділі 2 розроблено концептуальні, формальні та програмно-технологічні засади розробки онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів». Зокрема, розроблено формальну модель онтології математичних моделей циклічних сигналів. Здійснено обґрунтований вибір мови опису онтологій OWL DL та середовища розробки онтологій Protégé як ефективних, зручних у використанні та безкоштовних засобів розробки комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Основні результати розділу опубліковано в працях [115, 116].

**2.1. Узагальнені вимоги до онтології предметної області
«Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»**

Розробку онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів на базі теорії циклічних функціональних відношень» доцільно починати із формулювання (специфікації) вимог до неї, що дає змогу явно прописати сукупність необхідних її властивостей (характеристик), які визначають якість відповідної онтології, та задати чіткі орієнтири на всіх етапах її створення. Основними вимогами до онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» є наступні вимоги.

1. Структура онтології повинна бути узгодженою із аксіоматико-дедуктивною стратегією організації теорії циклічних функціональних відношень як теорії моделей та методів опрацювання циклічних сигналів.

2. Онтологія повинна слугувати основою для інтегрованого інформаційного онтоорієнтованого середовища для моделювання, опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів. Тобто, структура онтології повинна визначати архітектури кожної інформаційної системи, які входять до складу цього інформаційного середовища, а саме, архітектура інформаційної довідкової системи визначається структурою та змістовними складовими онтології, експертна система підтримки прийняття рішення в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів як ядро своєї бази знань використовує онтологію, також і архітектура інформаційної системи моделювання та опрацювання циклічних сигналів визначається цією онтологією (вона має онтоорієнтовану архітектуру).

3. Онтологія повинна містити такі чотири узагальнені об'єкти: 1) глосарій (моделі, методи, алгоритми, програми та результати застосування в прикладних областях); 2) систему п'яти взаємопов'язаних таксономій (таксономію математичних моделей; таксономії завдань; таксономію методів (таксономія методів комп'ютерної імітації циклічних сигналів, таксономію методів опрацювання циклічних сигналів (аналіз, прогнозування, перетворення, класифікація, кластеризація, регресія, дискретизація та ін.)); таксономію програм та таксономію результатів застосування; 3) таксономію слотів, які містять вектори атрибутів для кожного класу циклічних функціональних відношень (ці атрибути повинні характеризувати відповідний клас циклічних функціональних відношень з точки зору особливостей та можливостей його використання як моделі циклічних сигналів із врахуванням можливостей відповідних методів); 4) множину експертних описів кожного класу циклічних функціональних відношень з точки зору характерних умов застосовності цього класу як моделі циклічних сигналів.

Наявність в онтології множини експертних описів кожного класу циклічних функціональних відношень із точки зору характерних умов застосовності цього класу як моделі циклічних сигналів надасть змогу експертній системі підтримки прийняття рішень окрім рекомендацій певного

класу циклічних функціональних відношень як моделі досліджуваних сигналів, ще й надавати користувачу обґрунтування цієї рекомендації. Такі описи формуються на основі опитування декількох експертів найвищої кваліфікації у галузі математичного моделювання та методів опрацювання циклічних сигналів.

2.2. Узагальнена концептуальна модель предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Семантичний простір \mathcal{S} теорії моделювання, опрацювання та комп'ютерної симуляції циклічних сигналів у рамках теорії циклічних функціональних відношень буде становити собою упорядковану, узгоджену за логіко-семантичною пріоритетністю множину п'яти змістовних підпросторів, а саме: 1) змістовний підпростір \mathcal{S}_1 математичних моделей циклічних сигналів (змістовний простір циклічних функціональних відношень); 2) змістовний підпростір \mathcal{S}_2 типових завдань (задач) опрацювання та комп'ютерного моделювання (генерування, імітації, симуляції) циклічних сигналів; 3) змістовний підпростір \mathcal{S}_3 методів (алгоритмів) опрацювання (перетворення, аналіз (оцінювання атрибутів циклічності та атрибутів ритму), кластеризація, класифікація, прогнозування, регресія) та комп'ютерного моделювання (генерування, імітації, симуляції) циклічних сигналів, які відповідають конкретним класам циклічних функціональних відношень як їх математичних моделей; 4) змістовний підпростір \mathcal{S}_4 (програмних, програмно-апаратних, апаратних) засобів опрацювання та комп'ютерного моделювання (генерування) циклічних сигналів; змістовний підпростір \mathcal{S}_5 результатів застосування відповідного математичного та програмного (програмно-апаратного, апаратного) забезпечення для вирішення конкретних науково-прикладних завдань у галузях медицини, техніки та економіки.

Згідно із аксіоматико-дедуктивною стратегією організації теорії циклічних функціональних відношень [118-120], логіко-семантичне ядро змістовного (семантичного) простору \mathcal{S} цієї теорії повинне містити дві своїх фундаментальних складових - термінологічно-понятійний апарат та систему

тверджень, які у свою чергу розбиваються на дві великі групи: аксіоматична група знань (понять, тверджень) та вивідна група знань (понять, тверджень). Окрім цих складових у залежності від рівня загальності (абстрактності) структурних одиниць (понять та тверджень) змістовного простору теорії у логіко-семантичному ядрі теорії моделювання, опрацювання та комп'ютерної симуляції циклічних сигналів виділяють метадисциплінарне логіко-семантичне ядро, власне абстрактне логіко-семантичне ядро та сукупність часткових логіко-семантичних областей змістовного простору теорії.

Зважаючи на виділення в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» п'яти її підобластей (змістовних підпросторів), слушно розробити п'ять підонтологій цієї предметної області. А саме, онтологія O предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», яка специфікує (подає у машинно-інтерпретовній формі) семантичний простір S цієї предметної області буде містити її п'ять підонтологій, а саме: 1) онтологію O_1 математичних моделей (математичних структур) циклічних сигналів, яка, по суті, є онтологією класів циклічних функціональних відношень; 2) онтологію O_2 (специфікує змістовний підпростір S_2) типових завдань (задач) опрацювання та комп'ютерного моделювання (генерування, імітації, симуляції) циклічних сигналів, які відповідають конкретним класам циклічних функціональних відношень як їх математичних моделей; 3) онтологію O_3 (специфікує змістовний підпростір S_3) методів (алгоритмів) опрацювання (перетворення, аналіз (оцінювання атрибутів циклічності та атрибутів ритму), кластеризація, класифікація, прогнозування, регресія) та комп'ютерного моделювання (генерування, імітації, симуляції) циклічних сигналів, які відповідають конкретним класам циклічних функціональних відношень як їх математичних моделей; 4) онтологію O_4 (специфікує змістовний підпростір S_4) засобів (програмних, програмно-апаратних, апаратних) опрацювання та комп'ютерного моделювання (генерування) циклічних сигналів; 5) онтологію O_5 (специфікує змістовний підпростір S_5) результатів застосування відповідного математичного та програмного (програмно-апаратного, апаратного) забезпечення

для вирішення конкретних науково-прикладних завдань у галузях медицини, техніки та економіки (див. рисунок 2.1).



Рис. 2.1. Умовне зображення структурних складових онтології **O** предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Онтологія математичних моделей циклічних сигналів повинна мати найвищий пріоритет (пріоритет 1); онтологія типових завдань опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати другий за значенням пріоритет (пріоритет 2); онтологія методів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати третій за значенням пріоритет (пріоритет 3); онтологія засобів (програмних, програмно-апаратних, апаратних) опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати четвертий за значенням пріоритет (пріоритет 4); онтологія результатів застосування моделей, методів та засобів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати п'ятий за значенням пріоритет (пріоритет 5). Урахування пріоритетності складових онтології дає змогу структурувати моделі, типові завдання, методи та засоби, а також результати їх застосування на практиці. Тип упорядкування онтологій визначається типом упорядкування індексів символів,

які їх позначають. Тобто, найвищий (перший) пріоритет має онтологія моделей O_1 , а найнижчий (п'ятий) пріоритет – має онтологія O_5 результатів застосування.

Має місце тісний логіко-семантичний взаємозв'язок між онтологією моделей O_1 , онтологією завдань O_2 , онтологією методів O_3 , онтологією засобів O_4 та онтологією O_5 результатів застосування, що графічно відображено на рисунку 2.2. А саме, на формальному рівні такий взаємозв'язок задається відношеннями між концептами із різних онтологій O_1 , O_2 , O_3 , O_4 та O_5 , а також упорядкованістю онтологій за пріоритетом.

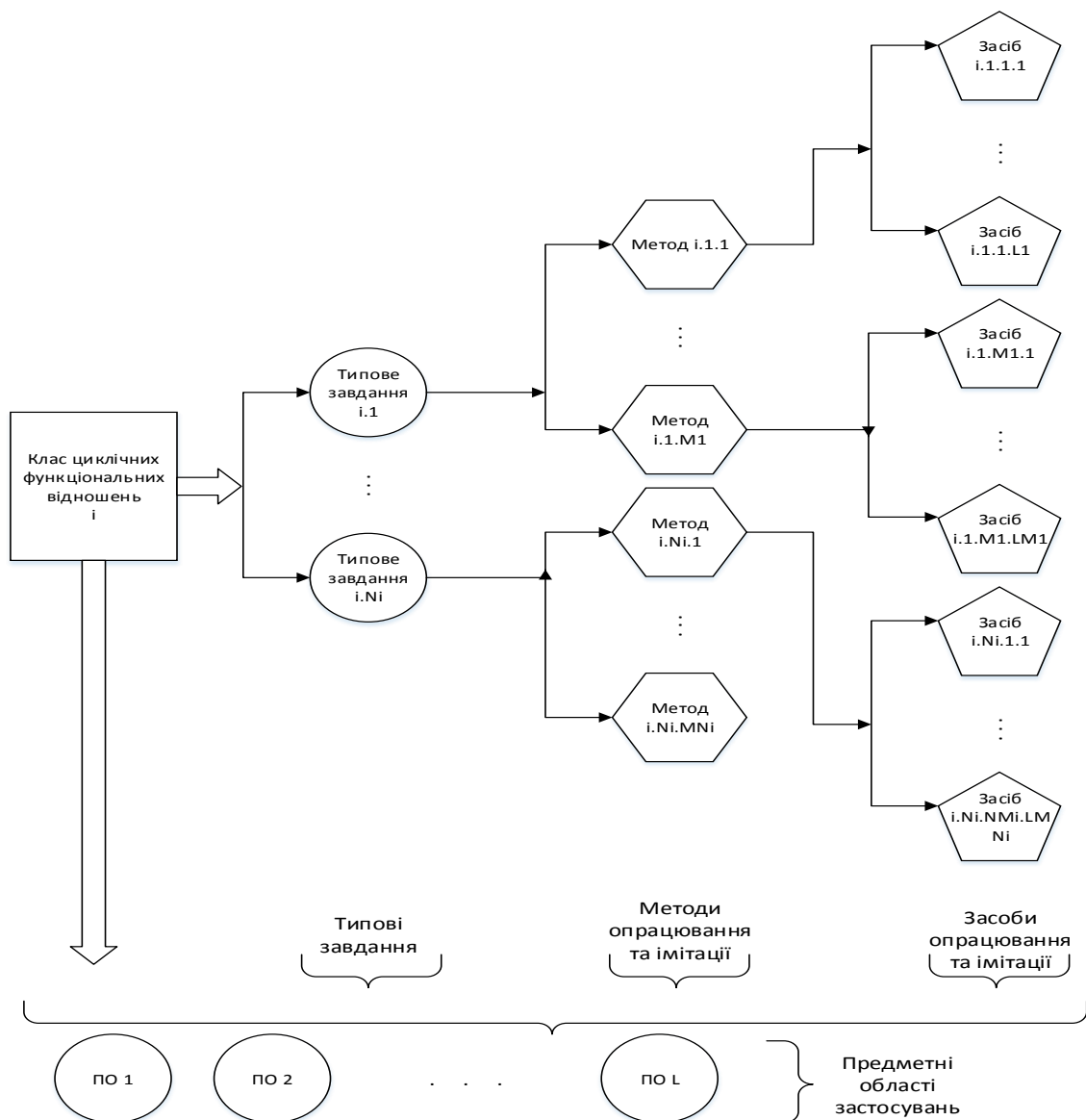


Рис. 2.2. Схема взаємопов'язаності моделей, методів (алгоритмів), програмних (програмно-апаратних) засобів та результатів їх застосування для вирішення

завдань моделювання, опрацювання та імітації в конкретних предметних областях із галузей медицини, техніки та економіки

2.3. Формальні моделі онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

2.3.1. Узагальнена формальна модель складових онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Кожну з цих п'яти взаємопов'язаних онтологій на формальному рівні можна подати як такі трійки:

$$O_i = \{A_i, R_i, F_i\}, \quad i = \overline{1,5}, \quad (2.1)$$

де: A_i – скінченна множина концептів (понять, термінів), які задають лексичний запас онтології O_i ;

R_i – скінченна множина відношень між концептами, які відображають взаємозв'язки між концептами та властивості концептів (атрибути та обмеження на них) в рамках онтології O_i ;

F_i – скінченна множина функцій інтерпретації, заданих на концептах і/або відношеннях онтології O_i .

У кожному множині R_i обов'язково повинно входити відношення родового підпорядкування (позначають аббревіатурою **АКО** – «A Kind Of» або терміном «SubsetOf»), яке пов'язує між собою множину (клас) та підмножину (підклас), задаючи таксономію між цими класами (концептами), тобто, дає змогу організувати ієрархічну структуру понять онтології O_i у вигляді дерева (ієрархію понять).

Окрім таксономічного відношення, в онтологіях O_i використовується також відношення належності (позначають аббревіатурою **IS-A** або термінами

«MemberOf», «InstanceOf»), що ставить у відповідність елемент відповідної множини самій цій множині (концепту).

Кожна множина F_i є одноелементною множиною, єдиним елементом якої є функція інтерпретації $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ з областю визначення A_{1i} ($x_1, x_2, \dots, x_n \in A_{1i}$) та областю значень A_{2i} ($y_1, y_2, \dots, y_n \in A_{2i}$), тобто: $F_i = \{f_i(\cdot)\}$

Для онтології O_i має місце таке твердження:

$$\forall x_i \in A_{1i}, \exists (y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ni} \in A_{2i}), \text{ що } x_i = f_i(y_{1i}, y_{2i}, \dots, y_{ni}). \quad (2.2)$$

Тобто, множина концептів A_i предметної області є розбитою на дві підмножини A_{1i} (множина термінів, які інтерпретуються тлумачаться, означаються) та A_{2i} (множина інтерпретаційних термінів): ($A_i = A_{1i} \cup A_{2i}$, $A_{1i} \cap A_{2i} = \emptyset$). Зазначимо, що відсутність спільних елементів у множин A_{1i} та A_{2i} , що подано виразом $A_{1i} \cap A_{2i} = \emptyset$, виключає циклічні інтерпретації термінів.

Взаємопов'язані концепти із множин A_{1i} та A_{2i} через функцію інтерпретації $f_i(x_1, x_2, \dots, x_n)$ формалізують запис в глосарії, яка є дефініцією (означенням) відповідного терміну (концепту).

2.3.2. Формальна модель онтології моделей циклічних сигналів

У даній дисертаційній роботі детально зупинимося лише на побудові комп'ютерної онтології математичних моделей сигналів циклічної просторово-часової структури, а саме, онтології O_1 , адже, ця онтологія є найважливішою, найбільшою за обсягом та є основою для побудови решти комп'ютерних онтологій предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Перша онтологія O_1 - онтологія моделей циклічних сигналів (онтологія циклічних функціональних відношень) на формальному рівні задається такою реляційною системою:

$$O_1 = \left\{ \mathbf{A}_1 = \mathbf{B}_1 \cup \mathbf{C}_1, \mathbf{R}_1 = \{ \text{AKO, IS} - \mathbf{A}, \bar{\mathbf{P}} = (p_1, p_2, \dots, p_n), \overline{\mathbf{L}_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8) \}, \mathbf{F}_1 = \{ f_1(\cdot) \} \right\}, \quad (2.3)$$

де: \mathbf{A}_1 – скінченна множина термінів (понять), яка задає лексичний запас онтології O_1 .

\mathbf{B}_1 – скінченна множина (назв) класів циклічних функціональних відношень.

\mathbf{C}_1 – скінченна множина 4-елементних векторів, кожен елемент яких є терміном, які набирають своїх значень із відповідних множин $\mathbf{X}_\Psi, \mathbf{X}_A, \mathbf{X}_{T(t,n)}, \mathbf{X}_W$ та є областю визначення предикату $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$. Множина \mathbf{X}_Ψ є множиною наперед визначених класів (типів) лінійних просторів Ψ у яких набирають своїх значень відповідні циклічні функціональні відношення; множина \mathbf{X}_A є множиною наперед визначених класів (типів) можливих атрибутів $p: \Psi \rightarrow A$ чи множин атрибутів $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow A_k, k = \overline{1, K}\}$, в яких постулюється (відображається) циклічна структура функціонального відношення; множина $\mathbf{X}_{T(t,n)}$ є множиною наперед визначених класів (типів) функцій ритму $T(t, n)$ циклічних функціональних відношень, та множина \mathbf{X}_W є множиною наперед визначених типів областей визначення W циклічного функціонального відношення. Тотожно істинний 4-місний предикат $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$ є функцією-висловлювання, яку задано на множинах $\mathbf{X}_\Psi, \mathbf{X}_A, \mathbf{X}_{T(t,n)}, \mathbf{X}_W$ ($x_1 \in \mathbf{X}_\Psi, x_2 \in \mathbf{X}_A, x_3 \in \mathbf{X}_{T(t,n)}, x_4 \in \mathbf{X}_W$), і яка набирає своїх значень із множини Def_{cf} всіх можливих означень конкретних підкласів циклічних функціональних відношень.

\mathbf{F}_1 – одноелементна множина, яка містить функцію інтерпретації $f_1(x_1, x_2, x_3, x_4)$, областю визначення якої є множина \mathbf{C}_1 , а областю значень є множина \mathbf{B}_1 . Функція інтерпретації $f_1(x_1, x_2, x_3, x_4)$ тотожна 4-місному предикату $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$ і, фактично, для конкретних наборів $x_1 \in \mathbf{X}_\Psi, x_2 \in \mathbf{X}_A, x_3 \in \mathbf{X}_{T(t,n)}, x_4 \in \mathbf{X}_W$ задає означення відповідних класів циклічних

функціональних відношень із B_1 , формуючи глосарій онтології O_1 - множину всіх означень циклічних функціональних відношень.

R_1 – скінченна множина відношень $\{AKO, IS - A, \bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n), \overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)\}$, а саме:

1) відношення родо-видового підпорядкування **AKO**, яке пов'язує між собою множину (клас) та підмножину (підклас) циклічних функціональних відношень, задаючи таксономію (ієрархію) **Tax_of_Cf** між цими класами у вигляді таксономічного дерева.

2) відношення належності **IS-A**, що ставить у відповідність конкретне циклічне функціональне відношення (конкретну модель циклічних сигналів) відповідному їх класу (класу математичних моделей циклічних сигналів).

3) \bar{P} – вектор $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ унарних відношень (p_1, p_2, \dots, p_n) , які задають властивості (ознаки, атрибути) відповідного класу циклічних функціональних відношень. Областю визначення унарного відношення p_i є множина моделей A_1 , а областю значень є множина P_i значень відповідної властивості.

4) $\overline{L_{imp}}$ - вектор $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$, компоненти, якого характеризують стан (рівень) пропрацьованості (імплементациї, розробки) відповідних інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках цієї математичної їх моделі.

2.4. Обґрунтування вибору мови та програмних засобів розроблення онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Розроблені вище концептуальна модель та формальні моделі предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» потребують обґрунтованого вибору машинно-реалізованих мов та середовищ розроблення для їх подання в сучасних онтоорієнтованих інформаційних системах. В даний час існує багато таких інструментів для управління онтологією, як, наприклад

Protégé, OntoEdit, середовище розробки онтології Ontolingua, Chimaera та OntoGen. Враховуючи результати компаративного аналізу засобів розроблення онтологій [171-176] слушно використати мову опису онтологій OWL та середовище Protégé.

Мова OWL (Web Ontology Language) є стандартом в організації World Wide Web Consortium і на даний час є найпоширенішою у світі мовою опису онтологій. Існує три різновиди мови OWL. Найбільш прийнятним для вирішення завдань розробки онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» є мова OWL DL, яка дає змогу, з однієї сторони, досягаючи максимальної виразності дескриптивної логіки, що лежить в її основі, а з іншої – забезпечувати вирішувальність системи логічних виведень з її використанням.

Мова OWL DL забезпечена стандартизованими мовними конструкціями для адекватного вираження термінів-понять теорії циклічних функціональних відношень, їх таксономій та інших відношень, логічних операцій над класами моделей, методів та засобів моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Зважаючи на незручний для сприйняття людиною синтаксис мови OWL при розробці онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» необхідно скористатися графічними засобами спеціалізованих програмних систем розробки онтологій. Ці програмні засоби до свого складу включають графічний редактор та машину логічного виведення (англ. – reasoner), що уможлиблює як автоматизацію логічного виведення на основі знань в онтології, так і автоматичну перевірку коректності розробленої онтології. Як найбільш популярний редактор онтологій, який підтримує мову OWL DL варто використати редактор Protégé. Цей графічний редактор є вільно поширюваною Java-програмою, яка містить велику кількість плагінів. Загалом, редактор Protégé дає змогу конструювати, переглядати, редагувати, інтегрувати, поповнювати та адаптувати онтології під різні формати даних (текстовий, XML, Rdf(s), OWL і ін.).

Висновки до другого розділу

У другому розділі дисертаційного дослідження отримано такі результати.

1. Сформульовано загальні вимоги до розроблюваної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що дало змогу явно задати сукупність необхідних її властивостей та задати чіткі дослідницькі та проектні орієнтири на всіх етапах її створення.

2. Розроблено узагальнену концептуальну модель предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», яка на вербально-графічному рівні відображає семантичний простір цієї предметної області та виділяє п'ять її змістовних підпросторів, а саме: 1) змістовний простір математичних моделей циклічних сигналів; 2) змістовний простір типових завдань опрацювання та комп'ютерного моделювання циклічних сигналів; 3) змістовний простір методів опрацювання та комп'ютерного моделювання циклічних сигналів; 4) змістовний простір засобів опрацювання та комп'ютерного моделювання циклічних сигналів; 5) змістовний простір результатів застосування відповідного математичного та програмного забезпечення для вирішення конкретних науково-прикладних завдань у галузях медицини, техніки та економіки. Встановлено тісний логіко-семантичний взаємозв'язок між цими змістовними просторами та онтологіями, які їх специфікують в машинно-інтерпретовній формі.

3. Розроблено узагальнені формальні моделі складових онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» у вигляді певних реляційних систем. Зокрема, більш детально розроблено формальну модель онтології математичних моделей циклічних сигналів, яка включає у себе скінченну множину назв класів циклічних функціональних відношень; функцію інтерпретації, що задає означення відповідних класів циклічних функціональних відношень як складових глосарію; відношення родовидового підпорядкування, яке задає таксономію (ієрархію) між різними класами циклічних функціональних відношень; вектор унарних відношень, які задають

властивості (ознаки, атрибути) відповідного класу циклічних функціональних відношень, та восьмикомпонентний вектор, елементи якого характеризують стан (рівень) пропрацьованості (імплементатії, розробки) відповідних інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень.

4. Здійснено обґрунтований вибір мови опису онтологій OWL DL та середовища розробки онтологій Protégé як ефективних, зручних у використанні та безкоштовних засобів розробки комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що суттєво інтенсифікує процес розробки відповідної онтології.

РОЗДІЛ 3.

КОМП'ЮТЕРНА ОНТОЛОГІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СИГНАЛІВ ЦИКЛІЧНОЇ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОЇ СТРУКТУРИ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ІНДУКЦІЇ МНОЖИНИ ТА ТАКСОНОМІЇ КЛАСІВ ЦИКЛІЧНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВІДНОШЕНЬ

Розділ 3 присвячено розробці на основі методу індукції прототипу комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів в середовищі Protégé, яка до свого складу включає глосарій (множину назв та множину означень) та таксономію класів циклічних функціональних відношень, кожен із яких охарактеризовано вектором властивостей та вектором рівнів імплементації відповідних методів та програмних систем. У розділі у середовищі Protégé, шляхом упорядкованого багатократного застосування логічної операції поділу родових понять на видові поняття, побудовано множини назв та таксономії видів областей значень, видів атрибутів циклічності, видів областей визначення та видів функцій ритму абстрактного циклічного функціонального відношення, що уможливило застосування методу індукції (генерування, породження) для побудови комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів як основної структурної складової онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Основні результати розділу опубліковано в працях [115 -117, 177, 178].

3.1.Принцип індукції множини та таксономії класів циклічних функціональних відношень як математичних моделей сигналів із циклічною просторово-часовою структурою

У третьому розділі дисертаційної роботи детально зупинимося лише на побудові комп'ютерної онтології математичних моделей сигналів циклічної

просторово-часової структури, а саме, онтології O_1 , формальна математична модель якої задається формулою (2.3).

Для здійснення такої побудови комп'ютерної онтології O_1 , необхідно побудувати всі її складові, а саме:

1) побудувати скінченну множину B_1 (назв) класів циклічних функціональних відношень;

2) побудувати функцію інтерпретації $f_1(x_1, x_2, x_3, x_4)$, яка тотожна 4-місному предикату $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$ і, яка для конкретних наборів $x_1 \in X_\Psi, x_2 \in X_A, x_3 \in X_{T(t,n)}, x_4 \in X_W$ задає означення відповідних класів циклічних функціональних відношень із B_1 , формуючи глосарій онтології O_1 ;

3) побудувати таксономію ***Tax_of_Cf*** класів циклічних функціональних відношень із множини B_1 ;

4) побудувати вектори $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ унарних відношень (p_1, p_2, \dots, p_n) , які задають властивості (ознаки, атрибути) відповідних класів циклічних функціональних відношень;

5) побудувати вектори $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$, компоненти, яких характеризують рівень імплементації інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках відповідних їх математичних моделей.

Процес побудови усіх цих складових онтології моделей циклічних сигналів ґрунтується на методі індукції класів циклічних функціональних відношень та їх таксономії, який розроблено в роботах [117, 177]. Даний метод дає змогу:

1. Суттєво розширити та деталізувати систему означень та існуючу класифікацію циклічних функціональних відношень, ґрунтуючись на уніфікованому та компактному принципі індукції класів циклічних функціональних відношень та їх таксономії.

2. В автоматизований спосіб генерувати означення та вивідні знання (теореми, властивості) із означення та доведених теорем, встановлених властивостей класу абстрактних циклічних функціональних відношень, що суттєво прискорить генерування контенту електронних підручників та довідкових систем в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів на базі теорії циклічних функціональних відношень.

3. Застосовувати автоматизовані технології генерування онтологій в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що суттєво прискорить розробку онтоорієнтованих баз знань та експертних систем підтримки прийняття рішень в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах.

4. Розробити дерева прийняття рішень як ієрархічно упорядковану систему продукційних правил, яка ґрунтується на онтології циклічних функціональних відношень в онтоорієнтованих експертних системах підтримки прийняття рішень в галузі моделювання та опрацювання сигналів циклічної структури.

Коротко розглянемо основні ідеї та результати застосування методу індукції. Як було зазначено вище, лише чотири математичні об'єкти, а саме, область визначення \mathbf{W} , область значень Ψ , атрибут $p: \Psi \rightarrow \mathbf{A}$ чи множина атрибутів $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow \mathbf{A}_k, k = \overline{1, K}\}$ (якщо розглядається багатовимірна циклічна структура) та функція ритму $T(t, n)$, лежать в основі класифікації широкого класу математичних моделей циклічних сигналів, що вказує на достатню повноту, системність та компактність розробленого підходу до побудови теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах.

Введемо до подальшого розгляду множину \mathbf{X}_Ψ , яка є множиною наперед визначених класів (типів) лінійних просторів Ψ в яких набирають своїх значень відповідні циклічні функціональні відношення; множину $\mathbf{X}_\mathbf{A}$, яка є множиною наперед визначених класів (типів) можливих атрибутів $p: \Psi \rightarrow \mathbf{A}$ чи множин

атрибутів $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow A_k, k = \overline{1, K}\}$, в яких постулюється (відображається) циклічна структура функціонального відношення; множину $X_{T(t,n)}$, яка є множиною наперед визначених класів (типів) функцій ритму $T(t, n)$ циклічних функціональних відношень, та множина X_W , яка є множиною наперед визначених типів областей визначення W циклічного функціонального відношення.

Відзначимо, що із множинами $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$ можна пов'язати відповідні їм таксономії $T_\Psi, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$, які є реляційними системами (множини із частковим порядком), носіями яких є відповідні множини $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$, а саме, ці таксономії задаються як такі пари об'єктів:

$$T_\Psi = \{X_\Psi, \subset\}, T_A = \{X_A, \subset\}, T_{T(t,n)} = \{X_{T(t,n)}, \subset\}, T_W = \{X_W, \subset\},$$

де відношення “ \subset ” є відношенням строгого включення.

Шляхом використання методу індукції класів та таксономій класів циклічних функціональних відношень із відповідних множин $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$ та відповідних таксономій $T_\Psi, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$ сформуємо множину B_1 класів циклічних функціональних відношень, таксономію *Tax_of_Cf* між цими класами, множину дефініцій кожного класу, шляхом задання функції інтерпретації $f_1(x_1, x_2, x_3, x_4)$, а також сформуємо вектори $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ та $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$.

Згідно із роботами [117, 177], метод генерування вузлів та дуг таксономічного класифікаційного дерева моделей циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень полягає в реалізації таких базових кроків.

1. Формування області визначення предиката $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$, а саме задання (формування) множин $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$, а також задання назв елементів цих множин.

2. Формування таксономій $T_{\Psi}, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$ у вигляді кодованих таксономічних дерев, вузли яких набирають своїх значень у відповідних множинах $X_{\Psi}, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$.

3. Формування глосарію та таксономії класів циклічних функціональних відношень із базового означення абстрактної циклічної функції та таксономій $T_{\Psi}, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$.

3.2. Таксономія областей значень циклічних функціональних відношень

Першим етапом реалізації процедури параметричного генерування вузлів та дуг таксономічного класифікаційного дерева моделей циклічних сигналів є формування множин $X_{\Psi}, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$, на яких задано предикат $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$, та назв їх елементів. Здійснимо побудову цих множин.

Зазначимо, що принцип генерування елементів цих множин полягає у багатократному застосуванні логічної операції поділу родових понять на видові поняття. Причому такого роду поділ може бути здійснений за різними змістовними ознаками. Кількість та порядок таких поділів задає упорядкування в таксономічному дереві.

Елементами множини X_{Ψ} є можливі (допустимі) області значень Ψ абстрактної циклічної функції, які загалом є деякими лінійними просторами $\langle \Psi, \mathbf{R}, +, * \rangle$ над полем дійсних або комплексних чисел $\langle \Psi, \mathbf{C}, +, * \rangle$. Тобто, для формування множини X_{Ψ} необхідно взяти родове (найабстрактніше) поняття лінійного простору Ψ , а всі інші видові поняття породити із родового, шляхом застосування до нього та його видових понять логічної операції поділу. Власне це родові поняття та сукупність породжених видових понять і будуть формувати множину X_{Ψ} , а порядок застосування операції логічного поділу буде індукувати порядок у організацію таксономії T_{Ψ} областей значень циклічних функціональних відношень. Слід відзначити, що на різних послідовних етапах

(кроках) поділу поняття «Лінійний простір» можна застосовувати різні основи поділу – ті змістовні ознаки, за якими буде поділятися родове поняття на видові.

Першою основою поділу може бути вид невизначеності в значеннях циклічного сигналу. У залежності від підходу (детермінованого, стохастичного, нечіткого, інтервального) до врахування невизначеності структури циклічних сигналів, множину X_{Ψ} можна розбити на чотири підмножини X_{Ψ_d} , X_{Ψ_s} , X_{Ψ_f} , X_{Ψ_i} ($X_{\Psi} = X_{\Psi_d} \cup X_{\Psi_s} \cup X_{\Psi_f} \cup X_{\Psi_i}$).

Множина X_{Ψ_d} - множина наперед заданих лінійних просторів Ψ_d , які використовуються як області значень циклічних функцій при детермінованому підході до моделювання сигналів. Клас циклічних функцій із такими областями значень будемо називати циклічними детермінованими функціями. Множина X_{Ψ_s} - множина можливих лінійних просторів Ψ_s , які використовуються як області значень циклічних функцій при стохастичному (ймовірнісному, випадковому) підході до моделювання сигналів. Клас циклічних функцій із такими областями значень будемо називати циклічними випадковими функціями. Множина X_{Ψ_f} є множиною можливих лінійних просторів Ψ_f , які використовуються як області значень циклічних функцій при нечіткому підході до моделювання сигналів. Клас циклічних функцій із такими областями значень будемо називати циклічними нечіткими функціями. Множина X_{Ψ_i} - множина можливих лінійних просторів Ψ_i , які використовуються як області значень циклічних функцій при інтервальному підході до моделювання сигналів. Клас циклічних функцій із такими областями значень будемо називати циклічними інтервальними функціями. Тобто, область значень (лінійний простір) Ψ циклічного функціонального відношення при застосуванні логічної операції поділу за ознакою тип невизначеності в значеннях циклічного сигналу поділяється на чотири види і, які задають чотири найбільші класи областей значень циклічних функціональних відношень. Фрагмент таксономії видів областей значень циклічного функціонального відношення відображено на рисунку 3.1.

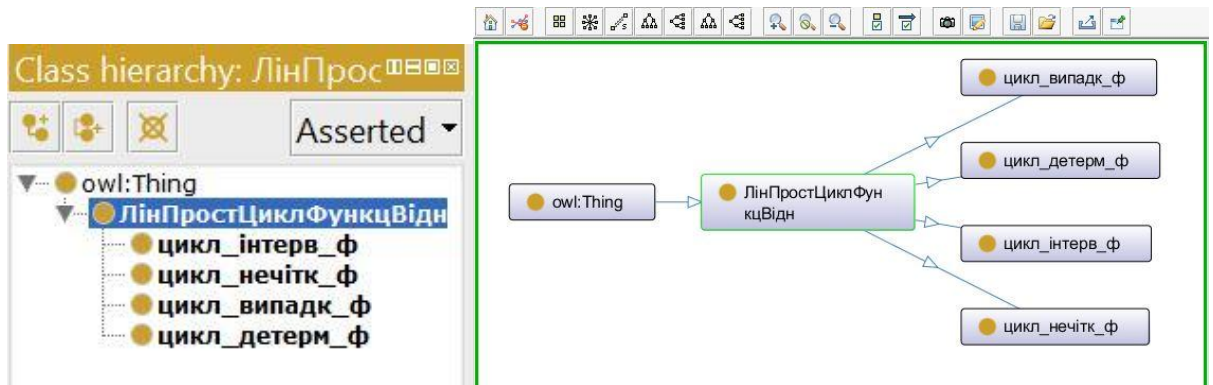


Рис. 3.1. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей значень (лінійних просторів) Ψ циклічного функціонального відношення при застосуванні логічної операції поділу за ознакою тип невизначеності в значеннях циклічного сигналу

У свою чергу, застосовуючи логічні операції поділу за відповідними, загалом різними, ознаками поділу кожного із класів Ψ_d , Ψ_s , Ψ_f , Ψ_i можна утворити більш дрібні класи областей значень циклічних функціональних відношень. Розглянемо це питання більш детально.

Якщо застосувати логічну операцію поділу до класу Ψ_d за ознакою «вид області значень за детермінованого підходу до моделювання циклічних сигналів», то можна утворити такі підкласи класу Ψ_d :

- лінійний простір дійсних чисел над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \mathbf{R}, \mathbf{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір комплексних чисел над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \mathbf{C}, \mathbf{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір комплексних чисел над полем комплексних чисел ($\langle \Psi = \mathbf{C}, \mathbf{C}, +, * \rangle$);
- лінійний простір векторів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \mathbf{R}^n, \mathbf{R}, +, * \rangle$);

- лінійний простір комплекснозначних векторів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \mathbb{C}^n, \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір векторів на полем комплексних чисел ($\langle \Psi = \mathbb{C}^n, \mathbb{C}, +, * \rangle$);
- матричний лінійний простір над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = M_{nm}(\mathbb{R}), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- матричний лінійний простір над полем комплексних чисел ($\langle \Psi = M_{nm}(\mathbb{C}), \mathbb{C}, +, * \rangle$);
- тензорний лінійний простір над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = T_{nm}(\mathbb{R}), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір послідовностей (гільбертів);
- функційний лінійний простір (гільбертів);
- операторний лінійний простір.

У такому разі, множину X_{Ψ_d} усіх вище заданих класів лінійних просторів, які використовуються як області значень циклічних функцій при детермінованому підході до моделювання сигналів можна подати так:

$$X_{\Psi_d} = \{ \Psi_d, \mathbb{R}, \mathbb{C}, \mathbb{R}^n, \mathbb{C}^n, M_{nm}(\mathbb{R}), M_{nm}(\mathbb{C}), T_{nm}(\mathbb{R}) \} \quad (3.1)$$

Між елементами X_{Ψ_d} має місце відношення часткового порядку за відношенням строгого включення “ \subset ”, що дає змогу побудувати таксономію класів областей значень циклічних функціональних відношень у вигляді реляційної системи $T_{\Psi_d} = \{ X_{\Psi_d}, \subset \}$. Таксономія графічно може бути подана як упорядковане кореневе дерево, вузлами якого є класи-поняття із глосарія, а ребра відображатимуть відношення включення. Таксономічне дерево, що ілюструє упорядкування елементів із X_{Ψ_d} графічно подано на рисунку 3.2.

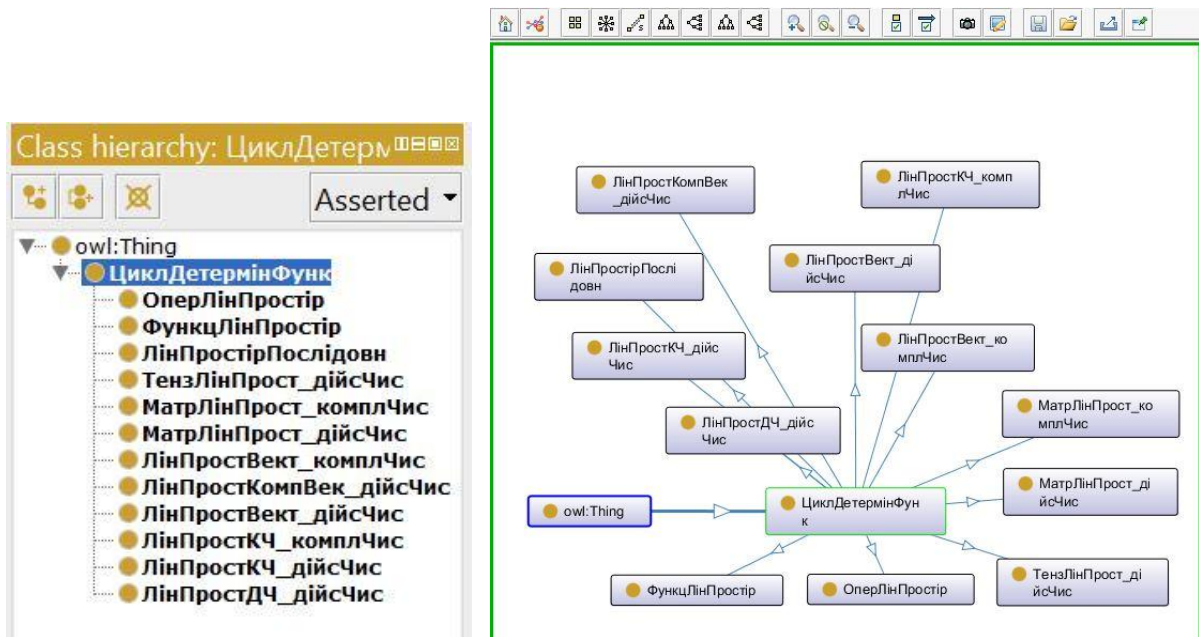


Рис. 3.2. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії T_{Ψ_d} областей значень (лінійних просторів) Ψ_d циклічного детермінованого функціонального відношення в середовищі при застосуванні логічної операції поділу «вид області значень за детермінованого підходу до моделювання циклічних сигналів»

Якщо застосувати логічну операцію поділу до класу Ψ_s за ознакою «вид області значень за стохастичного підходу до моделювання циклічних сигналів», то можна утворити такі підкласи класу Ψ_s :

- лінійний простір дійснозначних випадкових величин, заданих на одному і тому ж ймовірнісному просторі над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = L_2(\Omega, \text{Prob}), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір комплекснозначних випадкових величин, заданих на одному і тому ж ймовірнісному просторі ($\langle \Psi = L_2(\Omega, \text{Prob}), \mathbb{C}, +, * \rangle$);
- лінійний простір випадкових дійснозначних векторів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = L_n(\Omega, \text{P}), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір випадкових комплекснозначних векторів над полем комплексних чисел ($\langle \Psi = L_n(\Omega, \text{P}), \mathbb{C}, +, * \rangle$);

- лінійний простір випадкових матриць над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \text{Mnm}(L_2(\Omega, \text{Prob})), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір випадкових матриць над полем комплексних чисел ($\langle \Psi = \text{Mnm}(L_2(\Omega, \text{Prob})), \mathbb{C}, +, * \rangle$);
- лінійний простір випадкових тензорів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \text{Tnm}(L_2(\Omega, \text{Prob})), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір випадкових послідовностей;
- лінійний простір випадкових функцій;
- лінійний простір випадкових операторів.

У такому разі, множину \mathbf{X}_{Ψ_s} усіх вище заданих класів лінійних просторів, які використовуються як області значень циклічних функцій при стохастичному підході до моделювання сигналів можна подати так:

$$\mathbf{X}_{\Psi_s} = \{ \Psi_s, L_2(\Omega, \text{Prob}), (L_2(\Omega, \text{Prob}))^n, M_{nm}(L_2(\Omega, \text{Prob})), T_{nm}(L_2(\Omega, \text{Prob})), \dots \} \quad (3.2)$$

Між елементами \mathbf{X}_{Ψ_s} має місце відношення часткового порядку за відношенням строгого включення “ \subset ”, що дає змогу побудувати таксономію класів областей значень циклічних функціональних відношень у вигляді реляційної системи $\mathbf{T}_{\Psi_s} = \{ \mathbf{X}_{\Psi_s}, \subset \}$. Таксономічне дерево, що ілюструє упорядкування елементів із \mathbf{X}_{Ψ_s} графічно подано на рисунку 3.3.

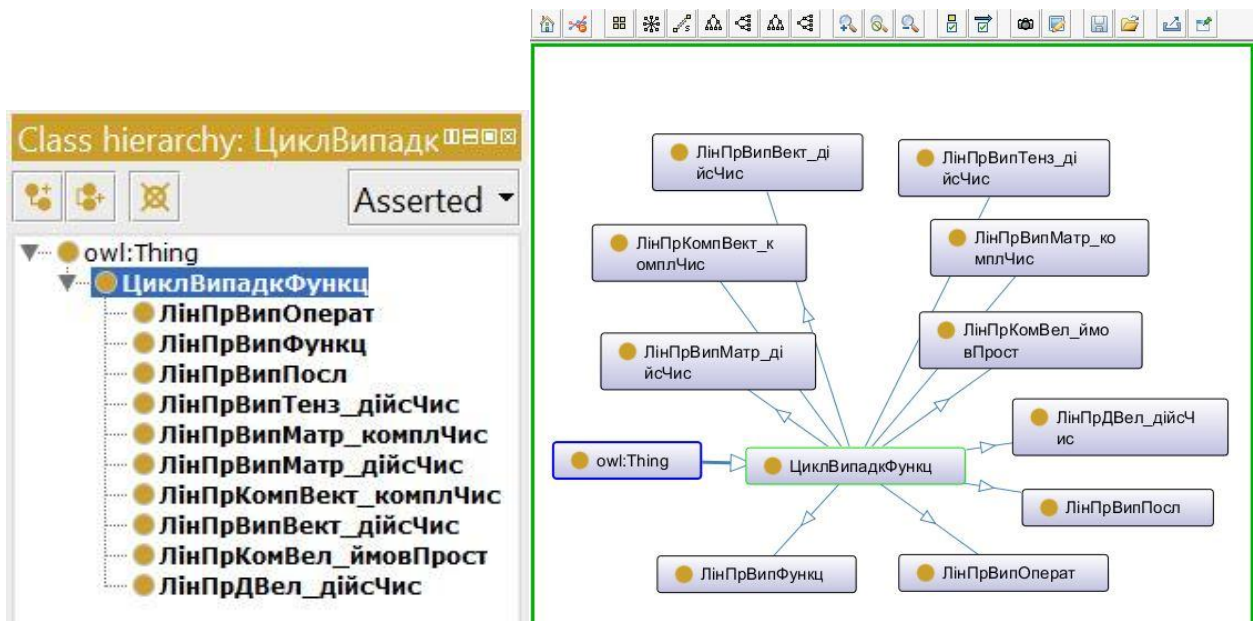


Рис. 3.3. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії T_{Ψ_s} областей значень (лінійних просторів) Ψ_s циклічного випадкового функціонального відношення при застосуванні логічної операції поділу «вид області значень за стохастичного підходу до моделювання циклічних сигналів»

Якщо застосувати логічну операцію поділу до класу Ψ_f за ознакою «вид області значень за нечіткого підходу до моделювання циклічних сигналів», то можна утворити такі підкласи класу Ψ_f :

- лінійний простір дійснозначних нечітких чисел ($\langle \Psi = R_f, R, +, * \rangle$);
- лінійний простір комплекснозначних нечітких чисел ($\langle \Psi = C_f, C, +, * \rangle$);
- лінійний простір нечітких дійснозначних векторів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = (R_f)_n, R, +, * \rangle$);
- лінійний простір нечітких комплекснозначних векторів над полем комплексних чисел ($\langle \Psi = (C_f)_n, C, +, * \rangle$);
- лінійний простір матриць нечітких дійсних чисел над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = M_{nm}(R_f), R, +, * \rangle$);
- лінійний простір матриць нечітких комплексних чисел над полем комплексних чисел ($\langle \Psi = M_{nm}(C_f), C, +, * \rangle$);

- лінійний простір нечітких тензорів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = T_{nm}(\mathbb{R}_f), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір нечітких послідовностей;
- лінійний простір нечітких функцій;
- лінійний простір нечітких операторів.

У такому разі, множину \mathbf{X}_{Ψ_f} усіх вище заданих класів лінійних просторів, які використовуються як області значень циклічних функцій при нечіткому підході до моделювання сигналів можна подати так:

$$\mathbf{X}_{\Psi_f} = \{ \Psi_f, \mathbf{R}_f, \mathbf{C}_f, (\mathbf{R}_f)^n, (\mathbf{C}_f)^n, \mathbf{M}_{nm}(\mathbf{R}_f), \mathbf{M}_{nm}(\mathbf{C}_f), \mathbf{T}_{nm}(\mathbf{R}_f), \dots \}. \quad (3.3)$$

Між елементами \mathbf{X}_{Ψ_f} має місце відношення часткового порядку за відношенням строгого включення “ \subset ”, що дає змогу побудувати таксономію класів областей значень циклічних функціональних відношень у вигляді реляційної системи $\mathbf{T}_{\Psi_f} = \{ \mathbf{X}_{\Psi_f}, \subset \}$. Таксономічне дерево, що ілюструє упорядкування елементів із \mathbf{X}_{Ψ_f} графічно подано на рисунку 3.4.

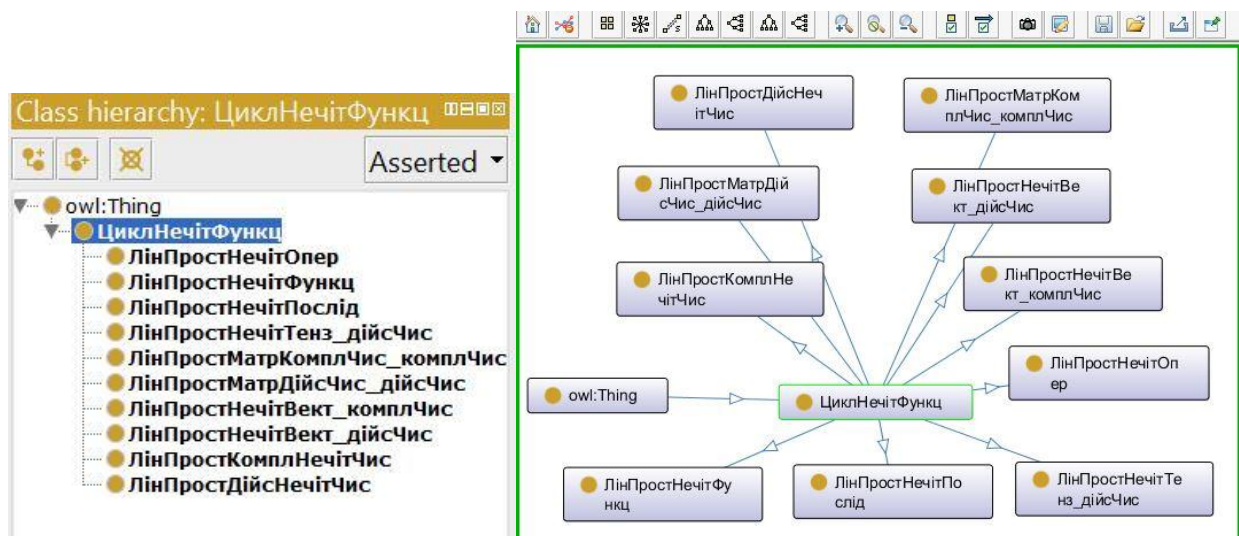


Рис. 3.4. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії \mathbf{T}_{Ψ_f} областей значень (лінійних просторів) Ψ_f циклічного нечіткого функціонального відношення при застосуванні логічної операції поділу «вид області значень за нечіткого підходу до моделювання циклічних сигналів»

Якщо застосувати логічну операцію поділу до класу Ψ_i за ознакою «вид області значень за інтервального підходу до моделювання циклічних сигналів», то можна утворити такі підкласи класу Ψ_i :

- лінійний простір числових інтервалів ($\langle \Psi = \mathbb{R}_i, \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір векторів числових інтервалів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = (\mathbb{R}_i)_n, \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір матриць числових інтервалів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = M_{nm}(\mathbb{R}_i), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір тензорів числових інтервалів над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = T_{nm}(\mathbb{R}_i), \mathbb{R}, +, * \rangle$);
- лінійний простір інтервальних послідовностей;
- лінійний простір інтервальних функцій;
- лінійний простір інтервальних операторів.

У такому разі, множину X_{Ψ_i} усіх вище заданих класів лінійних просторів, які використовуються як області значень циклічних функцій при інтервальному підході до моделювання сигналів можна подати так:

$$X_{\Psi_i} = \{ \Psi_i, \mathbb{R}_i, (\mathbb{R}_i)^n, M_{nm}(\mathbb{R}_i), T_{nm}(\mathbb{R}_i), \dots \}. \quad (3.4)$$

Між елементами X_{Ψ_i} має місце відношення часткового порядку за відношенням строгого включення “ \subset ”, що дає змогу побудувати таксономію класів областей значень циклічних функціональних відношень у вигляді реляційної системи $T_{\Psi_i} = \{ X_{\Psi_i}, \subset \}$. Таксономічне дерево, що ілюструє упорядкування елементів із X_{Ψ_i} графічно подано на рисунку 3.5.

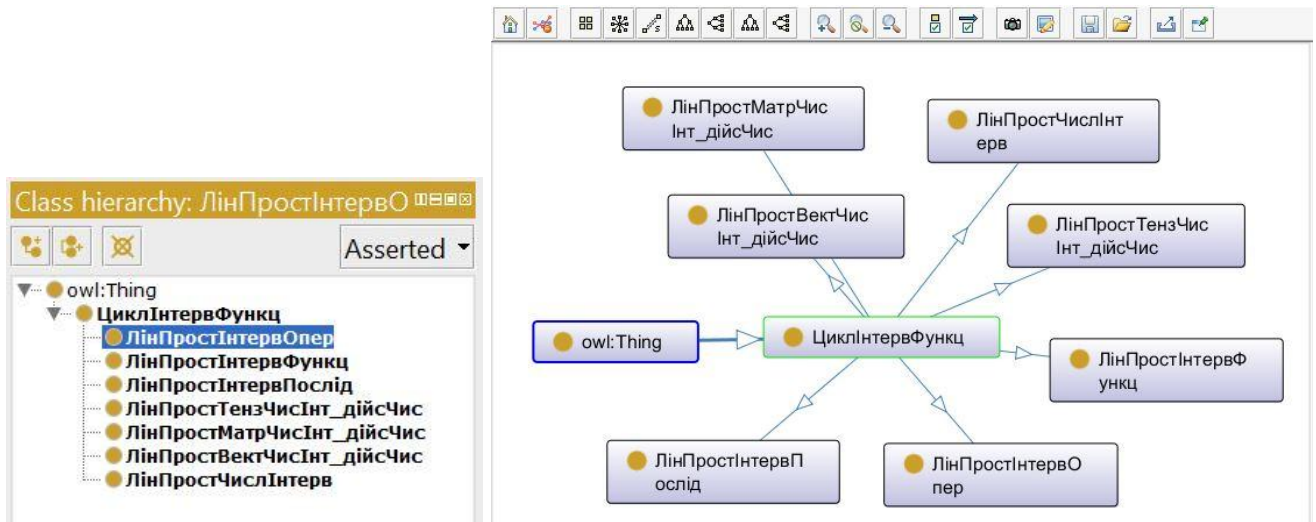


Рис. 3.5. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії T_{Ψ_i} областей значень (лінійних просторів) Ψ_i циклічного нечіткого функціонального відношення при застосуванні логічної операції поділу «вид області значень за нечіткого підходу до моделювання циклічних сигналів»

3.3. Таксономія видів атрибутів циклічності циклічних функціональних відношень

Сформуємо множину видів атрибутів циклічності циклічних функціональних відношень. Атрибути циклічності формалізують ті властивості циклічних сигналів, у яких постулюється (проглядається, гіпотетично передбачається) циклічна (повторювальна) структура. З формальної точки зору, якщо розглядається одновимірна циклічна структура сигналу, то властивості (атрибути) сигналу, що мають циклічну структуру є відображеннями (функціональними відношеннями) $p: \Psi \rightarrow A$ лінійного простору Ψ у певну множину A можливих значень атрибуту, яка є множиною-носієм певного лінійного простору. Якщо ж розглядається багатовимірна циклічна структура, то властивості (атрибути) сигналу, що мають циклічну структуру, є відображеннями (функціональними відношеннями) $p: \Psi^n \rightarrow A$ певного декартового степеня Ψ^n області значень циклічного функціонального відношення у певну множину A можливих значень атрибутів циклічності.

Таким чином, за вимірністю атрибуту циклічності функціонального відношення циклічні функціональні відношення можна поділити на циклічні функціональні відношення із одновимірною циклічною структурою (циклічні за одновимірним атрибутом), коли атрибут має вигляд $p: \Psi \rightarrow A$ та циклічні функціональні відношення із багатовимірною циклічною структурою (циклічні за багатовимірним атрибутом), коли атрибут має вигляд $p: \Psi^n \rightarrow A$. Також, враховуючи те, що атрибутів циклічності може бути декілька, в загальному множина $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow A_k, k = \overline{1, K}\}$ (циклічні за множиною атрибутів функціональні відношення), то в класі циклічних функціональних відношень можна виділити множину циклічних функціональних відношень із одним атрибутом циклічності (одновимірним чи багатовимірним) та множину циклічних функціональних відношень за множиною атрибутів (одновимірними і/або багатовимірними). Ознаки поділу за атрибутами циклічності: за розмірністю, за кількістю та за типом атрибуту.

Найпростішою ситуацією є випадок, коли атрибут циклічності – це значення самого циклічного сигналу, а саме, $p(f(t)) = f(t)$, тобто циклічна структура у сигналі присутня у самих його значеннях. Тому, у такому випадку, множина A можливих значень атрибутів циклічності співпадає із областю значень Ψ ($\Psi = A$) циклічного функціонального відношення, а відображення $p: \Psi \rightarrow \Psi$ є відображенням тотожності. Такий клас циклічних функціональних відношень будемо називати «Циклічні за значеннями функціональними відношеннями». Якщо ж циклічна структура сигналу безпосередньо відсутня (не проглядається) у його значеннях, тобто відображення $p: \Psi \rightarrow A$ не є тотожним відображенням, а саме, $p(f(t)) \neq f(t)$, однак вона має місце лише у певних властивостях (атрибутах) сигналу, то такий клас циклічних функціональних відношень будемо називати «Циклічні за атрибутом (атрибутами) функціональними відношеннями».

Тобто, елементами X_A можуть бути як тотожні відображення $p(f(t)) = f(t)$, так і нетотожні, для яких має місце нерівність $p(f(t)) \neq f(t)$. У свою чергу

нетотожні атрибути варто поділяти на одновимірні $p: \Psi \rightarrow A$ та багатовимірні атрибути $p: \Psi^n \rightarrow A$. Крім того, конкретний сигнал (функція), загалом, може бути циклічним не за одним, а за певною множиною із K атрибутів $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow A_k, k = \overline{1, K}\}$. Враховуючи подане вище, можна запропонувати узагальнену таксономію видів атрибутів циклічності функціональних відношень, графічне представлення зображено на рисунку 3.6.

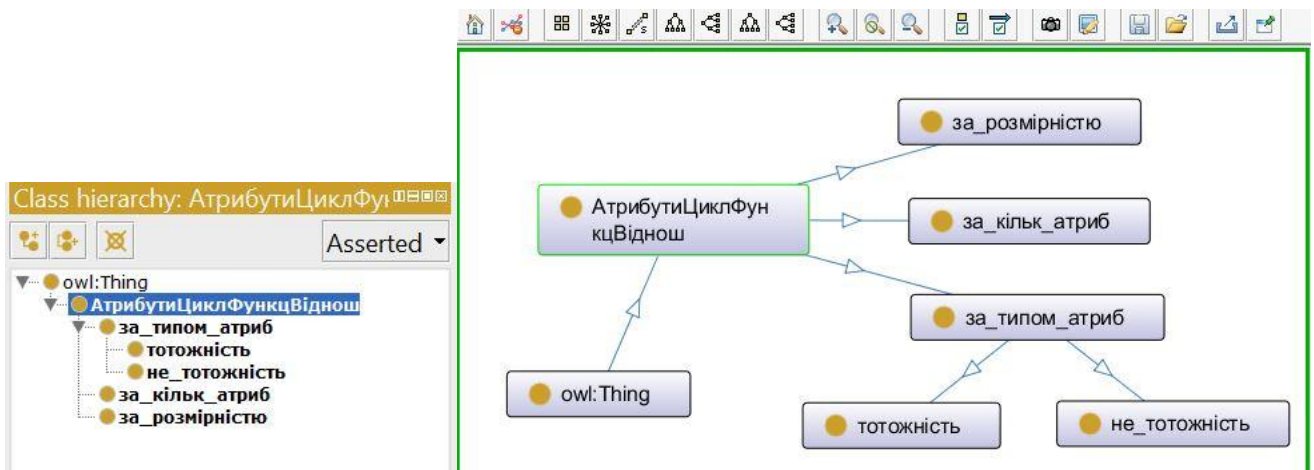


Рис. 3.6. Графічне подання в середовищі Protégé узагальненої таксономії видів атрибутів циклічності функціональних відношень

При формуванні множини видів атрибутів X_A необхідно враховувати логічну та змістовну залежність між елементами множини X_A та елементами множини X_Ψ , оскільки для різних областей значень циклічних функціональних відношень можуть бути різні їх атрибути циклічності. Загалом атрибути циклічності вибираються із практичних міркувань стосовно вирішення конкретних задач моделювання та опрацювання сигналів. Покажемо більш детально процедуру породження множини X_A видів атрибутів циклічності.

Для циклічних детермінованих дійснозначних функцій $f(t)$, тобто циклічних функцій, областю значень яких є лінійний простір дійсних чисел над полем дійсних чисел ($\langle \Psi = \mathbf{R}, \mathbf{R}, +, * \rangle$) такими атрибутами можуть бути:

- значення циклічної детермінованої функції ($p(f(t)) = f(t)$);
- модуль значення циклічної детермінованої функції ($p(f(t)) = |f(t)|$);
- квадрат значення циклічної детермінованої функції ($p(f(t)) = (f(t))^2$);
- k -й степінь значення циклічної детермінованої функції ($p(f(t)) = (f(t))^k$).

Графічне представлення таксономії видів атрибутів для циклічних функцій, областю значень яких є лінійний простір дійсних чисел над полем дійсних чисел зображено на рисунку 3.7.

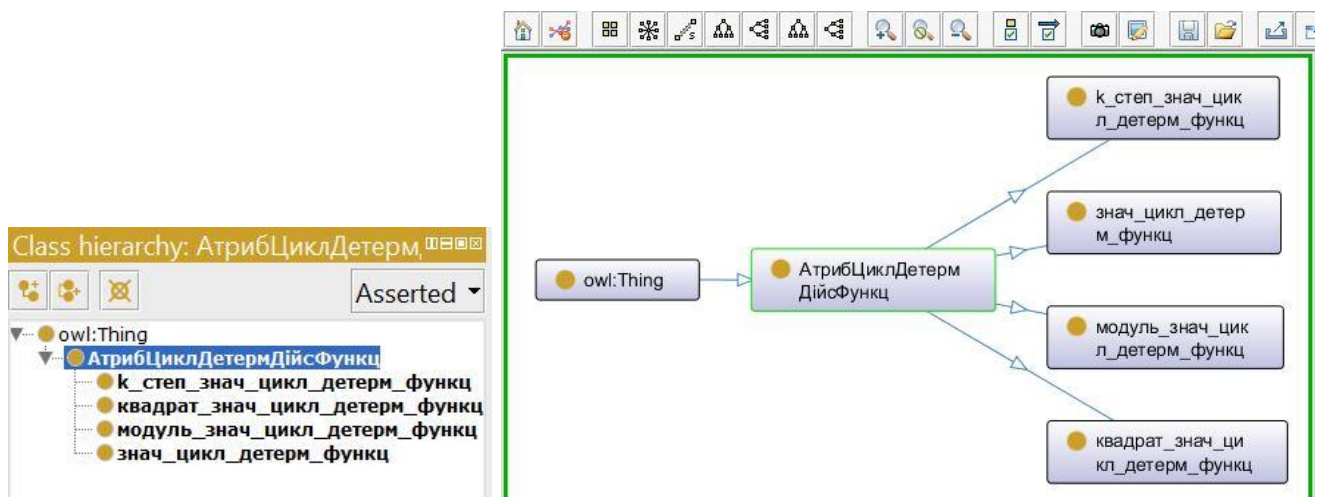


Рис. 3.7. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів атрибутів циклічності функціональних відношень, областю значень яких є лінійний простір дійсних чисел над полем дійсних чисел

Для циклічних детермінованих комплекснозначних функцій $f(t) = f_1(t) + i \cdot f_2(t)$, такими атрибутами можуть бути:

- значення циклічної детермінованої комплекснозначної функції ($p(f(t)) = f(t) = f_1(t) + i \cdot f_2(t)$);

- модуль значення циклічної детермінованої комплекснозначної функції $(p(f(t)) = |f(t)| = \sqrt{(f_1(t))^2 + (f_2(t))^2})$;
- квадрат значення циклічної детермінованої комплекснозначної функції $(p(f(t)) = (f(t))^2)$;
- k-й степінь значення циклічної детермінованої комплекснозначної функції $(p(f(t)) = (f(t))^k)$.

Графічне представлення таксономії видів атрибутів для циклічних функцій, областю значень яких є лінійний простір комплексних чисел над полем комплексних чисел зображено на рисунку 3.8.

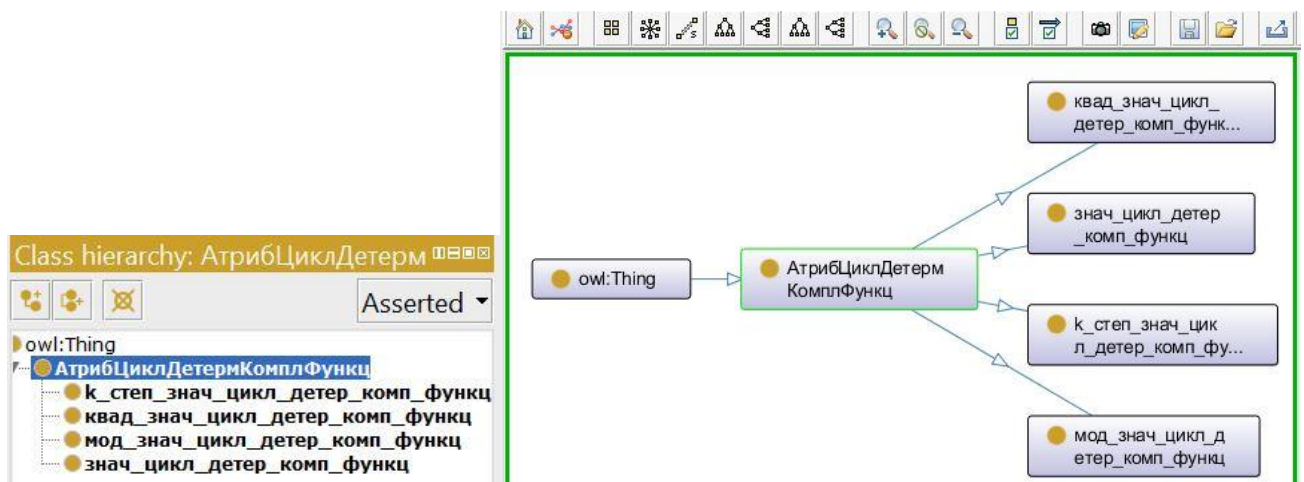


Рис. 3.8. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів атрибутів циклічності функціональних відношень, областю значень яких є лінійний простір комплексних чисел над полем комплексних чисел

Для циклічних детермінованих векторних функцій $f(t) = (f_i(t), i = 1, N)$, такими атрибутами можуть бути:

- значення циклічної детермінованої векторної функції $(p(f(t)) = f(t))$
- циклічні ритмічно пов'язані детерміновані функції;

- норма значення детермінованої векторної функції ($\rho(f(t)) = \|f(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i(t))^2}$) - циклічні за нормою детерміновані векторні функції;
- квадрат норми значення детермінованої векторної функції ($\rho(f(t)) = \|f(t)\|^2$) - циклічні за квадратом норми детерміновані векторні функції;
- k-й степінь норми значення детермінованої векторної функції ($\rho(f(t)) = \|f(t)\|^k$) - циклічні за k-м степенем норми детерміновані векторні функції.
- скалярний добуток значень детермінованої векторної функції ($\rho(f(t)) = (f(t_1), f(t_2)) = \sum_{i=1}^N f_i(t_1) \cdot f_i(t_2)$) – циклічні за скалярним добутком значень детермінованої векторної функції.

Графічне представлення таксономії видів атрибутів для циклічних функцій, областю значень яких є лінійний простір векторів над полем дійсних чисел зображено на рисунку 3.9.

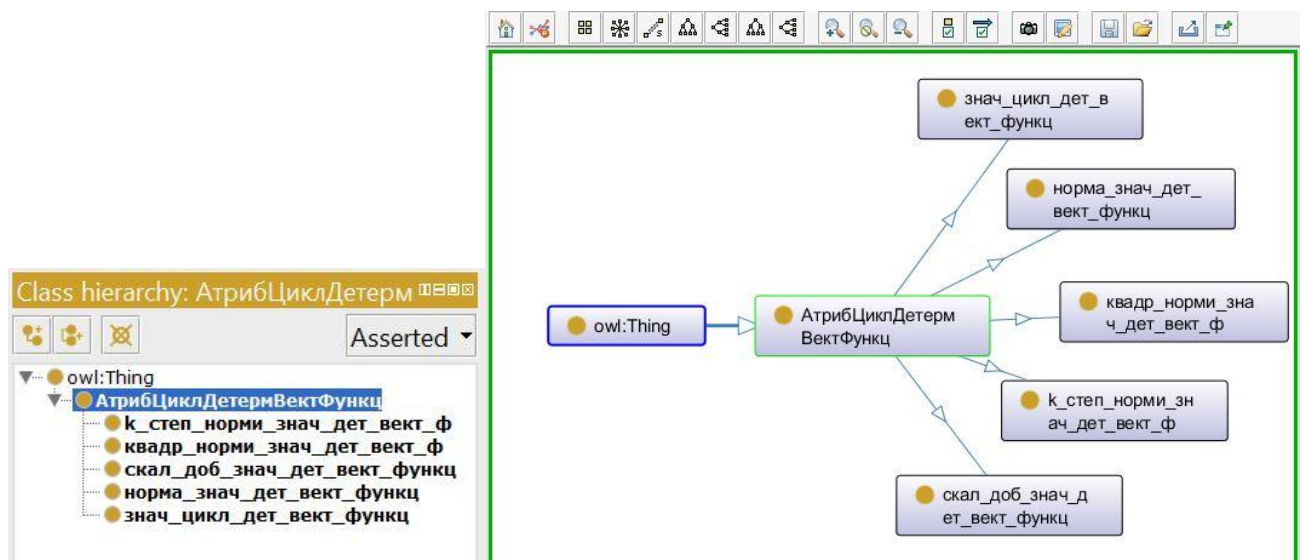


Рис. 3.9. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів атрибутів циклічності функціональних відношень, областю значень яких є лінійний простір векторів над полем дійсних чисел

3.4. Таксономія видів областей визначення циклічного функціонального відношення

З формальної точки зору, елементами множини X_W є можливі (допустимі) області визначення W абстрактної циклічної функції, які загалом є деякими лінійними просторами $\langle W, \mathbf{R}, +, * \rangle$ над полем дійсних чисел. Для формування множини X_W необхідно із W породити усі видові поняття, шляхом застосування до нього та його видових понять логічної операції поділу за певними основами поділу. Власне W як родове поняття та сукупність породжених із нього видових понять і будуть формувати множину X_W , а порядок застосування операцій логічного поділу буде індукувати порядок у організацію таксономії T_W областей визначення циклічних функціональних відношень.

Основами поділу області визначення W циклічної функції можуть бути: 1) потужність множини W , 2) розмірність області визначення W , 3) вид підходу до врахування невизначеності при описі елементів області визначення W . Ці три основи поділу множини W можуть комбінаторно поєднуватися між собою, породжуючи більш розгалужену деталізовану таксономію областей визначення W циклічного функціонального відношення.

За потужністю область визначення W може бути континуальною $W = \mathbf{R}^n$ або зліченною $W = \mathbf{D}^n$, де $n \in \mathbf{N}$. Якщо $W = \mathbf{R}^n$, тобто областю визначення циклічного функціонального відношення є n -вимірний Евклідовий простір над полем дійсних чисел, то матимемо циклічні функції (поля, процеси) неперервного (континуального, дійсного) аргументу. Якщо $W = \mathbf{D}^n$, тобто областю визначення циклічного функціонального відношення є n -вимірний Евклідовий простір над зліченною підмножиною ізольованих точок із поля дійсних чисел, то матимемо циклічні функції (поля, процеси) дискретного аргументу.

Графічне представлення таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «потужність області визначення», зображено на рисунку 3.10.

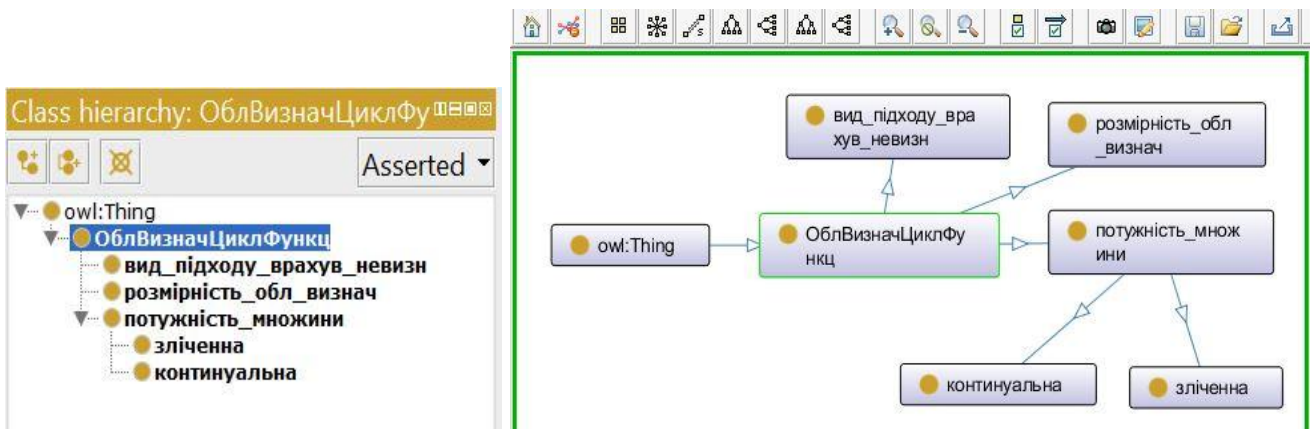


Рис. 3.10. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «потужність області визначення»

За розмірністю область визначення W може бути одновимірною, двовимірною, загалом n -вимірною. Розмірність області визначення W задається цілим числом n , яке може набирати значення від одиниці до деякого $N \in \mathbf{N}$. У частинному випадку, коли $n = 1$ та $W = \mathbf{R}$, то матимемо циклічну функцію неперервного аргументу, а якщо $W = \mathbf{D}$, то матимемо циклічну функцію дискретного аргументу. Якщо $W = \mathbf{D} = \mathbf{Z}$, тобто областю визначення є множина цілих чисел, то матимемо циклічну послідовність, яка може мати лише постійний ритм, тобто бути періодичною.

Графічне представлення таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «розмірність області визначення», зображено на рисунку 3.11.

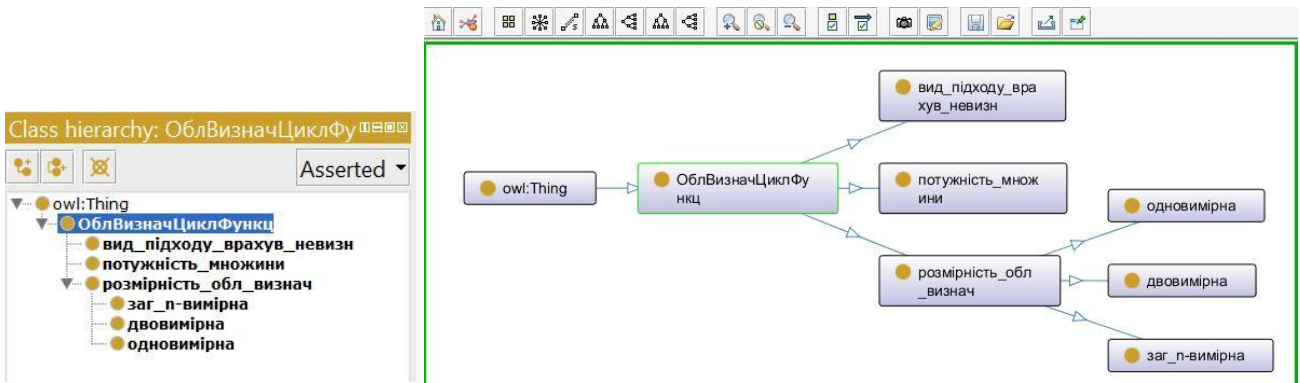


Рис. 3.11. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «розмірність області визначення»

У залежності від підходу (детермінованого, стохастичного, нечіткого, інтервального) до врахування невизначеності при заданні області визначення W досліджуваних циклічних сигналів, множину X_W можна розбити на чотири підмножини X_{W_d} , X_{W_s} , X_{W_f} , X_{W_i} ($X_\Psi = X_{W_d} \cup X_{W_s} \cup X_{W_f} \cup X_{W_i}$).

Графічне представлення таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «вид підходу до врахування невизначеності при описі елементів області визначення», зображено на рисунку 3.12.

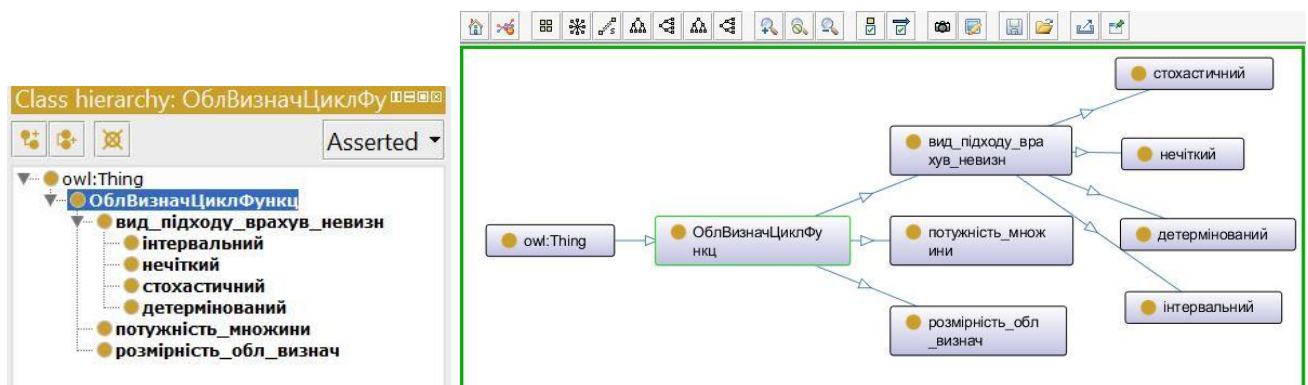


Рис. 3.12. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «вид підходу до врахування невизначеності при описі елементів області визначення»

За стохастичного підходу до опису області визначення W у множині X_{W_S} можна виділяти підмножини за видом функцій розподілу випадкових елементів із W , зокрема, виділити клас із гаусовим, пуасоновим, рівномірним, експоненційним розподілами. Також, можна виділяти різні типи стохастичної динаміки при описі елементів області визначення W циклічного функціонального відношення, а саме, стаціонарні чи нестаціонарні, виділити різні типи нестаціонарності (перехідні, періодичні, циклічні і т.п.).

Графічне представлення таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип ймовірнісної моделі елементів області визначення за стохастичного підходу до її опису», зображено на рисунку 3.13.

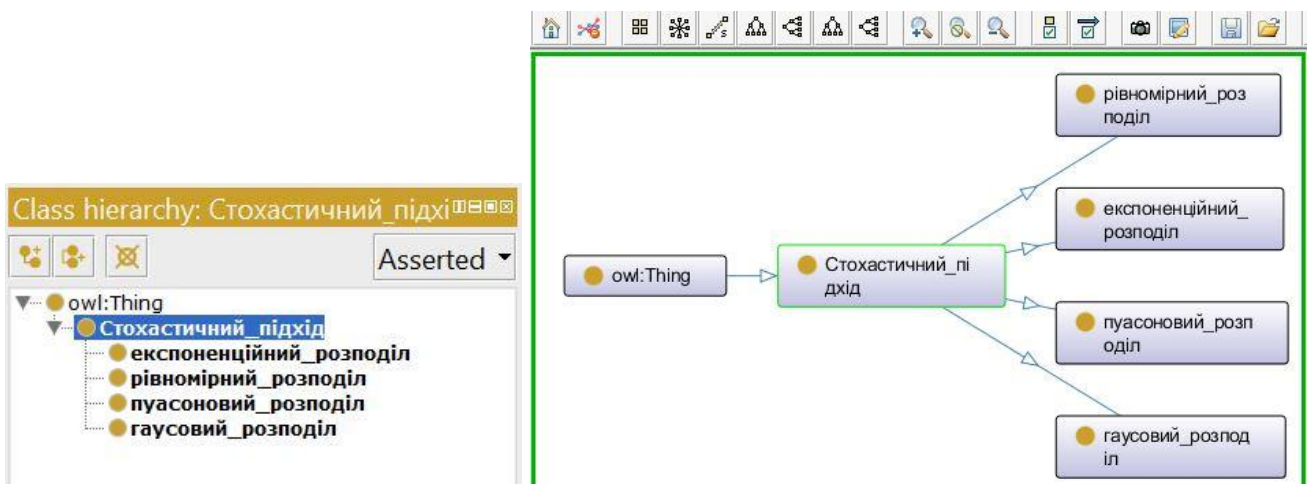


Рис. 3.13. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип ймовірнісної моделі елементів області визначення за стохастичного підходу до її опису»

За нечіткого підходу до опису області визначення W у множині X_{W_f} можна виділяти підмножини за видом функцій належності, які описують елементи області визначення W циклічного сигналу, зокрема, виділити клас

нечітких областей визначення, елементи яких описуються трикутними, трапецевидними т.п. функціями належності. Подібно до випадкових областей визначення W , також можна виділяти класи нечітких областей визначення за видами зміни просторово-часових параметрів їх функцій належності: періодичні залежності, залежності перехідного типу і т.п.

Графічне представлення таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип нечіткої моделі елементів області визначення за нечіткого підходу до її опису», зображено на рисунку 3.14.

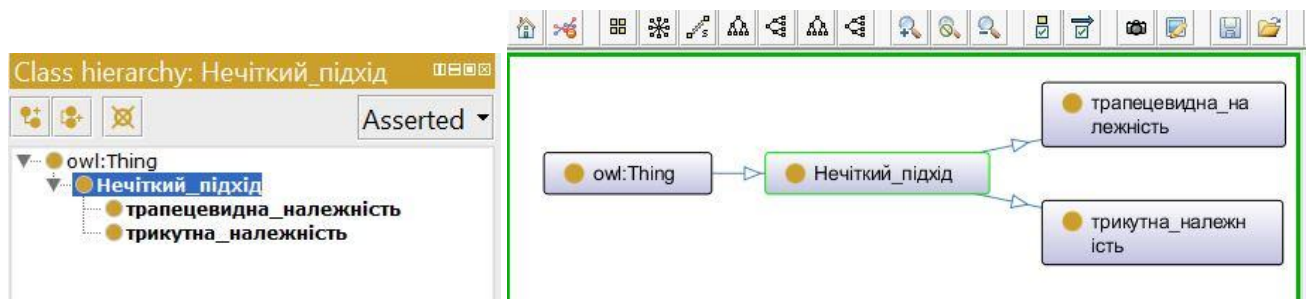


Рис. 3.14. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип нечіткої моделі елементів області визначення за нечіткого підходу до її опису»

За інтервального підходу до опису області визначення W у множині X_{W_i} можна виділяти підмножини за видами зміни просторово-часових параметрів їх інтервалів: періодичні залежності, залежності перехідного типу і т.п.

Графічне представлення таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип інтервальної моделі елементів області визначення за інтервального підходу до її опису», зображено на рисунку 3.15.

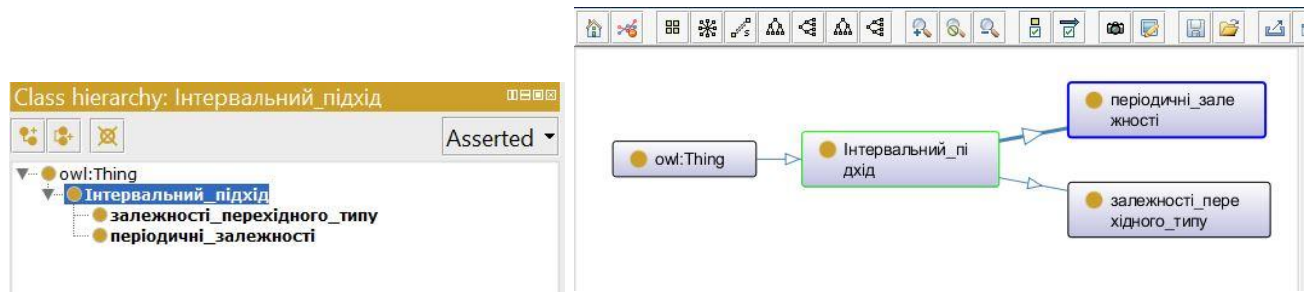


Рис. 3.15. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів областей визначення циклічних функцій при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип інтервальної моделі елементів області визначення за інтервального підходу до її опису»

3.5. Таксономія видів функцій ритму циклічного функціонального відношення

Елементами множини $X_{T(t,n)}$ є різні види (класи) функцій ритму $T(t,n)$ циклічного функціонального відношення. Варто відзначити, що при формуванні множини видів функцій ритму $X_{T(t,n)}$ необхідно враховувати логічну та змістовну залежність між елементами множини $X_{T(t,n)}$ та елементами множини X_W , оскільки для різних видів областей визначення циклічних функціональних відношень можуть бути різні їх види функцій ритму.

Загалом, у залежності від підходу (детермінованого, стохастичного, нечіткого, інтервального) до врахування невизначеності у структурі ритму досліджуваних циклічних сигналів, множину $X_{T(t,n)}$ можна розбити на чотири підмножини $X_{T(t,n)_d}$, $X_{T(t,n)_s}$, $X_{T(t,n)_f}$, $X_{T(t,n)_i}$ ($X_{\Psi} = X_{T(t,n)_d} \cup X_{T(t,n)_s} \cup X_{T(t,n)_f} \cup X_{T(t,n)_i}$).

Графічне представлення таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «вид підходу до врахування невизначеності при описі структури ритму досліджуваних циклічних сигналів», зображено на рисунку 3.16.

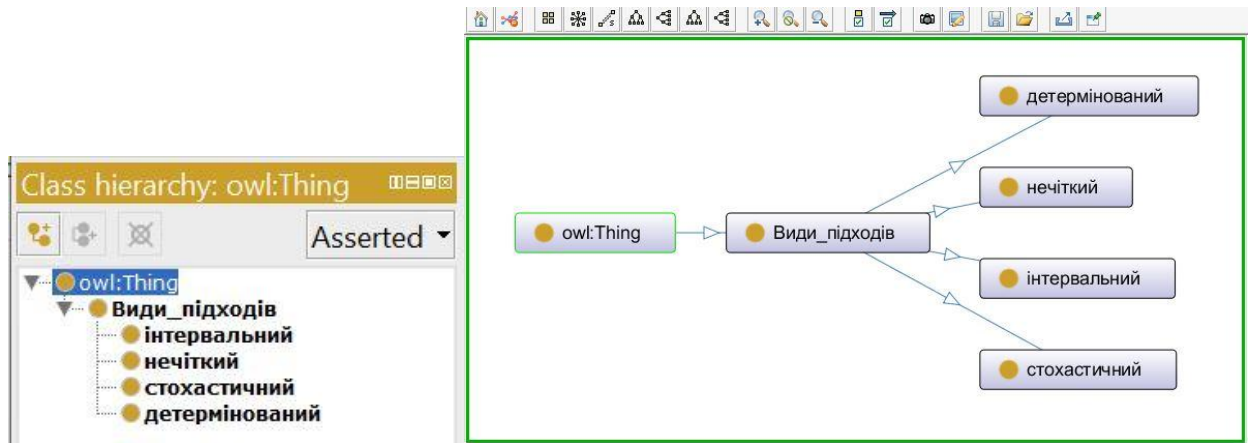


Рис. 3.16. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «вид підходу до врахування невизначеності при описі структури ритму досліджуваних циклічних сигналів»

За детермінованого підходу до опису функції ритму у множині $X_{T(t,n)_d}$ можна виділити підмножину функцій ритму, які мають вигляд $T(t, n) = n \cdot T$. Такі циклічні функціональні відношення мають стабільний ритм, тобто є періодичними функціями. Всі решта елементів із $X_{T(t,n)_d}$ задають змінний тип ритму циклічних функціональних відношень, тобто, задають детерміновані функції ритму, для яких має місце така нерівність: $T(t, n) \neq n \cdot T$. Такі циклічні функціональні відношення називаються циклічними функціями зі змінним ритмом. У свою чергу, в залежності від класу функцій, до якого належать функції ритму можна виділити у множині $X_{T(t,n)_d}$ підмножину кусково лінійних функцій ритму, підмножину кусково квадратичних функцій, підмножину кусково кубічних функцій і т.п.

Графічне представлення таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за детермінованого підходу до його опису», зображено на рисунку 3.17.

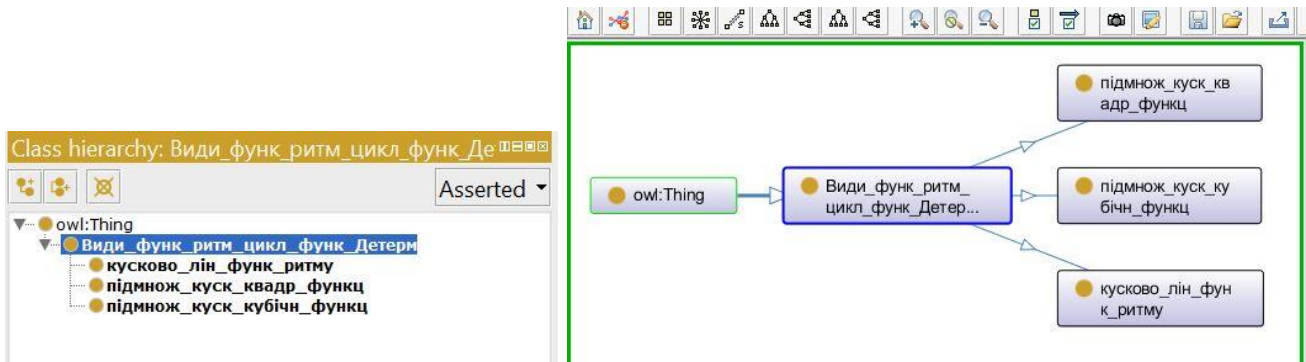


Рис. 3.17. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за детермінованого підходу до його опису»

За стохастичного підходу до опису функції ритму у множині $X_{T(t,n)_S}$ можна виділяти підмножини за видом випадкового процесу, що описує ритм, зокрема, виділити клас випадкових функцій ритму, які є стаціонарними випадковими процесами та нестаціонарними випадковими процесами. Серед нестаціонарних випадкових процесів можна виділити клас випадкових функцій ритму, які задаються нестаціонарними випадковими процесами перехідного типу, а також періодично розподілені чи періодично корельовані випадкові процеси. Також можна виділяти класи випадкових функцій ритму за типом їх розподілу, наприклад, гаусові, пуасонові, рівномірні, експоненційно розподілені випадкові функції ритму.

Графічне представлення таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип ймовірнісної моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за стохастичного підходу до його опису», зображено на рисунку 3.18.

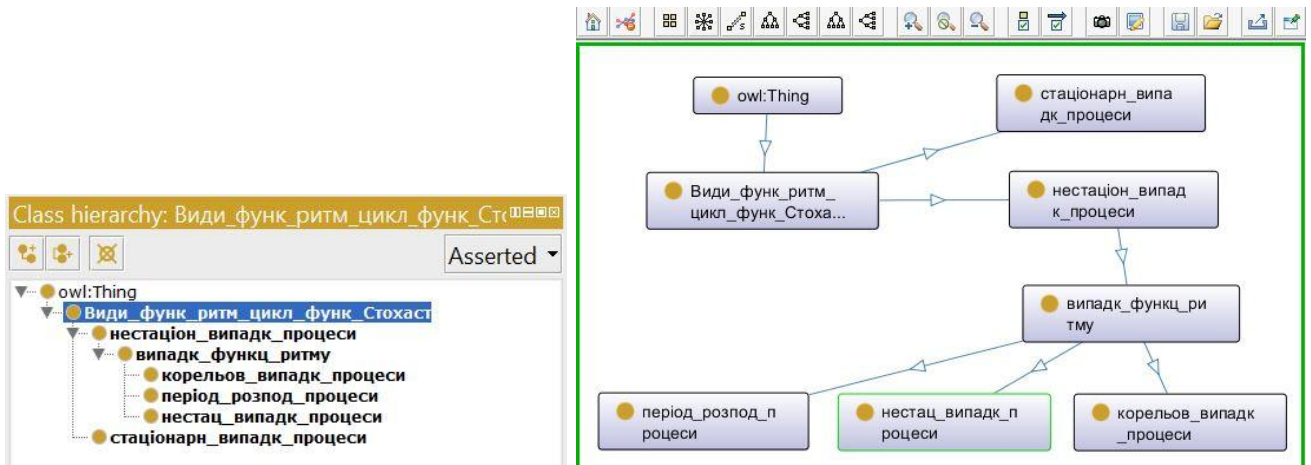


Рис. 3.18. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип ймовірнісної моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за стохастичного підходу до його опису»

За нечіткого підходу до опису функції ритму у множині $X_{T(t,n)_f}$ нечітких функцій ритму можна виділяти підмножини за видом функцій належності, які описують значення ритму циклічного сигналу, зокрема, виділити клас нечітких функцій ритму, значення яких описуються трикутними, трапецевидними т.п. функціями належності. Подібно до випадкових функцій ритму, також можна виділяти класи нечітких функцій ритму за видами зміни просторово-часових параметрів їх функцій належності: періодичні залежності, залежності перехідного типу і т.п.

Графічне представлення таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за нечіткого підходу до його опису», зображено на рисунку 3.19.

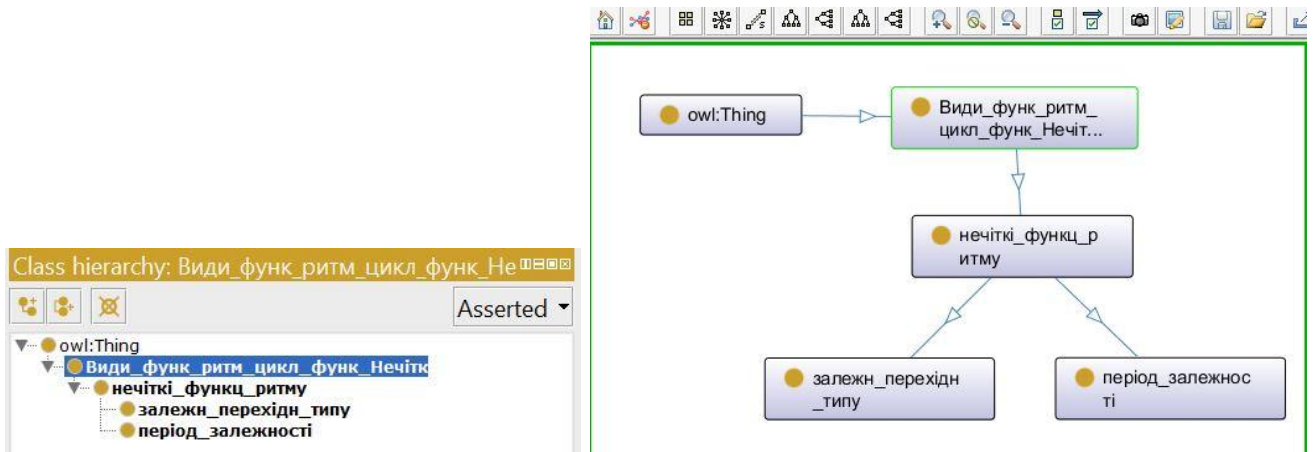


Рис. 3.19. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за нечіткого підходу до його опису»

За інтервального підходу до опису функції ритму у множині $X_{T(t,n)_i}$ інтервальних функцій ритму можна виділяти підмножини за видами зміни просторово-часових параметрів їх інтервалів: періодичні залежності, залежності перехідного типу і т.п.

Графічне представлення таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за інтервального підходу до його опису», зображено на рисунку 3.20.

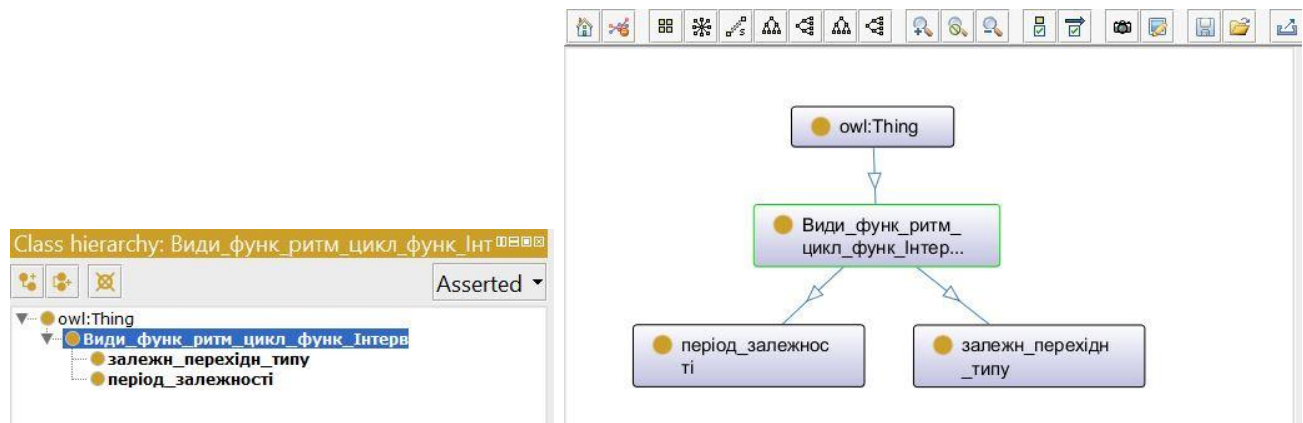


Рис. 3.20. Графічне подання в середовищі Protégé таксономії видів функцій ритму циклічних функціональних відношень при застосуванні логічної операції поділу за основою «тип моделі ритму досліджуваних циклічних сигналів за інтервального підходу до його опису»

3.6. Підхід до кодування вузлів та надання пріоритетів таксономіям $T_{\Psi}, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$

Важливими елементами методу індукції при формуванні класів циклічних функціональних відношень, а також при формуванні їх таксономії, є кодування вузлів таксономій $T_{\Psi}, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$ та надання пріоритетів цих таксономій. Кожній таксономії припишемо її порядковий номер n_0 від 1 до 4, що і буде визначати її пріоритет. Так таксономії T_{Ψ} надамо найвищий пріоритет – 1 ($n_0 = 1$), таксономії T_A надамо пріоритет 2 ($n_0 = 2$), таксономії T_W – пріоритет 3 ($n_0 = 3$), а таксономії $T_{T(t,n)}$ – найнижчий пріоритет – 4 ($n_0 = 4$).

Верхній вузол (корінь) кожного таксономічного дерева буде позначатися числом, рівним порядковому номеру відповідного таксономічного дерева. Кожний рівень n -го таксономічного дерева будемо кодувати натуральним числом, яке рівне числу його появи у напрямі від вершини (кореня) дерева до його гілок. Загалом, k -й рівень n -го таксономічного дерева будемо подавати комбінацією натуральних чисел, розділених крапкою, а саме: $n_0.k_1, \dots, k_i$. В цій кодовій комбінації перше число відображає порядковий номер (пріоритет)

відповідного таксономічного дерева, а натуральне число i відображає порядковий номер рівня у цьому таксономічному дереві.

Для будь-якого вузла таксономічного дерева остання цифра вказує номер його послідовності на цьому рівні від свого предка, а всі попередні цифри вказують вузол предка. На рисунку 3.21 показаний приклад кодування вузлів таксономічного дерева згідно з вищезазначеним підходом.

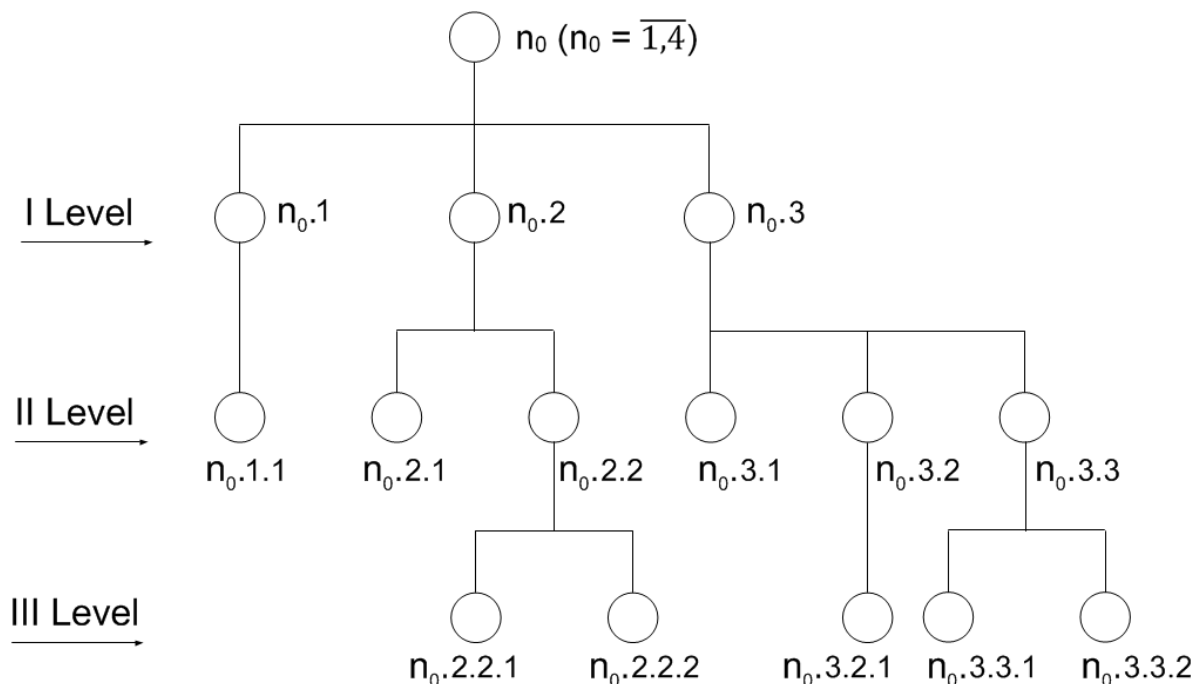


Рис. 3.21. Приклад кодування вузлів таксономій $T_\Psi, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$

3.7. Процедура породження глосарію класів циклічних функціональних відношень із базового означення абстрактної циклічної функції та множин $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$.

Побудова множин $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$ та відповідних їх таксономій $T_\Psi, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$ є основою для формування як множини B_1 назв класів циклічних функціональних відношень, їх означень, таксономії **Tax_of_Cf** цих класів та векторів $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ і $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$, які є складовими онтології O_1 математичних моделей циклічних сигналів, яка задана формулою

(2.3). Перейдемо безпосередньо до формування множини B_1 назв та означень класів циклічних функціональних відношень.

Формування множини B_1 назв класів циклічних функціональних відношень повинно бути уніфікованим. Назви класів циклічних функцій породжуються із відповідних назв елементів множин X_Ψ , X_A , $X_{T(t,n)}$, X_W згідно із правилами відповідної національної мови (української, англійської і т.п.), тобто із назв відповідних видів областей визначення, атрибутів, функцій ритму та областей визначення циклічного функціонального відношення. Для спрощення назв циклічних функціональних відношень, будемо замість назви «Циклічне функціональне відношення» використовувати більш короткий варіант – «Циклічна функція».

Назва циклічного функціонального відношення умовно може бути розбита на такі чотири частини. Перша частина назви циклічного функціонального відношення відображає тип атрибуту циклічності даної функції, а саме, містить назву атрибуту $p: \Psi \rightarrow A$ (чи $p: \Psi^n \rightarrow A$) чи множину назв атрибутів $\{p_k: \Psi^{n_k} \rightarrow A_k, k = \overline{1, K}\}$ із певної, наперед окресленої множини назв можливих атрибутів циклічності (множини назв елементів із X_A). Друга частина назви циклічного функціонального відношення набирає своїх словесних значень із множини можливих, наперед окреслених, назв загальних підходів до врахування (чи не врахування) невизначеностей в моделюванні досліджуваних сигналів, а саме, із множини {детермінована, випадкова, нечітка, інтервальна}, а також із назв видів областей значень циклічного функціонального відношення (множини назв елементів із X_Ψ). Третя частина назви циклічного функціонального відношення відображає тип області визначення циклічної функції, тобто набирає своїх значень із множини назв елементів із X_W . Четверта частина назви циклічного функціонального відношення відображає вид ритму циклічної функції, тобто, набирає своїх значень із множини назв елементів із $X_{T(t,n)}$.

Наведемо декілька прикладів назв циклічних функціональних відношень, утворених згідно із наведеним вище уніфікованим підходом, а саме:

- Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом;
- Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом;
- Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом;
- Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом;
- Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом;
- Циклічна за множиною автокореляційних та взаємокореляційних функцій векторна випадкова функція дійсного аргументу з постійним ритмом;
- Циклічна за трапецевидною функцією належності нечітка функція дискретного аргументу зі змінним ритмом;
- Циклічна відносно системи інтервалів інтервальна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом.

Кожен клас циклічних функціональних відношень задається своїм означенням, яке повинно міститися в глосарії онтології O_1 математичних моделей циклічних сигналів. Тому, наступним етапом формування глосарію онтології математичних моделей циклічних сигналів є формування множини означень класів циклічних функціональних відношень, що згідно із моделлю онтології O_1 , задається функцію інтерпретації $f_1(x_1, x_2, x_3, x_4)$, яка тотожна 4-місному предикату $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$ і для конкретних наборів $x_1 \in X_\Psi, x_2 \in X_A, x_3 \in X_{T(t,n)}, x_4 \in X_W$ задає означення відповідних класів циклічних функціональних відношень, формуючи глосарій онтології O_1 .

Згідно із другим розділом дисертації, означення циклічного функціонального відношення розглядається як тотожно істинний 4-місний предикат, а саме, як функцію-висловлювання $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$, яку задано на

множинах $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$ ($x_1 \in X_\Psi, x_2 \in X_A, x_3 \in X_{T(t,n)}, x_4 \in X_W$), і яка набирає своїх значень із множини Def_{cf} всіх можливих означень конкретних підкласів циклічних функціональних відношень. Оскільки предикат $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$ є тотожно істинним, то для будь-яких наборів значень x_1, x_2, x_3, x_4 із множин $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$, він завжди перетворюється на істинне висловлювання, а саме, на означення конкретного підкласу циклічних функціональних відношень. Крім того, зважаючи на те, що із класами $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$ пов'язані відповідні їм таксономії $T_\Psi, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$, то можна стверджувати, що для будь-яких наборів значень x_1, x_2, x_3, x_4 із будь-яких вузлів (класів, множин) $X_\Psi, X_A, X_{T(t,n)}, X_W$ таксономій $T_\Psi, T_A, T_{T(t,n)}, T_W$, предикат $P(x_1, x_2, x_3, x_4)$ завжди перетворюється на істинне висловлювання, яке і буде автоматично породженим (згенерованим) означенням конкретного підкласу циклічних функціональних відношень, а також буде відповідним вузлом таксономії (класифікаційного дерева) *Tax_of_Cf* моделей циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень. На рисунках 3.22 – 3.25 наведено фрагменти глосарію циклічних функціональних відношень як складових онтології математичних моделей циклічних сигналів, що побудовано в середовищі Protégé.

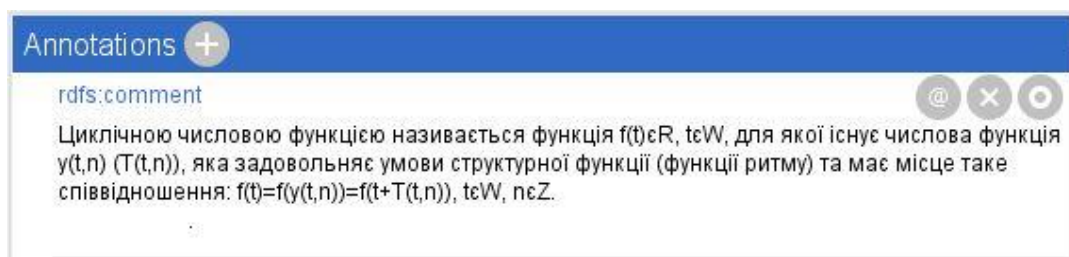


Рис. 3.22. Графічне подання в середовищі Protégé фрагменту глосарію – означення циклічної числової функції

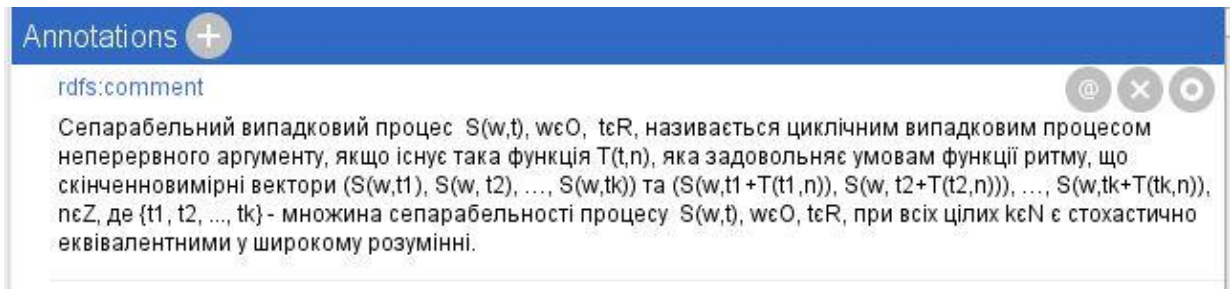


Рис. 3.23. Графічне подання в середовищі Protégé фрагменту глосарію – означення циклічного випадкового процесу неперервного аргументу

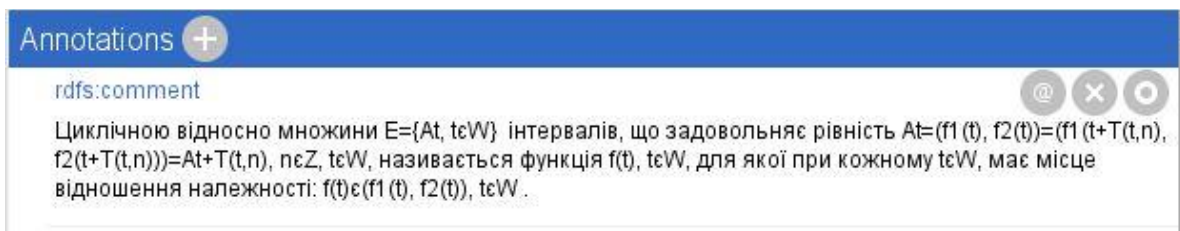


Рис. 3.24. Графічне подання в середовищі Protégé фрагменту глосарію – означення циклічної відносно множини інтервалів функції

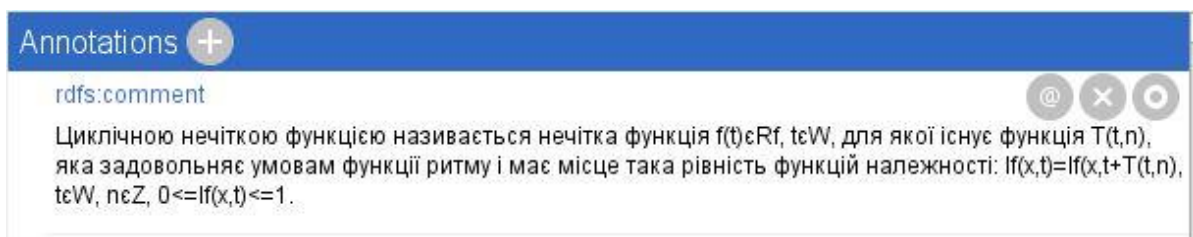


Рис. 3.25. Графічне подання в середовищі Protégé фрагменту глосарію – означення циклічної відносно множини інтервалів функції

3.8. Метод формування вектора властивостей класів циклічних функціональних відношень в рамках комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів

Окрім окреслення множини назв та означень класів математичних моделей циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, важливою складовою онтології математичних моделей циклічних сигналів є вектор \bar{P} , а саме, вектор $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ унарних відношень (p_1, p_2, \dots, p_n) , які задають властивості (ознаки, атрибути) відповідного класу циклічних

функціональних відношень. Як було зазначено у другому розділі дисертації, областю визначення унарного відношення $p_i, i = \overline{1, n} \in$ множина \mathbf{B}_1 назв математичних моделей циклічних сигналів, а областю значень є множина \mathbf{P}_i значень відповідної властивості.

Таким чином, кожний клас циклічних функціональних відношень повинен мати свій вектор $\bar{\mathbf{P}} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ властивостей (ознак, атрибутів), який містить властивості відповідного класу циклічних функцій i , який його повністю характеризує та лежить в основі процедури класифікації циклічних функціональних відношень. Кожному такому вектору властивостей $\bar{\mathbf{P}} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ поставимо у відповідність вектор числових змінних $\bar{\mathbf{I}} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$, які приймають значення зі скінченних підмножин натуральних чисел. Вектор $\bar{\mathbf{I}} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ кодує в числовому форматі вектор властивостей $\bar{\mathbf{P}} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ та лежить в основі числового кодування класів циклічних функціональних відношень.

Грунтуючись на побудованих таксономіях $\mathbf{T}_\Psi, \mathbf{T}_A, \mathbf{T}_{T(t,n)}, \mathbf{T}_W$ та визначених їх пріоритетів, а також застосовуючи підхід, який лежить в основі методу індукції класів циклічних функціональних відношень, здійснимо побудову вектора властивостей $\bar{\mathbf{P}} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для кожного класу циклічних функціональних відношень як математичних моделей циклічних сигналів. Відзначимо, що тип упорядкування властивостей p_1, p_2, \dots, p_n у векторі $\bar{\mathbf{P}}$ визначається порядком вузлів та пріоритетами таксономій $\mathbf{T}_\Psi, \mathbf{T}_A, \mathbf{T}_{T(t,n)}, \mathbf{T}_W$.

Перша, найпріоритетніша властивість у векторі властивостей $\bar{\mathbf{P}} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ класів циклічних функціональних відношень стосується типу невизначеності значень циклічного сигналу. А саме, ця властивість p_1 може приймати значення із множини $\{d, s, f, i\}$, де d позначає детермінований підхід (*determined*); s – стохастичний підхід (*stochastic*); f - нечіткий підхід (*fuzzy*); i - інтервальний підхід (*interval*).

Число i_1 може приймати значення від одиниці до чотирьох. Одиниця ($i_1 = 1, p_1 = d$) кодуватиме детермінований підхід до опису значень циклічних

сигналів, двійка ($i_1 = 2, p_1 = s$) кодуватиме стохастичний підхід до опису значень циклічних сигналів, трійка ($i_1 = 3, p_1 = f$) кодуватиме нечіткий підхід до опису значень циклічних сигналів, а четвірка ($i_1 = 4, p_1 = i$) кодуватиме інтервальний підхід до опису значень циклічних сигналів.

Друга за пріоритетністю властивість p_2 (кодується змінною i_2) вказує на таку властивість класу циклічних функціональних відношень як тип значення циклічного сигналу. А саме, ця властивість p_2 може приймати значення із множини

$$\left\{ \begin{array}{l} real, complex, vector_{real}, vector_{complex}, matrix_{real}, matrix_{complex}, tensor_{real}, \\ tensor_{complex}, \dots \end{array} \right\},$$

а число i_2 може приймати значення від 1 до 12. Одиниця ($i_2 = 1, p_2 = real$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є дійсні числа, двійка ($i_2 = 2, p_2 = complex$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є комплексні числа, трійка ($i_2 = 3, p_2 = vector_{real}$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є вектори дійсних чисел, четвірка ($i_2 = 4, p_2 = vector_{complex}$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є вектори комплексних чисел, п'ятірка ($i_2 = 5, p_2 = matrix_{real}$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є матриці із дійсних чисел, шестірка ($i_2 = 6, p_2 = matrix_{complex}$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є матриці із комплексних чисел, семірка ($i_2 = 7, p_2 = tensor$) кодуватиме циклічні сигнали значення яких є тензора, і так далі.

Третя за пріоритетністю властивість p_3 (кодується змінною i_3) вказує на вид атрибуту циклічності даного класу циклічних функціональних відношень. Як правило, $i_3 = 1$, коли атрибутом циклічності функції є її значення. Для інших атрибутів циклічності i_3 набирає значення 2 і більше.

Четверта за пріоритетністю властивість p_4 (кодується змінною i_4) вказує на тип невизначеності в описі елементів області визначення циклічної функції. Як і у випадку, властивості p_1 , властивість p_4 може приймати значення із множини $\{d, s, f, i\}$, а число i_4 приймати значення від одиниці до чотирьох. Одиниця ($i_4 = 1, p_4 = d$) кодуватиме детермінований підхід до опису елементів області

визначення циклічних сигналів, двійка $(i_4 = 2, p_4 = s)$ кодуватиме стохастичний підхід до опису елементів області визначення циклічних сигналів, трійка $(i_4 = 3, p_4 = f)$ кодуватиме нечіткий підхід до опису елементів області визначення циклічних сигналів, а четвірка $(i_4 = 4, p_4 = i)$ кодуватиме інтервальний підхід до опису елементів області визначення циклічних сигналів.

П'ята за пріоритетністю властивість p_5 (кодується змінною i_5) вказує на розмірність області визначення циклічної функції, а саме, на те, чи циклічна функція є функцією одного чи багатьох (декількох) аргументів (циклічне поле).

Шоста за пріоритетністю властивість p_6 (кодується змінною i_6) вказує на вид потужності (континуальна чи дискретна) області визначення циклічної функції, а саме, на те, чи циклічна функція є функцією дійсного (дійсних) аргументів чи функцією дискретного (дискретних) аргументів.

Сьома за пріоритетністю властивість p_7 (кодується змінною i_7) вказує на вид ритму (постійний чи змінний) циклічної функції, а саме, на те, чи циклічна функція є циклічною функцією зі змінним ритмом чи з постійним ритмом (періодичною функцією).

Восьма за пріоритетністю властивість p_8 (кодується змінною i_8) уточнює вид змінного ритму циклічної функції, а саме, на те, чи циклічна функція є з кусково-лінійним видом ритму чи з кусково-квадратичним видом ритму чи кусково-кубічним видом ритму чи з періодичним видом ритму і т.д. Тобто, дана властивість уточняє вид змінності ритму циклічної функції.

Загалом, кількість властивостей n (тобто розмірність вектора $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$), які характеризують клас циклічних функціональних відношень може бути різною для різних класів. Однак необхідно притримуватися правила, згідно із яким всі властивості надкласу циклічних функціональних відношень, що є компонентами його вектора властивостей, входять до складу векторів властивостей всіх його підкласів.

Зважаючи на те, що як для опису значень, так і елементів області визначення (а відповідно і функцій ритму) циклічних функцій застосовується чотири можливих підходи до врахування невизначеності, а саме,

детермінований, стохастичний, нечіткий та інтервальний, то загалом можна виділити 16 підходів до математичного опису невизначеності циклічних сигналів. Короткі відомості про ці 16 підходів подано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Підходи до математичного опису невизначеності циклічних сигналів

№ підходу	Назва підходу до опису невизначеності значень циклічних сигналів	Назва підходу до опису невизначеності елементів області визначення та ритму циклічних сигналів	Назва узагальненого підходу до опису невизначеності циклічних сигналів
1.	Детермінований ($p_1 = d, i_1 = 1$)	Детермінований ($p_4 = d, i_4 = 1$)	Детермінований
2.	Детермінований ($p_1 = d, i_1 = 1$)	Стохастичний ($p_4 = s, i_4 = 2$)	Детерміновано-стохастичний
3.	Детермінований ($p_1 = d, i_1 = 1$)	Нечіткий ($p_4 = f, i_4 = 3$)	Детерміновано-нечіткий
4.	Детермінований ($p_1 = d, i_1 = 1$)	Інтервальний ($p_4 = i, i_4 = 4$)	Детерміновано-інтервальний
5.	Стохастичний ($p_1 = s, i_1 = 2$)	Детермінований ($p_4 = d, i_4 = 1$)	Стохастично-детермінований
6.	Стохастичний ($p_1 = s, i_1 = 2$)	Стохастичний ($p_4 = s, i_4 = 2$)	Стохастичний
7.	Стохастичний ($p_1 = s, i_1 = 2$)	Нечіткий ($p_4 = f, i_4 = 3$)	Стохастично-нечіткий
8.	Стохастичний ($p_1 = s, i_1 = 2$)	Інтервальний ($p_4 = i, i_4 = 4$)	Стохастично-інтервальний
9.	Нечіткий ($p_1 = f, i_1 = 3$)	Детермінований ($p_4 = d, i_4 = 1$)	Нечітко-детермінований

10.	Нечіткий ($p_1 = f, i_1 = 3$)	Стохастичний ($p_4 = s, i_4 = 2$)	Нечітко- стохастичний
11.	Нечіткий ($p_1 = f, i_1 = 3$)	Нечіткий ($p_4 = f, i_4 = 3$)	Нечіткий
12.	Нечіткий ($p_1 = f, i_1 = 3$)	Інтервальний ($p_4 = i, i_4 = 4$)	Нечітко- інтервальний
13.	Інтервальний ($p_1 = i, i_1 = 4$)	Детермінований ($p_4 = d, i_4 = 1$)	Інтервально- детермінований
14.	Інтервальний ($p_1 = i, i_1 = 4$)	Стохастичний ($p_4 = s, i_4 = 2$)	Інтервально- стохастичний
15.	Інтервальний ($p_1 = i, i_1 = 4$)	Нечіткий ($p_4 = f, i_4 = 3$)	Інтервально- нечіткий
16.	Інтервальний ($p_1 = i, i_1 = 4$)	Інтервальний ($p_4 = i, i_4 = 4$)	Інтервальний

На рисунках 3.26 -3.31 подано приклади подання вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для ряду класів циклічних функціональних відношень, а саме, як атрибути відповідних класів онтології математичних моделей циклічних сигналів, що побудовано в середовищі Protégé.

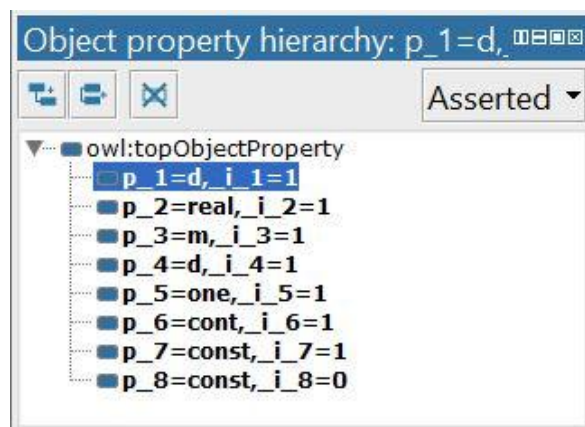


Рис. 3.26. Графічне подання в середовищі Protégé вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для класу «Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом»

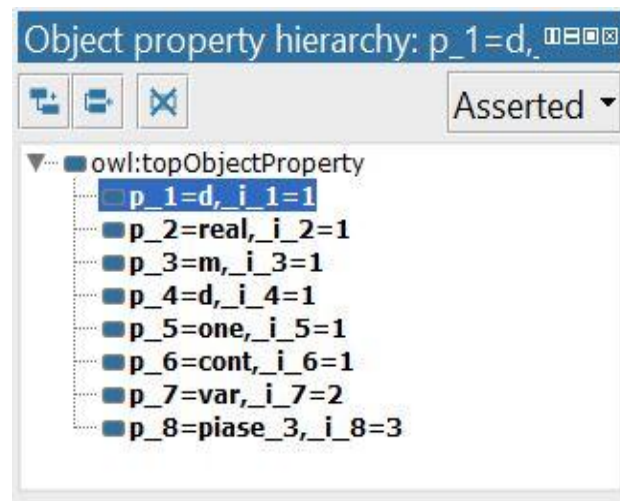


Рис. 3.27. Графічне подання в середовищі Protégé вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для класу «Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом».

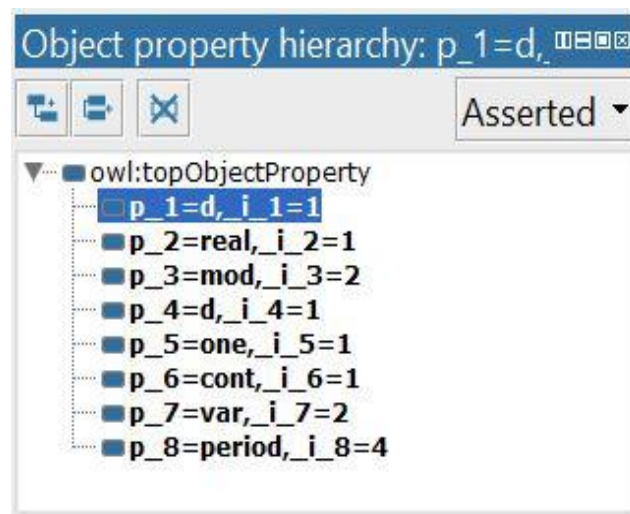


Рис. 3.28. Графічне подання в середовищі Protégé вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для класу «Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом».

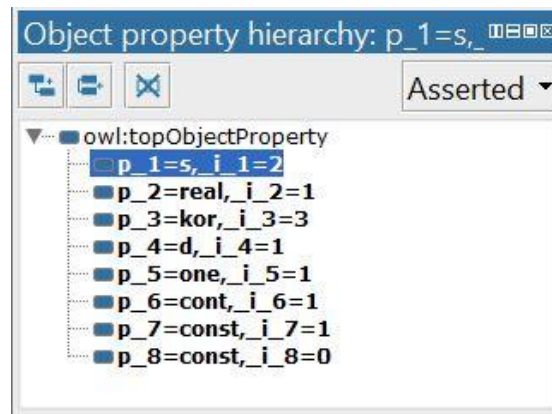


Рис. 3.29. Графічне подання в середовищі Protégé вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для класу «Циклічна за множиною автокореляційних та взаємкореляційних функцій векторна випадкова функція дійсного аргументу з постійним ритмом».

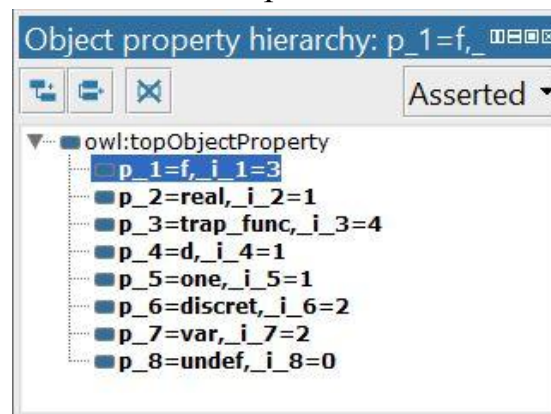


Рис. 3.30. Графічне подання в середовищі Protégé вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для класу «Циклічна за трапецевидною функцією належності нечітка функція дискретного аргументу зі змінним ритмом».

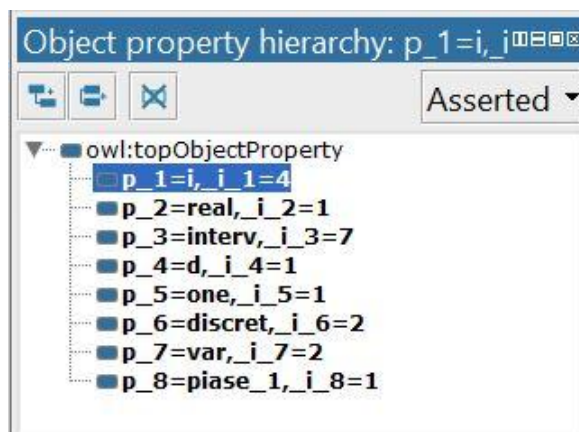


Рис. 3.31. Графічне подання в середовищі Protégé вектора властивостей $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ для класу «Циклічна відносно системи інтервалів інтервальна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом».

3.9. Метод формування вектора рівнів розробки математичного та програмного забезпечень для опрацювання та імітації циклічних сигналів в рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень

Оскільки із будь-яким класом циклічних функціональних відношень пов'язані відповідні інформаційні технології (методи та засоби) опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів, математичною моделлю яких є цей клас циклічних функцій, то окрім вектора $\bar{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, який містить властивості відповідного класу циклічних функцій слушно ввести вектор $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$, компоненти, якого характеризують стан (рівень) пропрацьованості (імплементації, розробки) відповідних інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках цієї математичної їх моделі.

Тобто, вектор $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ є вектором рівнів розробки математичного та програмного забезпечень для опрацювання та імітації циклічних сигналів в рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень. Відомості, які містяться в компонентах вектора $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ важливі при розв'язанні задачах обґрунтованого вибору математичної моделі та технологій опрацювання (перетворення, аналіз (оцінювання атрибутів циклічності та атрибутів ритму), кластеризація, класифікація, прогнозування, регресія), технологій імітації (генерування) циклічних сигналів.

Коротко розглянемо кожен компоненту вектора $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$.

Перша компонента l_1 вектора $\bar{L}_{imp} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ набуває своїх значень із підмножини цілих чисел від 0 до 3 і характеризує рівень розробки самого класу циклічних функціональних відношень як математичної моделі циклічних сигналів, а саме:

$l_1 = 0$, якщо відсутні означення, вивідні властивості (леми та теореми), які стосуються цього класу циклічних функціональних відношень, та відсутні

приклади успішного застосування цього класу циклічних функцій як математичних моделей циклічних сигналів (процесів, явищ);

$l_1 = 1$, якщо наявне чітке математично коректне означення класу циклічних функціональних відношень як підкласу абстрактного циклічного функціонального відношення, але відсутні вивідні властивості (леми та теореми), які стосуються цього класу циклічних функціональних відношень та відсутні приклади успішного застосування цього класу циклічних функцій як математичних моделей циклічних сигналів (процесів, явищ);

$l_1 = 2$, якщо наявне чітке математично коректне означення класу циклічних функціональних відношень як підкласу абстрактного циклічного функціонального відношення, наявні вивідні властивості (леми та теореми), які стосуються цього класу циклічних функціональних відношень, однак відсутні приклади успішного застосування цього класу циклічних функцій як математичних моделей циклічних сигналів (процесів, явищ);

$l_1 = 3$, якщо наявне чітке математично коректне означення класу циклічних функціональних відношень як підкласу абстрактного циклічного функціонального відношення, наявні вивідні властивості (леми та теореми), які стосуються цього класу циклічних функціональних відношень та наявні приклади успішного застосування цього класу циклічних функцій як математичних моделей циклічних сигналів (процесів, явищ).

Компоненти l_2, \dots, l_7 характеризують рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання типових задач в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень. Ці компоненти набувають своїх значень із підмножини цілих чисел від 0 до 2, а саме:

$l_j = 0$ ($j \in [2, 7]$), якщо відсутній метод для розв'язання відповідної типової задачі в рамках їх математичної моделі у вигляді даного класу циклічних функціональних відношень;

$l_j = 1$ ($j \in [2,7]$), якщо наявний метод для розв'язання відповідної типової задачі в рамках їх математичної моделі у вигляді даного класу циклічних функціональних відношень, але відсутній програмний (програмно-апаратний, апаратний) засіб, що реалізує цей метод;

$l_j = 2$ ($j \in [2,7]$), якщо наявний метод для розв'язання відповідної типової задачі в рамках їх математичної моделі у вигляді даного класу циклічних функціональних відношень, а також наявний програмний (програмно-апаратний, апаратний) засіб, що реалізує цей метод.

Компонента l_2 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі оцінювання атрибутів циклічності (задача морфоаналізу) циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Компонента l_3 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі оцінювання атрибутів ритму (задача аналізу ритму) циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Компонента l_4 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі класифікації (розпізнавання) циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Компонента l_5 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі кластеризації (побудови діагностичного простору) циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Компонента l_6 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі прогнозування циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Компонента l_7 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі регресії циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Компонента l_8 вектора $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ характеризує рівень розробки технологій (методів та засобів) опрацювання циклічних сигналів для розв'язання задачі комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів в рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

Таким чином, вектор $\overline{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ (або вектор $\overline{I} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$) разом із вектором $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$ повністю характеризують як кожен конкретний клас циклічних функціональних відношень, так і рівень розробленості технологій (методів та засобів) опрацювання та імітації циклічних сигналів у рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень.

3.10. Кодування класів циклічних функціональних відношень та їх таксономія

На основі векторів $\overline{P} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$, $\overline{I} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ та $\overline{L_{imp}} = (l_1, l_2, \dots, l_8)$, сформуємо систему кодування класів циклічних функціональних відношень та інформаційних технологій (методів та засобів) опрацювання (аналіз (оцінювання атрибутів циклічності та атрибутів ритму), кластеризація, класифікація, прогнозування, регресія), технологій імітації (генерування)

циклічних сигналів у рамках цієї математичної їх моделі. Така система кодування уможливорює унікальне числове подання кожного класу циклічних функціональних відношень та дає змогу упорядкувати всі ці класи у їх таксономію ***Tax_of_Cf***.

Так, для кожного класу циклічних функціональних відношень із вектора $\bar{I} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ можна утворити унікальний кодовий вектор, який має вигляд: $i_1.i_2., \dots, .i_n$, тобто, який є послідовністю компонент вектора $\bar{I} = (i_1, i_2, \dots, i_n)$, розділених крапкою («.»). Приклад кодування назв класів циклічних детермінованих функціональних відношень та їх таксономію подано в додатку Б.

З метою упорядкування (структурування) множини означень ***Def_{cf}*** класів циклічних функціональних відношень), а також для розробки загальної класифікації циклічних функціональних відношень, побудуємо таксономію ***Tax_of_Cf*** означень класів циклічних функціональних відношень, елементами (вузлами) якої є означення-предикати із ***Def_{cf}***. Для цього, застосуємо метод індукції таксономії ***Tax_of_Cf*** із таксономій ***T_ψ***, ***T_A***, ***T_{T(t,n)}***, ***T_W***.

Варто відзначити, що тип упорядкування різних класів циклічних функціональних відношень в рамках їх таксономії визначається як типами упорядкування відповідних множин в рамках таксономій ***T_ψ***, ***T_A***, ***T_{T(t,n)}***, ***T_W***, так і упорядкуванням взаємних пріоритетів між самим цими таксономіями.

На рисунках 3.32 -3.37 подано приклади фрагментів таксономії циклічних детермінованих функціональних відношень, що побудовано в середовищі Protégé.

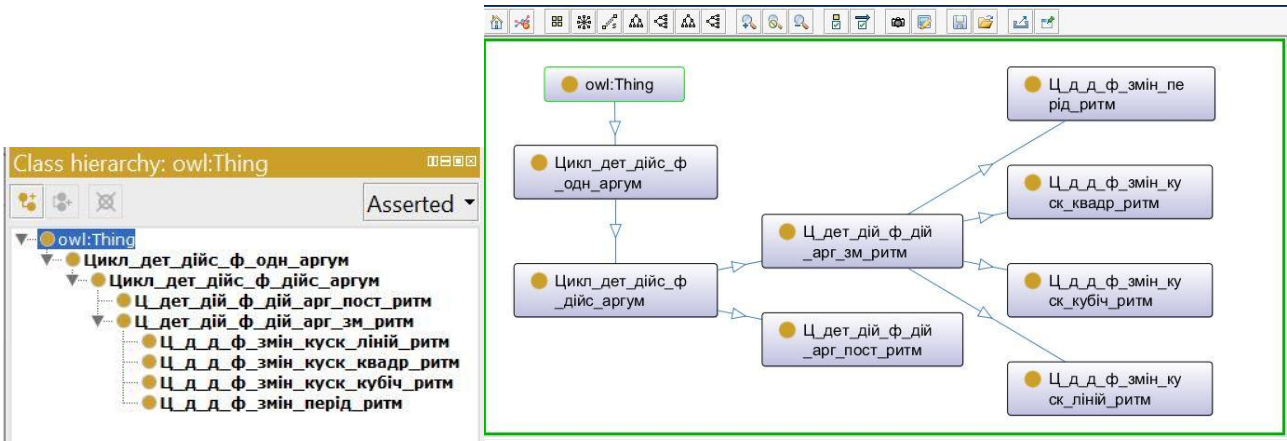


Рис. 3.32. Графічне подання в середовищі Protégé для класу «Циклічна за значенням детермінована дійснозначна функція одного аргументу»

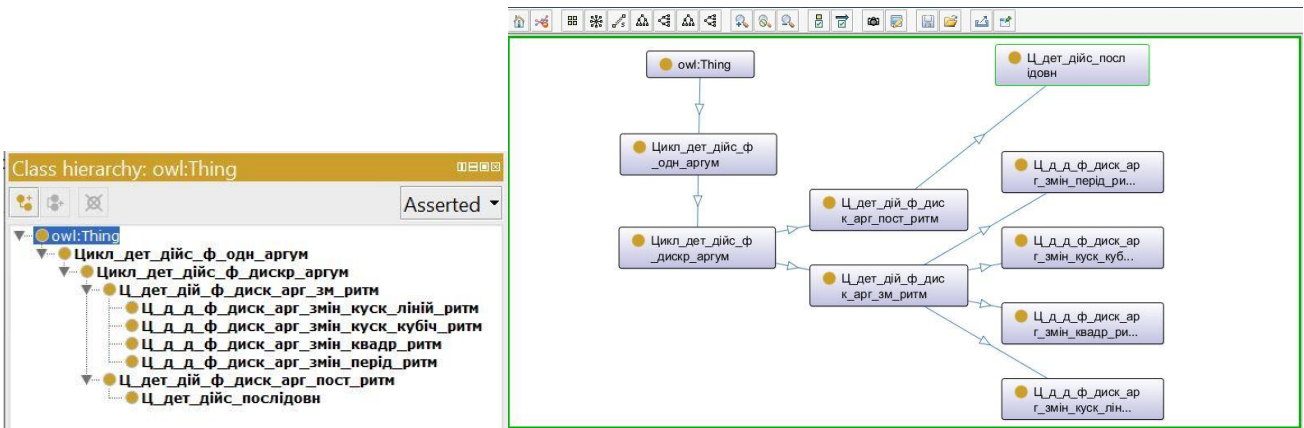


Рис. 3.33. Графічне подання в середовищі Protégé для класу «Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу»

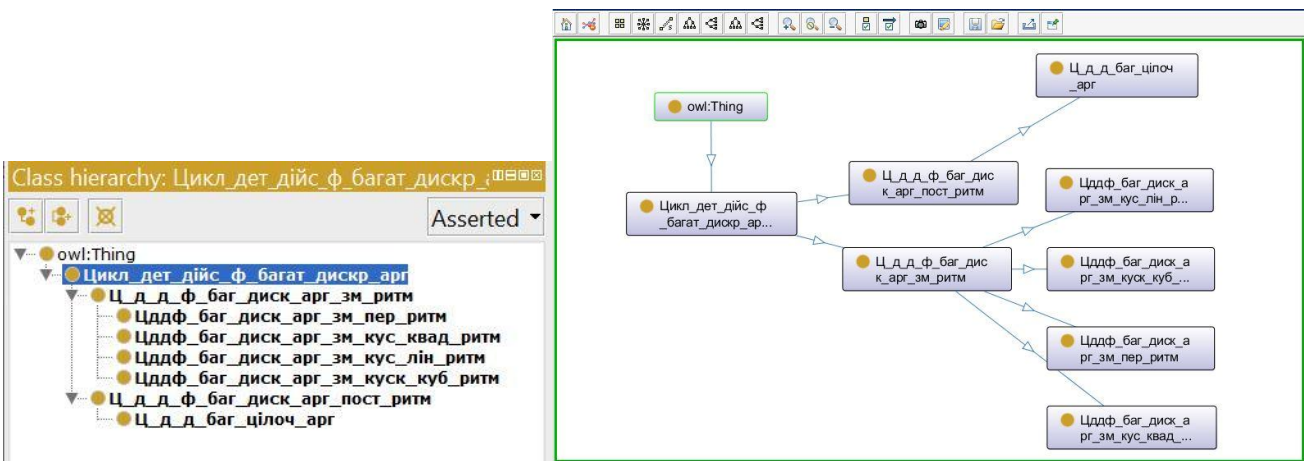


Рис. 3.34. Графічне подання в середовищі Protégé для класу «Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів»

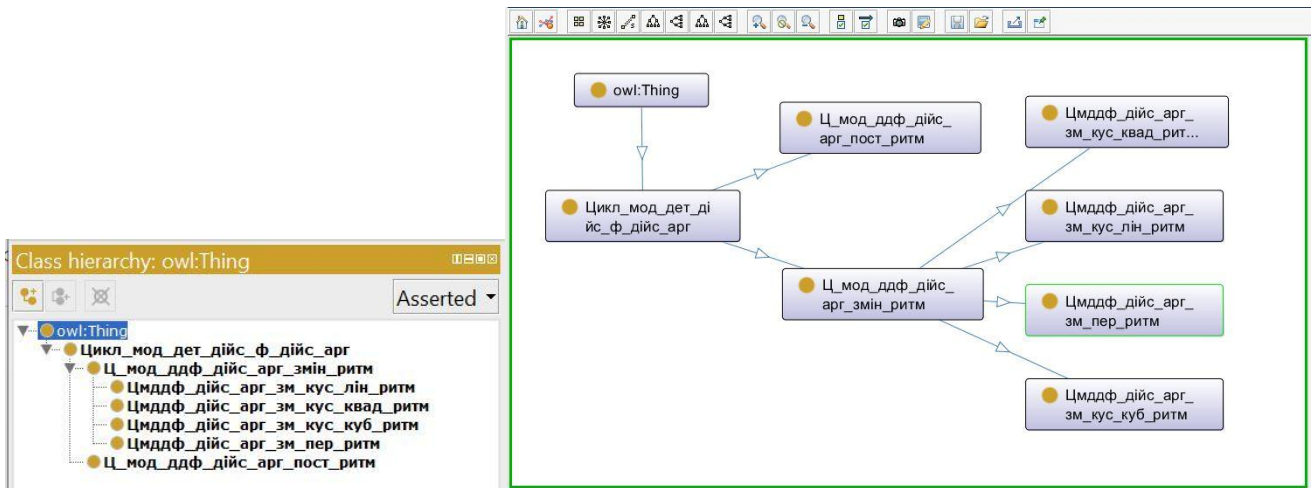


Рис. 3.35. Графічне подання в середовищі Protégé для класу «Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу»

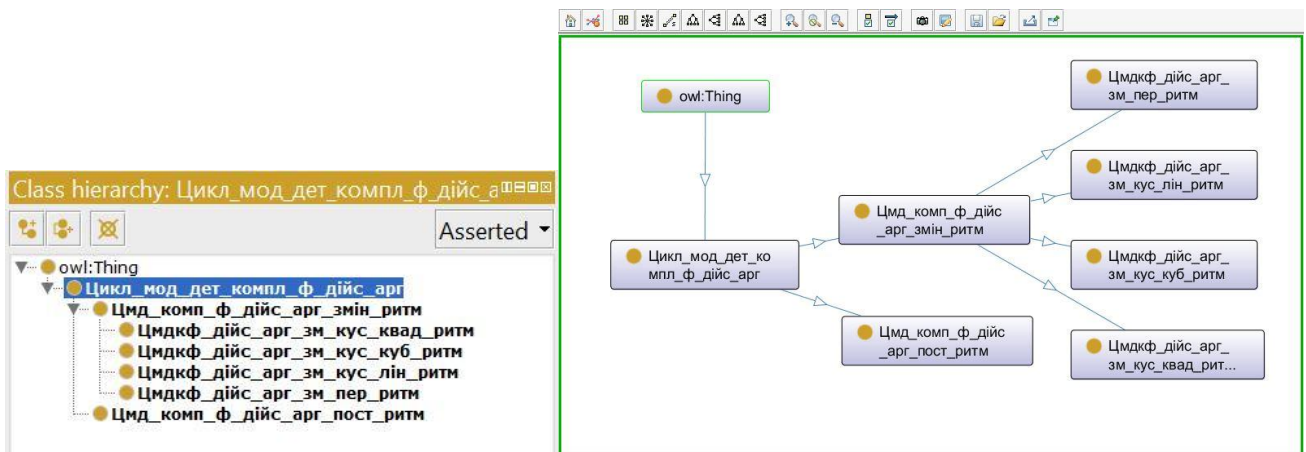


Рис. 3.36. Графічне подання в середовищі Protégé для класу «Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу»

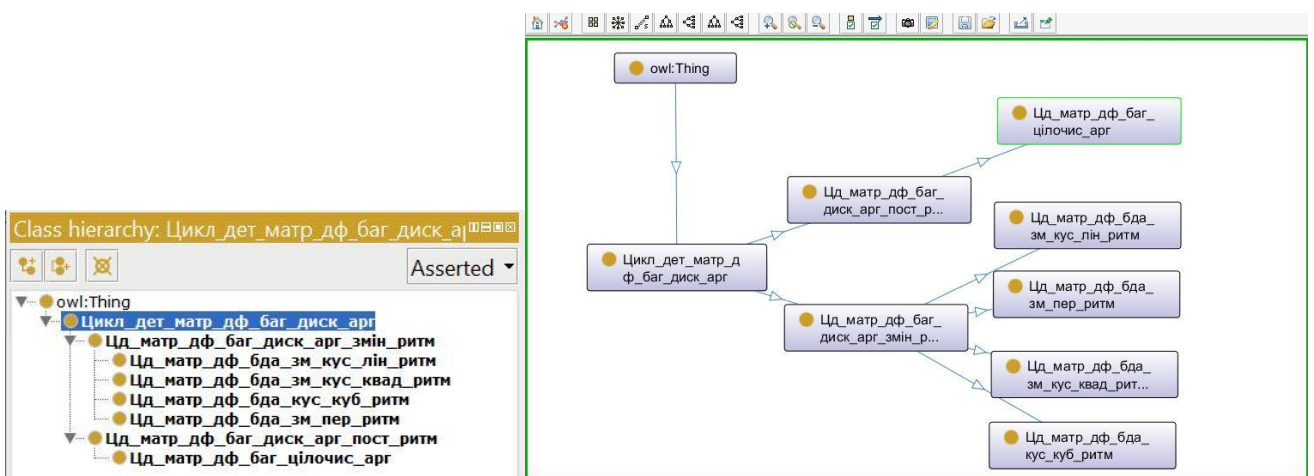


Рис. 3.37. Графічне подання в середовищі Protégé для класу «Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів»

Висновки до третього розділу

У третьому розділі дисертаційного дослідження отримано такі результати.

1. Як метод формування множини назв та означень класів циклічних функціональних відношень, а також як метод формування їх таксономії, що є основними складовими глосарію та множини відношень комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів, обґрунтовано та застосовано метод індукції (генерування, породження), що полягає у комбінаторному упорядкованому поєднанні назв видів областей значень, видів атрибутів циклічності, видів областей визначення та видів функцій ритму в означенні абстрактного циклічного функціонального відношення як узагальненої математичної моделі сигналів циклічної просторово-часової структури.

2. У середовищі Protégé, шляхом упорядкованого багатократного застосування логічної операції поділу родових понять на видові поняття, побудовано множини назв та таксономії видів областей значень, видів атрибутів циклічності, видів областей визначення та видів функцій ритму абстрактного циклічного функціонального відношення, що уможливило застосування методу індукції (генерування, породження) для побудови комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів.

3. У середовищі Protégé побудовано глосарій класів циклічних функціональних відношень як математичних моделей циклічних сигналів, шляхом упорядкованого комбінування назв видів області значень, видів атрибутів циклічності, видів області визначення, видів функції ритму в означенні абстрактного циклічного функціонального відношення. Даний підхід є підставою для розробки автоматизованого (подекуди автоматичного) породження назв та означень класів циклічних функціональних відношень в процесі побудови комп'ютерних онтологій предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

4. У середовищі Protégé побудовано таксономію класів циклічних функціональних відношень, що є важливою складовою комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів та уможливорює підвищення рівня структурованості, формалізованості та машинної інтерпретовності теорії циклічних функціональних відношень.

5. Розроблено метод побудови векторів властивостей класів циклічних функціональних відношень та векторів рівнів імплементації відповідних цим класам методів та програмних засобів, що задаються як атрибути класів комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів, побудованої в середовищі Protégé. Ці вектори повністю характеризують як кожен конкретний клас циклічних функціональних відношень, так і рівень розробленості технологій (методів та засобів) опрацювання та імітації циклічних сигналів у рамках їх математичної моделі у вигляді відповідного класу циклічних функціональних відношень, що важливо при розв'язанні задачах обґрунтованого вибору математичної моделі та технологій опрацювання (перетворення, аналіз (оцінювання атрибутів циклічності та атрибутів ритму), кластеризація, класифікація, прогнозування, регресія) та імітації (генерування) циклічних сигналів.

6. Розроблено прототип комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів в середовищі Protégé, яка до свого складу включає глосарій (множину назв та множину означень) та таксономію класів циклічних функціональних відношень, кожен із яких охарактеризовано вектором властивостей та вектором рівнів імплементації відповідних методів та програмних систем, що у компактній та зручній для сприйняття формі містять відомості про визначальні властивості існуючих математичних моделей, рівня розробки методів та засобів їх розпрацювання для вирішення типових завдань в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів». Зокрема, такі відомості є ваговою підставою для коректного та обґрунтованого вибору дослідником (проектувальником) математичних моделей, методів,

алгоритмів та програмних засобів, необхідних для вирішення конкретних завдань дослідження циклічних сигналів, а також можуть слугувати основою розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогнозування, прийняття рішень) циклічних сигналів в інформаційних системах.

РОЗДІЛ 4.
АРХІТЕКТУРИ ІНТЕГРОВАНОГО ОНТООРІЄНТОВАНОГО
ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ПРОТОТИП
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ДОВІДКОВОЇ СИСТЕМИ ПРЕДМЕТНОЇ
ОБЛАСТІ «МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ
СИГНАЛІВ»

У розділі 4 розроблено вимоги та узагальнену архітектуру інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів. На основі розроблених концептуальних та формальних моделей подання та організації знань, а також враховуючи структурно-функціональні аспекти побудованого прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» сформульовано вимоги та розроблено узагальнені архітектури інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи, експертної онтоорієнтованої системи підтримки прийняття рішень предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» та інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів. Із використанням web-фреймворку Django розроблено прототип інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Основні результати розділу опубліковано в працях [115, 179].

4.1. Вимоги та узагальнена архітектура інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Сформулюємо загальні вимоги до інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів (IOIC_МОЦС).

1. Розроблюване ІОІС_МОЦС як свої складові повинне включати такі системи: інформаційну онтоорієнтовану довідкову систему предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ІОДС_МОЦС); базу знань інтегрованого інформаційного середовища (БЗ_МОЦС), ядром якої є онтологія предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ОПО_МОЦС); експертну онтоорієнтовану систему підтримки прийняття рішень в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ЕОС_МОЦС), інформаційну систему із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів (ІСОА_МОЦС) (рис. 4.1).

2. ІОІС_МОЦС повинно базуватися на онтологічному підході до моделювання та специфікації знань в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

3. ІОІС_МОЦС повинне бути узгоджене (сумісне) із вже існуючими бібліотеками програм, системами та ресурсами в області моделювання та опрацювання сигналів та зображень, зокрема, сигналів та зображень із циклічною просторово-часовою структурами.

4. ІОІС_МОЦС повинне бути розроблено з використанням сучасних технологій управління та забезпечення якості програмних систем на основі міжнародних стандартів.

5. ІОІС_МОЦС повинне бути веб-орієнтованим та з можливістю його реалізації на обчислювальному кластері як віртуальної лабораторії віддаленої інженерії.

6. ІОІС_МОЦС повинне мати модульну структуру із можливістю нарощування функціоналу.

7. ІОІС_МОЦС повинне бути доступним (просте і не дороге) для використання, для чого необхідно провести його розробку із використанням вільного програмного забезпечення із відкритим кодом (зокрема на мові програмування Python).



Рисунок 4.1. Узагальнена схема взаємодії інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів із існуючими бібліотеками програм, системами та ресурсами в області моделювання та опрацювання сигналів та зображень

Узагальнена архітектура ІОІС_МОЦС подана на рис. 4.2.

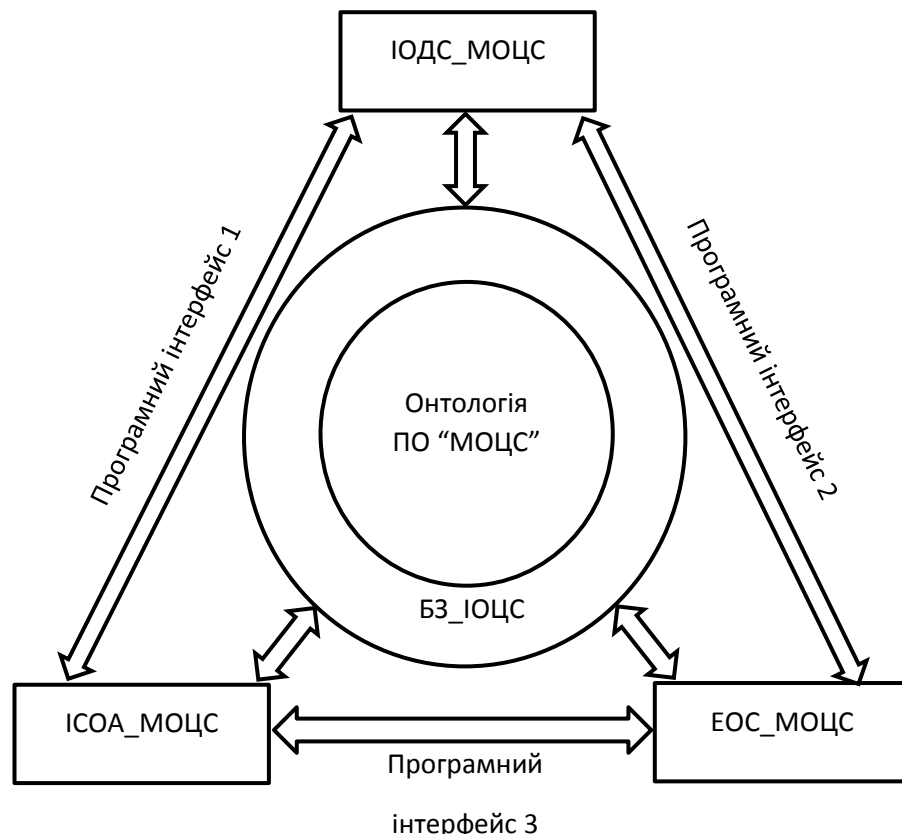


Рисунок 4.2. Узагальнена архітектура інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів

Детальніше розглянемо складові пропонованого ІОІС_МОЦС, а також їх узагальнені архітектури.

4.2. Вимоги до бази знань інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів

Важливою фундаментальною складовою інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів є його база знань БЗ_МОЦС, адже логіка функціонування усіх складових інтегрованого середовища суттєво залежить на попередньо розробленої його бази знань.

Основними вимогами до БЗ_МОЦС є наступні вимоги.

1. База знань БЗ_МОЦС повинна містити п'ять своїх основних складових: 1) база знань математичних моделей циклічних сигналів; 2) база знань типових завдань опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів; 3) база знань методів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів; 4) база знань засобів (програмних, програмно-апаратних, апаратних) опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів; 5) база знань результатів застосування моделей, методів та засобів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів у відповідних галузях медицини, техніки та економіки.

2. База знань математичних моделей циклічних сигналів повинна мати найвищий пріоритет (пріоритет 1); база знань типових завдань опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати другий за значенням пріоритет (пріоритет 2); база знань методів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати третій за значенням пріоритет (пріоритет 3); база знань засобів (програмних, програмно-апаратних, апаратних) опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати четвертий за значенням пріоритет (пріоритет 4); база знань результатів застосування моделей, методів та засобів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинна мати п'ятий за значенням пріоритет (пріоритет 5). Урахування пріоритетності складових БЗ_МОЦС дає змогу структурувати моделі, типові завдання, методи та засоби, а також результатів їх застосування на практиці.

3. Структура БЗ_МОЦС повинна бути узгодженою із аксіоматико-дедуктивною стратегією організації теорії циклічних функціональних відношень як теорії моделей циклічних сигналів.

4. База знань БЗ_МОЦС як своє ядро повинна мати онтологію предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ОПО_МОЦС).

4.3. Вимоги та узагальнена архітектура інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Інформаційна онтоорієнтована довідкова система предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ІОДС_МОЦС) призначена для надання доступу до відомостей про існуючі математичні моделі, методи та програмні засоби опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень.

Сформулюємо основні вимоги до ІОДС_МОЦС.

1. До складу ІОДС_МОЦС повинні входити: 1) графічний інтерфейс користувача; 2) програмні інтерфейси для доступу інформаційних систем ЕОС_МОЦС та ІСОА_МОЦС до контенту ІОДС_МОЦС; 3) база даних, що містить контент теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів; 4) модуль для редагування та поповнення контенту (див. рис. 4.3).

2. ІОДС_МОЦС повинна бути самостійною довідковою системою із можливістю доступу до її ресурсів інших складових інтегрованого середовища ІОІС_МОЦС, а саме: в процесі взаємодії із експертною системою ЕОС_МОЦС на проміжних етапах та на кінцевому етапі рекомендації оптимального класу математичних моделей, методів та засобів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів, надаючи відомості із довідника релевантно до етапу взаємодії користувача із ЕОС_МОЦС; в процесі взаємодії користувача із ІСОА_МОЦС, надаючи доступ до контенту на різних етапах опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів; в процесі взаємодії користувача із базою знань БЗ_МОЦС та онтологією ОПО_МОЦС інтегрованого інформаційного середовища. Тобто, доступ до ІОДС_МОЦС повинен бути у двох режимах: 1) у режимі повноцінної роботи із довідниковою системою; 2) у режимі часткового доступу до матеріалу довідника із діалогових вікон інших інформаційних систем інтегрованого середовища.

3. Контент ІОДС_МОЦС повинен бути структурованим за аксіоматико-дедуктивною стратегією організації контенту та на основі попередньо

розробленої онтології ОПО_МОЦС. Зокрема, структурна організація ІОДС_МОЦС визначається таксономіями моделей, методів та засобів опрацювання та комп'ютерної імітації, які входять до складу попередньо розробленої онтології ОПО_МОЦС. Тобто, розділи ІОДС_МОЦС мають назви класів циклічних функціональних відношень та відповідних методів і засобів їх імітації та опрацювання.

4. ІОДС_МОЦС повинна бути оснащеною засобами автоматичного генерування контенту із використанням технології текстових динамічних шаблонів згідно із підстратегією таксономічного поширення контенту із абстрактного логіко-семантичного ядра теорії моделювання та опрацювання циклічних сигналів у сукупність її часткових логіко-семантичних регіонів. А точніше, перша (абстрактна) частина електронного довідника повинна генеруватися автоматично, а друга (конкретно-часткова) повинна формуватися в «ручному» режимі. Таким чином, кожному класу математичних моделей відповідає свій текст-довідка, перша частина якої генерується автоматично, а друга у звичайному «ручному» режимі.

5. Довідкова система ІОДС_МОЦС повинна бути багатомовною із можливістю підключення інших мов.

6. Довідкова система ІОДС_МОЦС повинна бути оснащеною механізмом гіперпосилань для здійснення переходів між основними поняттями контенту.

Узагальнену архітектуру ІОДС_МОЦС подано на рис. 4.3.

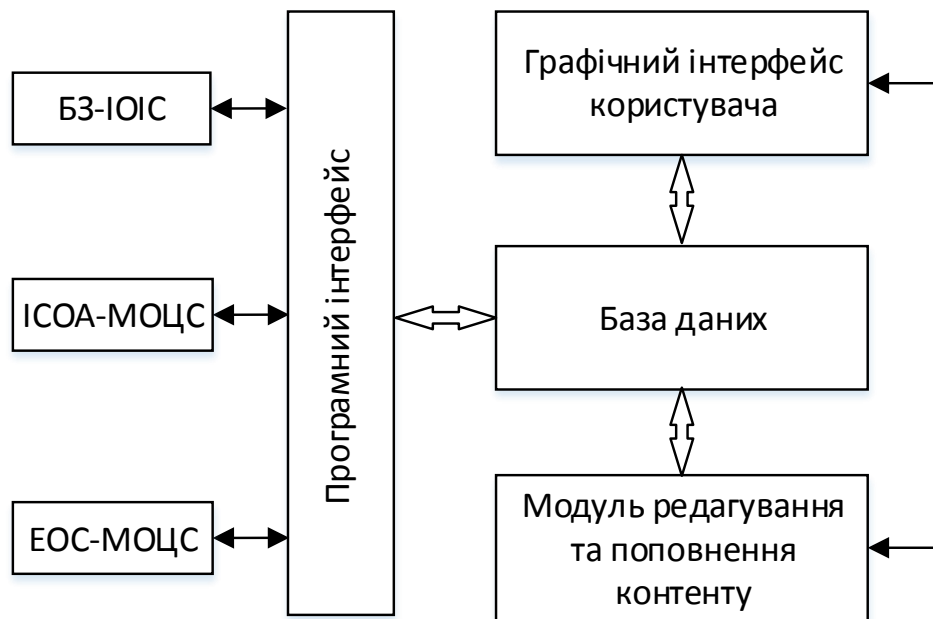


Рисунок 4.3. Узагальнена архітектура інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів

4.4. Вимоги та узагальнена архітектура експертної онтоорієнтованої системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Важливою складовою розроблюваного інтегрованого інформаційного середовища є експертна онтоорієнтована система підтримки прийняття рішень предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ЕОС_МОЦС). Основною метою функціонування експертної системи є формування обґрунтованих рекомендацій оптимальних у певному сенсі (за певним критерієм оптимальності) таких об'єктів: 1) клас циклічних функціональних відношень, у рамках якого існує відповідне циклічне функціональне відношення, яке можна використовувати як адекватну математичну модель досліджуваних циклічних сигналів; 2) конкретну математичну модель циклічних сигналів із цього класу циклічних функціональних відношень; 3) методи опрацювання і/або методи комп'ютерної імітації циклічних сигналів, які ґрунтуються на рекомендованій математичній моделі; 4) засоби (програмні, програмно-апаратні, апаратні), які автоматизують

(реалізують) відповідні методи опрацювання і/або методи комп'ютерної імітації циклічних сигналів.

Користувачем ЕОС_МОЦС можуть бути дослідники, інженери, які не є прямими висококваліфікованими фахівцями в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, але які мають потребу вирішувати задачі у цій галузі, зокрема, із використанням інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

До основних вимог, які висуваються до проекрованої експертної системи, належать такі вимоги.

1. До складу експертної системи ЕОС_МОЦС повинні входити: 1) графічний інтерфейс користувача та адміністратора (інженера зі знань); 2) програмні інтерфейси для доступу до інформаційних систем ІОДС_МОЦС, ІСОА_МОЦС та БЗ_МОЦС; 3) модуль формування рекомендованих рішень; 4) модуль пояснень та обґрунтувань.

2. Експертна система повинна бути самостійною інформаційною системою із можливістю доступу до інших складових інтегрованого середовища ІОІС_МОЦС: ІОДС_МОЦС, ІСОА_МОЦС та БЗ_МОЦС.

3. Експертна система повинна мати змогу дати обґрунтування своєму рішенню, пояснити його у вигляді логічного виведення із запиту (потреб) користувача.

4. База знань експертної системи повинна ґрунтуватися на попередньо розробленій онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

5. Процедура вибору оптимального класу математичних моделей експертної системи повинна здійснювати як на основі лише певного опитування користувача (ап'юріорної інформації), так і з одночасним залученням програмних засобів перевірки гіпотез (статистичних гіпотез) стосовно певних властивостей досліджуваних циклічних сигналів (апостеріорної інформації).

6. Оптимальний вибір конкретної моделі із відповідного класу та методів опрацювання повинен здійснюватися на основі процедури її структурної

чи структурно-параметричної ідентифікації методами машинного навчання за реальними даними – реалізаціями досліджуваних циклічних сигналів.

Узагальнену архітектуру ЕОС_МОЦС подано на рис. 4.4.

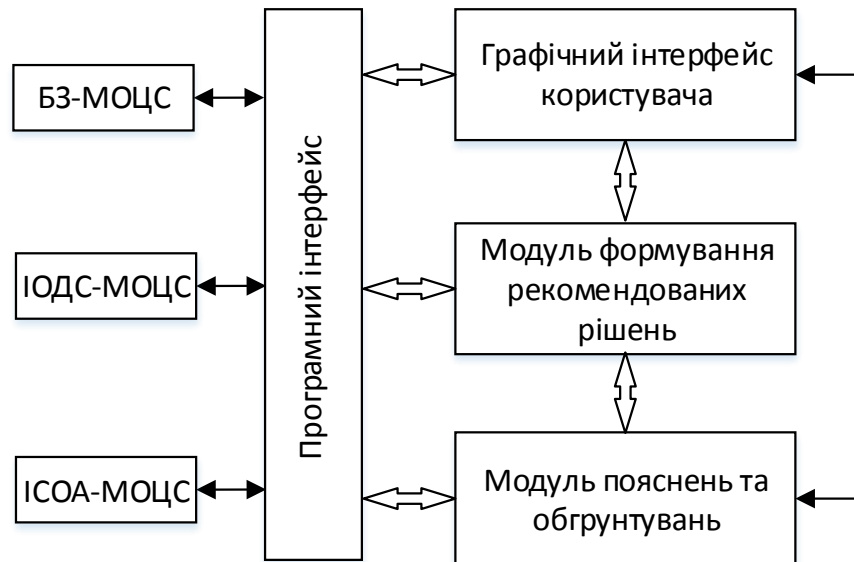


Рисунок 4.4. Узагальнена архітектура експертної онтоорієнтованої системи підтримки прийняття рішень предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» (ЕОС_МОЦС)

Виходячи із наведеного вище, можна виділити чотири базових етапи функціонування ЕОС_МОЦС, а саме: 1) етап вибору (рекомендації) релевантного запиту користувача (типу завдання опрацювання чи імітації циклічного сигналу) та адекватного просторово-часовій структурі циклічних сигналів класу математичних моделей як класу циклічних функціональних відношень; 2) етап вибору (структурно-параметричної ідентифікації) конкретної математичної моделі із цього класу із використанням технологій машинного навчання; 3) етап вибору засобів, які автоматизують (реалізують) відповідні методи опрацювання і/або методи комп'ютерної імітації циклічних сигналів та 4) етап вибору методів розв'язання завдань опрацювання та імітації циклічних сигналів (рис. 4.5).



Рисунок 4.5. Основні етапи функціонування EOC_MOQC підтримки прийняття рішень у галузі моделювання, опрацювання та комп'ютерної симуляції циклічних сигналів

4.5. Вимоги та узагальнена архітектура інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів

Найбільш складною та найбільшою за обсягом підсистемою, що входить до складу інтегрованого інформаційного середовища є інформаційна система із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів (ICOA_MOQC).

Основною метою функціонування ICOA_MOQC є автоматизація всіх відомих методів опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, що дасть змогу досліднику циклічних сигналів (процесів, явищ) та розробнику відповідних інформаційних систем їх аналізу та прогнозування ефективно проводити опрацювання та цифрову імітацію досліджуваних сигналів, а також створювати необхідні інформаційні системи для діагностики та прогнозування за цими сигналами.

До основних вимог, які висуваються до інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою, належать такі вимоги.

1. До складу ICOA_МОЦС повинні входити: 1) графічний інтерфейс користувача; 2) програмні інтерфейси для доступу до інформаційних систем ІОДС_МОЦС, ЕОС_МОЦС та БЗ_МОЦС; 3) інформаційна підсистема методів опрацювання циклічних сигналів; 4) інформаційна підсистема методів комп'ютерної імітації циклічних сигналів.

2. Інформаційна система із онтоорієнтованою архітектурою ICOA_МОЦС повинна бути самостійною інформаційною системою із можливістю доступу до інших складових інтегрованого середовища ІОІС_МОЦС: ІОДС_МОЦС, ЕОС_МОЦС та БЗ_МОЦС.

3. Архітектури інформаційних підсистем методів опрацювання та методів комп'ютерної імітації циклічних сигналів повинні бути онтоорієнтованими, тобто, сукупність модулів цих підсистем та їх взаємне упорядкування повністю визначається онтологією ОПО_МОЦС.

Узагальнену архітектуру ICOA_МОЦС подано на рис. 4.6.

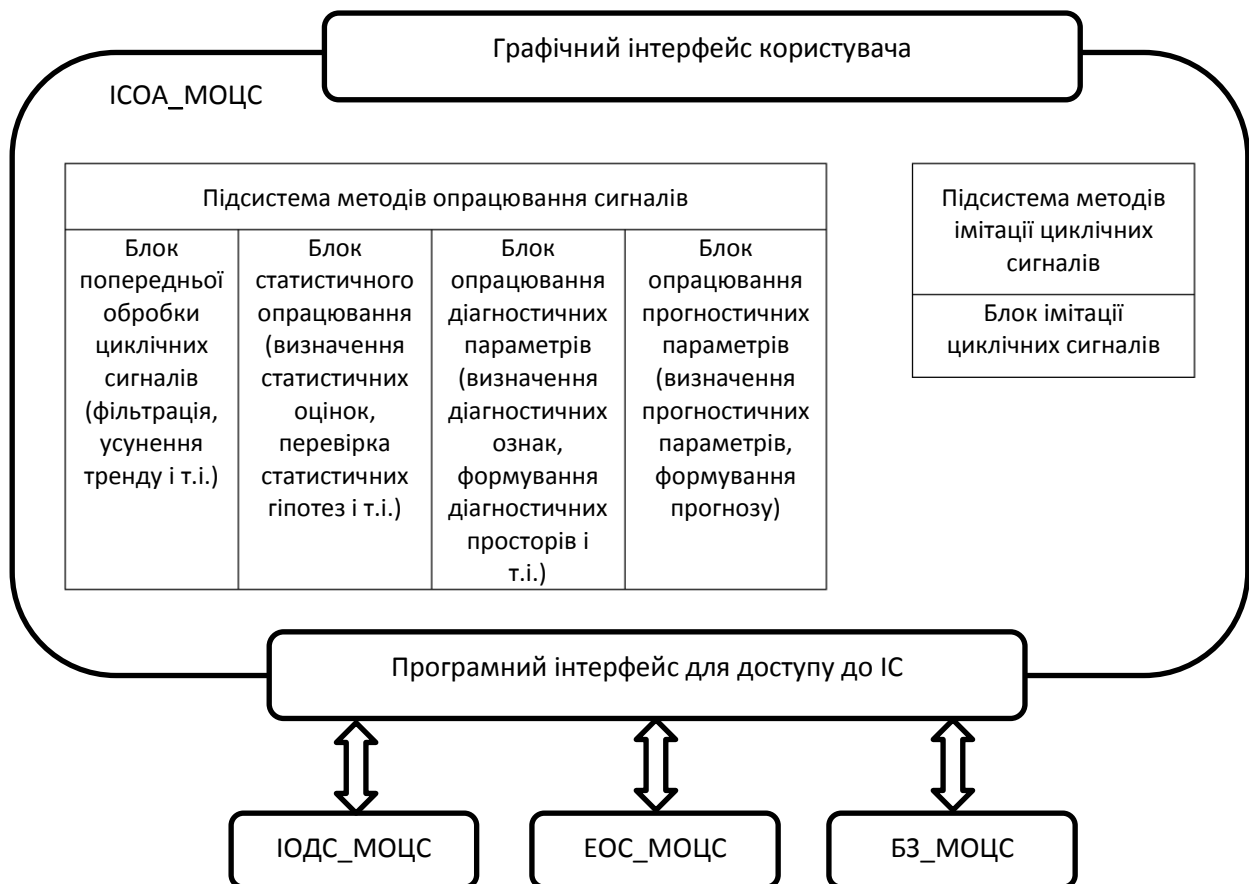


Рисунок 4.6. Узагальнена архітектура інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою ICOA_МОЦС

4.6. Вибір мови програмування та засобів розробки інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів

Для програмної реалізації інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів було вибрано web-фреймворк Django. Даний фреймворк є вільним програмним забезпеченням, написаним на мові Python, що дає змогу використовувати велику кількість бібліотек, написаних на цій мові. Перевагами Django є висока швидкість розробки програмного продукту, вбудований потужний і гнучкий інтерфейс адміністратора, а також наявність засобів інформаційної безпеки. Як система управління базами даних тут використовується MySQL, яка забезпечує хорошу масштабованість, безпеку, швидкість роботи та зручність в експлуатації. Обидва програмних продукти (Django, MySQL) є кросплатформенними та працюють на популярних операційних системах (Linux, Windows, OS/2, Solaris, Mac OS).

4.7. Розробка прототипу інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Розробку прототипу інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи було виконано за допомогою web-фреймворку Django, на основі вбудованого інтерфейсу адміністратора. Фрагмент коду програми подано в додатку В. Вхід у довідкову систему виконується за допомогою логіна та пароля (див. рис. 4.7).

Рис. 4.7. Приклад вигляду інтерфейсу, що забезпечує вхід до інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Після входу в інформаційну довідкову систему здійснюється відкриття панелі адміністрування, за допомогою якої можна керувати статтями довідкової системи, а також управляти користувачами та надавати їм ролі (об'єднувати у групи) (див. рис. 4.8).

Рис. 4.8. Приклад вигляду інтерфейсу, що забезпечує процес адміністрування інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

В прототипі довідкової системи реалізовано 2 облікових записи – адміністратор (chris_admin) та користувач (chris_user). Адміністратор має повні права до всіх об'єктів системи, тоді як користувач має права лише на перегляд статей інформаційної довідкової системи. Приклад інтерфейсу, що уможливорює додавання, видалення, редагування даних користувачів подано на рисунку 4.9.

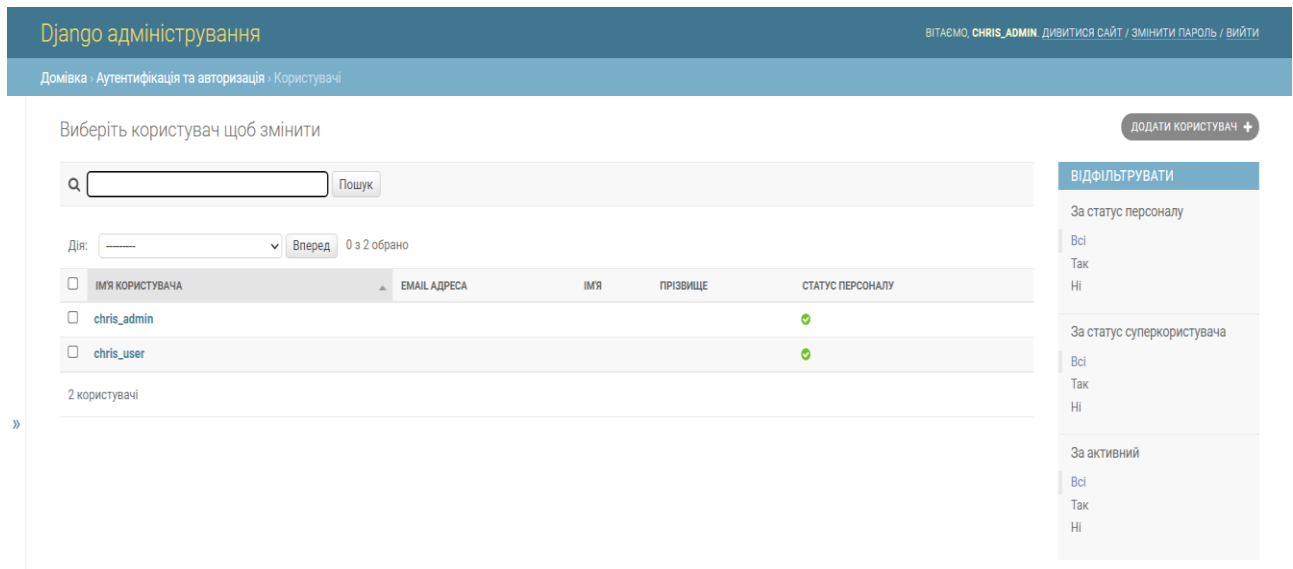


Рис. 4.9. Приклад вигляду інтерфейсу, що уможливорює додавання, видалення, редагування даних користувачів інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

В інтерфейсі адміністратора при переході в пункт «Статті» відкривається перелік назв статей, які містяться в інформаційній довідковій системі. Для зручності перегляду кількість назв статей на сторінці дорівнює 10 (див. рис. 4.10).

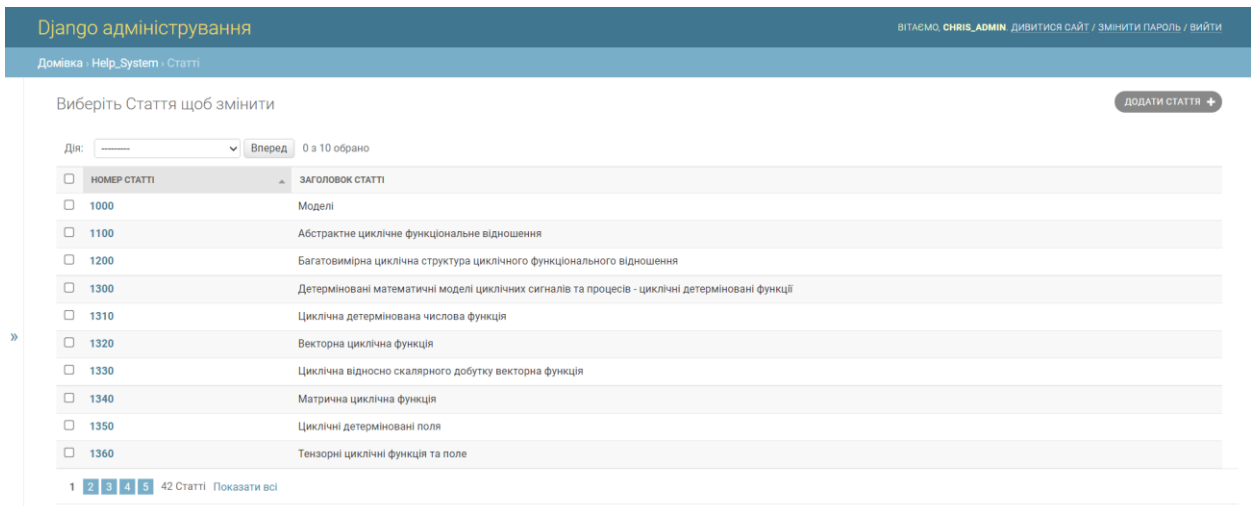


Рис. 4.10. Приклад вигляду інтерфейсу, що уможливорює перегляд назв статей інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Підхід до організації статей в довідковій системі наступний. Назви статей визначаються назвами класів циклічних функціональних відношень, методів їх опрацювання та програмних засобів, які реалізують (автоматизують) ці методи. Статті ієрархічно пов'язані та структуровані згідно із таксономією класів циклічних функціональних відношень. У верху ієрархії знаходяться 3 розділи – «Моделі», «Методи» та «Застосування», з номерами 1000, 2000 та 3000 відповідно. Статті, що належать до розділу «Моделі» (номер 1000), будуть мати номери 1100, 1200 і т.д. Для статті із номером 1100 «батьківською» статтею буде стаття із номером 1000, а її «дочірніми» статтями будуть статті з номерами 1110, 1120 і т.д. Таким чином, для розділу «Моделі» є можливість додавати статті з трьома рівнями вкладеності, так само, як і для інших розділів («Методи» та «Застосування»).

Для перегляду конкретної статті необхідно клікнути по номеру статті. Статті верхнього розділу не містять тексту, а також не містять посилання на «батьківську» статтю. В нижній частині інтерфейсу, фрагмент якого подано на рисунку 4.11 показані всі статті, що «підв'язані» до даної (поточної).

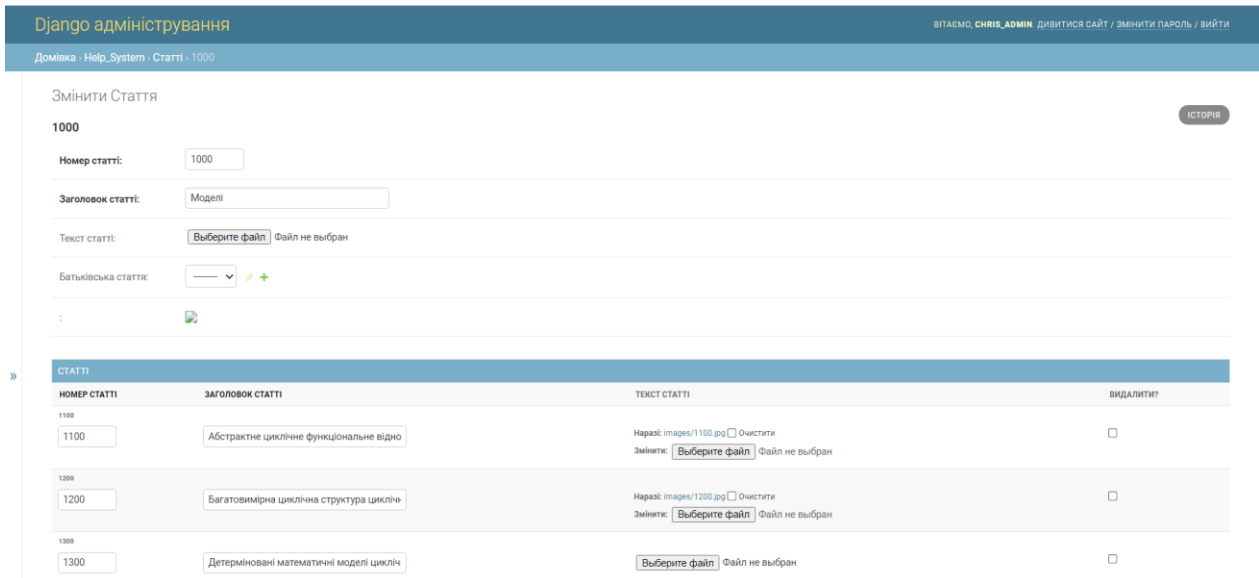


Рис. 4.11. Приклад вигляду інтерфейсу, що уможливорює перегляд статті верхнього розділу ієрархії статей інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Звичайна стаття містить посилання на батьківську статтю, текст статті, та посилання на дочірні статті (якщо вони є) (див. рис. 4.12).

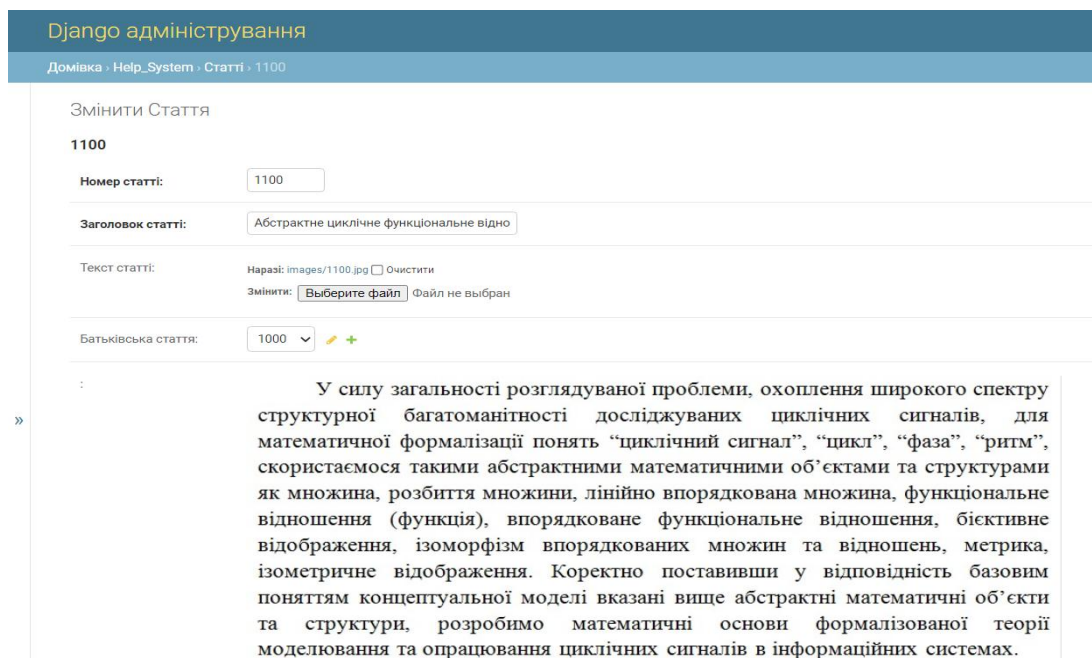


Рис. 4.12. Приклад вигляду інтерфейсу, що уможливорює перегляд «звичайної» статті інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Приклад інтерфейсу для реалізації додавання нової статті в довідкову систему подано на рисунку 4.13. Для додавання нової статті в форму потрібно ввести номер статті, її заголовок, текст статті, вибрати батьківську статтю.

The screenshot shows a Django administration page titled "Додати Стаття". The form contains the following fields:

- Номер статті: A text input field.
- Заголовок статті: A text input field.
- Текст статті: A text area with a "Виберіть файл" button and the text "Файл не вибран".
- Батьківська стаття: A dropdown menu with a plus sign icon.

Below the form is a table with the following structure:

СТАТТІ	НОМЕР СТАТТІ	ЗАГОЛОВОК СТАТТІ	ТЕКСТ СТАТТІ	ВИДАЛИТИ?
+ Додати ще Стаття				

At the bottom of the page, there are three buttons: "Зберегти і додати інше", "Зберегти і продовжити редагування", and "ЗБЕРЕГТИ".

Рис. 4.13. Приклад вигляду інтерфейсу, що уможливорює додавання нової статті в інформаційну онтоорієнтовану довідкову систему предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Якщо в поточній статті є дочірні статті, то їх також зручно додавати на даній формі (в нижній її частині). Дочірні статті автоматично будуть підв'язані до даної статті. При потребі їх також можна видаляти на даній формі. Для того, щоб редагувати дочірню статтю, потрібно перейти в форму переліку статей і натиснути на вкладку номера дочірньої статті.

При входженні в довідкову систему з правами звичайного користувача (не адміністратора) пункти меню для керування користувачами і групами вже недоступні, а для статей надано лише право для перегляду (див. рис. 4.14).

Django адміністрування

Адміністрування сайта

HELP_SYSTEM

Статті [Переглянути](#)

Недавні дії

Мої дії

Немає

Рис. 4.14. Приклад вигляду інтерфейсу для звичайного користувача інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Форма з переліком назв статей для звичайного користувача виглядає аналогічно як для адміністратора, з тією різницею, що не має кнопки «Додати статтю» (див. рис. 4.15).

Django адміністрування

Домівка > Help_System > Статті

Вибрати Стаття для перегляду

НОМЕР СТАТТІ	заголовок СТАТТІ
1000	Моделі
1100	Абстрактне циклічне функціональне відношення
1200	Багатовимірна циклічна структура циклічного функціонального відношення
1300	Детерміновані математичні моделі циклічних сигналів та процесів - циклічні детерміновані функції
1310	Циклічна детермінована числова функція
1320	Векторна циклічна функція
1330	Циклічна відносно скалярного добутку векторна функція
1340	Матрична циклічна функція
1350	Циклічні детерміновані поля
1360	Тензорні циклічні функція та поле

1 2 3 4 5 42 Статті Показати всі

Рис. 4.15. Приклад вигляду інтерфейсу для звичайного користувача при перегляді переліку назв статей інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

При перегляді статті верхнього рівня з дочірніми статтями зауважимо, що в режимі звичайного користувача не має змоги змінити поля ні основної статті, ні дочірних (див. рис. 4.16).

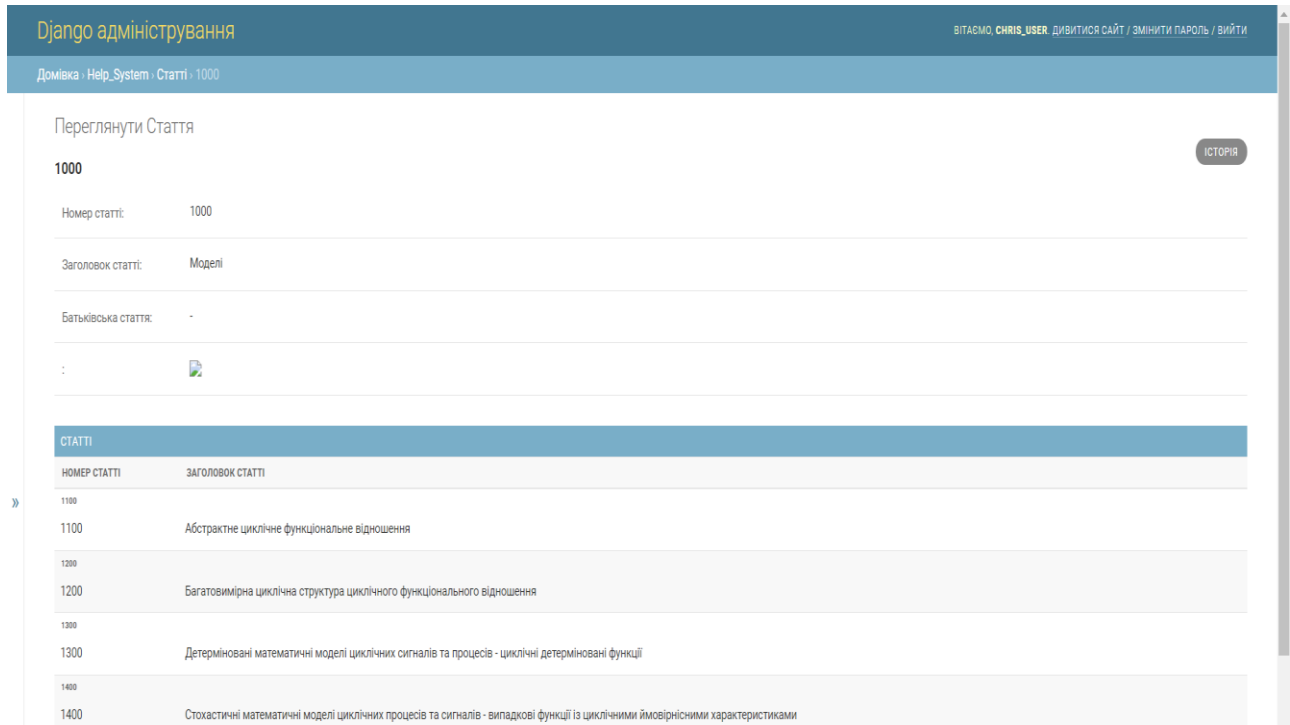


Рис. 4.16. Приклад вигляду інтерфейсу для звичайного користувача при перегляді статті верхнього розділу інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

В формі для перегляду «звичайної» статті в режимі звичайного користувача, всі поля – лише для читання (див. рис. 4.17).

Django адміністрування

Домівка · Help_System · Статті · 1200

Переглянути Стаття

1200

Номер статті:	1200
Заголовок статті:	Багатовимірна циклічна структура циклічного функціонального відношення
Батьківська стаття:	1000

»

Циклічне функціональне відношення є математичною моделлю циклічного сигналу із одновимірною циклічною структурою, однак у багатьох прикладних задачах, наприклад у задачах статистичного аналізу стохастично періодичних процесів, необхідно враховувати багатовимірну циклічну структуру, що потребує узагальнення отриманих вище результатів. З цією метою, наведено відомості про функціональне відношення, яке циклічне за множиною атрибутів [196], і яке формалізує поняття багатовимірної циклічної структури сигналу.

Нехай маємо циклічне за атрибутом $p_1: \Psi \rightarrow A_1$ функціональне відношення $f: \mathbf{W} \rightarrow \Psi$ із множиною циклів $\mathbf{D}_f^c = \{f_{c_m}, m \in \mathbf{Z}\}$ та множиною областей їх визначення $\mathbf{D}_W^c = \{W_{c_m} \subset \mathbf{W}, m \in \mathbf{Z}\}$. Розглянемо сімейство $\{f^{n_k}, k = \overline{1, K}\}$ n_k -кратних ($n_k \in \mathbf{N}$) упорядкованих декартових степенів функціонального відношення f самого на себе. Отже, f^{n_k} - це множина

$$\left\{ \left((t_j, f(t_j)), j = \overline{1, n_k} \right), (t_j, j = \overline{1, n_k}) \in \mathbf{W}^{n_k} \right\} \quad \text{всіх можливих кортежів}$$

Рис. 4.17. Приклад вигляду інтерфейсу для звичайного користувача при перегляді «звичайної» статті інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»

Таким чином, засобами адміністрування в інформаційній довідковій системі забезпечується розділення ролей на адміністратора та звичайного користувача, ефективна організація статей в ієрархічному порядку згідно із назвами та таксономією класів циклічних функціональних відношень та управління цими статтями.

Отримані у дисертаційній роботі результати були впроваджені у ТОВ «Сталий розвиток» (Любляна, Словенія), а також у навчальний процес на кафедрі комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Ці впровадження засвідчені відповідними актами, які наведені в додатку Г.

Висновки до четвертого розділу

У четвертому розділі дисертації отримано такі результати.

1. Сформульовано основні вимоги та розроблено узагальнену архітектуру інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що уможливлює ефективне системне вирішення цілого спектру важливих методологічних, методичних та технологічних завдань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, зокрема, суттєво спрощує, інтенсифікує (автоматизує) та підвищує ступінь достовірності процедури розробки математичного та програмного забезпечення інтелектуалізованих систем для потреб медицини, техніки та економіки.

2. Для програмної реалізації інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів було вибрано web-фреймворк Django, який написано на мові Python, та систему управління базами даних MySQL, що уможливило забезпечення високої швидкості розробки програмного продукту, наявність вбудованого багатофункціонального та гнучкого інтерфейсу адміністратора, а також наявність засобів інформаційної безпеки та кросплатформенність.

3. На основі розроблених концептуальних та формальних моделей подання та організації знань, а також враховуючи структурно-функціональні аспекти побудованого прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» сформульовано вимоги та розроблено узагальнені архітектури таких складових інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів: інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»; експертної онтоорієнтованої системи підтримки прийняття рішень предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», інформаційної

системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

4. Із використанням web-фреймворку Django на основі вбудованого інтерфейсу адміністратора розроблено прототип інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», функціонал якої через програмні засоби адміністрування забезпечує ефективний доступ до статей про математичні моделі та методи опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів, які організовано згідно із назвами та таксономією класів циклічних функціональних відношень, що є складовою комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано актуальне наукове завдання розробки концептуальних, формальних та машинно-інтерпретованих моделей подання та організації знань в інтегрованому онтоорієнтованому інформаційному середовищі для моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудови на їх основі прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що є ядром бази знань таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова система, експертна система підтримки прийняття рішень та система комп'ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Основні наукові й практичні результати полягають у наступному:

1. На основі огляду та аналізу сучасних наукових та технологічних досягнень в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, відомих онтологій та онтоорієнтованих інформаційних систем, показано необхідність розробки інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища для моделювання та опрацювання циклічних сигналів та обґрунтована актуальність наукового завдання дисертації, яке полягає в побудові комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів». Вирішення цього завдання дасть змогу упорядкувати, інтегрувати знання про моделі, методи та засоби опрацювання, комп'ютерної імітації циклічних сигналів із використанням детермінованого, стохастичного, нечіткого та інтервального підходів до їх математичного моделювання, а також сформує теоретичні та технологічні засади розробки таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова система, експертна система підтримки прийняття рішень та система комп'ютерного моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

2. Розроблено узагальнену концептуальну модель предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», яка на вербально-графічному рівні відображає структуру семантичного простору цієї предметної області та системно відображає відомості про математичні моделі, типові

завдання, методи, засоби (програмні, апаратні та програмно-апаратні) та результати опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, що сформувало змістовні підстави для побудови формальних та машинно-інтерпретованих онтологічних моделей знань в цій предметній області.

3. Розроблено узагальнені формальні моделі складових онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» у вигляді певних реляційних систем. Зокрема, більш детально розроблено формальну модель онтології математичних моделей циклічних сигналів, яка включає у себе скінченну множину назв класів циклічних функціональних відношень; функцію інтерпретації, що задає означення відповідних класів циклічних функціональних відношень як складових глосарію; відношення родового підпорядкування, яке задає таксономію (ієрархію) між різними класами циклічних функціональних відношень; вектор унарних відношень, які задають властивості (ознаки, атрибути) відповідного класу циклічних функціональних відношень, та восьмикомпонентний вектор, елементи якого характеризують стан (рівень) пропрацьованості (імплементації, розробки) відповідних інформаційних технологій опрацювання та комп'ютерної симуляції (генерування) циклічних сигналів у рамках відповідного класу циклічних функціональних відношень.

4. На основі концептуальної та формальної онтологічних моделей, а також, ґрунтуючись на методі індукції класів та таксономії циклічних функціональних відношень розроблено прототип комп'ютерної онтології математичних моделей циклічних сигналів в середовищі Protégé, яка до свого складу включає глосарій (множину назв та множину означень) та таксономію класів циклічних функціональних відношень, кожен із яких охарактеризовано вектором властивостей та вектором рівнів імплементації відповідних методів та програмних систем, що у компактній та зручній для сприйняття формі містять відомості про визначальні властивості існуючих математичних моделей, рівня розробки методів та засобів їх розпрацювання для вирішення типових завдань в предметній області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

Зокрема, такі відомості є ваговою підставою для коректного та обґрунтованого вибору дослідником (проектувальником) математичних моделей, методів, алгоритмів та програмних засобів, необхідних для вирішення конкретних завдань дослідження циклічних сигналів, а також можуть слугувати основою розробки онтоорієнтованих інформаційних систем для моделювання, генерування, опрацювання (аналіз, прогнозування, прийняття рішень) циклічних сигналів.

5. Сформульовано основні вимоги, розроблено узагальнену архітектуру та запропоновано web-фреймворк Django, який написано на мові Python, та систему управління базами даних MySQL як засоби розробки інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів, що уможлиблює ефективне системне вирішення цілого спектру важливих методологічних, методичних та технологічних завдань в галузі моделювання та опрацювання циклічних сигналів, зокрема, суттєво спрощує, інтенсифікує (автоматизує) та підвищує ступінь достовірності процедури розробки математичного та програмного забезпечення інтелектуалізованих систем для потреб медицини, техніки та економіки.

6. На основі розроблених концептуальних та формальних моделей подання та організації знань, а також враховуючи структурно-функціональні аспекти побудованого прототипу комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів» сформульовано вимоги та розроблено узагальнені архітектури таких складових інтегрованого онтоорієнтованого інформаційного середовища моделювання та опрацювання циклічних сигналів: інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи; експертної онтоорієнтованої системи підтримки прийняття рішень, інформаційної системи із онтоорієнтованою архітектурою для моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

7. Із використанням web-фреймворку Django на основі вбудованого інтерфейсу адміністратора розроблено прототип інформаційної онтоорієнтованої довідкової системи предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», функціонал якої через програмні засоби адміністрування

забезпечує ефективний доступ до статей про математичні моделі та методи опрацювання і комп'ютерної імітації циклічних сигналів, які організовано згідно із назвами та таксономією класів циклічних функціональних відношень, що є складовою комп'ютерної онтології предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Rahimpour M., Asl M. E., Merati M. R. ECG fiducial points extraction using QRS morphology and adaptive windowing for real-time ECG signal analysis, 2016 24th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), Shiraz. P. 1925–1930.
- [2] Gardner W. A. Cyclostationarity: Half a century of research. W. A. Gardner, A. Napolitano, L. Paura. Signal Processing. № 86 (2006). P. 639–697.
- [3] Tawfic I. S., Kayhan S. K. Improving recovery of ECG signal with deterministic guarantees using split signal for multiple supports of matching pursuit (SS-MSMP) algorithm, Computer Methods and Programs in Biomedicine, vol. 139, 2017. P. 39–50.
- [4] Gardner W. A. Exploitation of cyclostationarity for identifying the Volterra kernels of non-linear systems. W. A. Gardner, T. L. Archer. IEEE Transactions on Information Theory. 1993. № 39 (2). P. 535–542.
- [5] Saini I., Singh D., Khosla A. QRS detection using K-Nearest Neighbor algorithm (KNN) and evaluation on standard ECG databases. Journal of Advanced Research, Volume 4, Issue 4, July 2013. P. 331–344.
- [6] Bhaskar M. K., Mehta S. S., Lingayat N. S. Probabilistic Neural Network for the Automatic Detection of QRS-complexes in ECG using Slope. International Journal of Emerging Technology and Advance Engineering Volume 3, Issue 6, June 2013. P. 255–261.
- [7] Sizova N., Starkova O., Solodovnik G., Dolgova N. Development of a computer model for evaluating the alternative options of an investment and construction project under conditions of uncertainty and risk. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 6(3 (102)), November 2019. P. 66-76.

[8] Клинов В. Г. Научно-технический прогресс и большие циклы конъюнктуры мирового хозяйства. В. Г. Клинов. Проблемы прогнозирования. 2003. № 1.

[9] Резниченко Е. В. Методы краткосрочного прогнозирования финансовых рынков. Е. В. Резниченко, Е. А. Кочегурова. Известия Томского политехнического университета. 2007. Том. 311, № 6. С. 19–23.

[10] Najmudin N., Wahyudi S., Muharam H. Dynamic Bilateral Integration of Stock Markets and Its Driving Factors. Journal of Applied Economic Sciences XII(2): December 2018. P. 506-522.

[11] Царук О. В. Статистичне прогнозування державного боргу України на основі процесів Бокса – Дженкінса. О. В. Царук. Проблеми статистики: [зб. наук. праць]. К. НТК статистичних досліджень Держкомстату України. 2007. Вип. 8. С. 247–253.

[12] Соловьева Ю. С. Моделирование экономических процессов с применением нейросетевых технологий. Ю. С. Соловьева, Т. И. Грекова. Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. 2009. № 1 (6). С. 49–59.

[13] Савченко Є. А. Застосування МГУА для прогнозування індексу розвитку людського потенціалу України. Є. А. Савченко, А. Г. Кондирівна, О. В. Директоренко. Індуктивне моделювання складних систем. 2011. № 3. С. 183–190.

[14] Ревенко Д. С. Інформаційна технологія комплексного прогнозування економічних процесів з інтервальною невизначеністю. Д. С. Ревенко, В. О. Либа. Вестник Национального технического университета "ХПИ". 2010. Вып. 6. С. 157–163.

[15] Дзюбін С. В. Аналіз існуючих математичних моделей газоспоживання. С. В. Дзюбін, О. В. Мацюк. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2006. № 1. С. 29–32.

[16] Мацюк О. В. Вкладені стаціонарні послідовності періодичних випадкових процесів та їх використання в задачах обробки газонавантажень. О. В. Мацюк, М. В. Приймак. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2003. № 4 (7). С. 64–69.

[17] Pysar N., Dergacheva V., Bandura A., Pásztorová J. Composite fuel poverty index as a means to assess energy security of the country. *Economic Annals-XXI* 169(1-2), July 2018. P. 50-56.

[18] Yurish S. *Advances in Signal Processing: Reviews, Book Series, Vol. 1* Ifsa Publishing; First Edition edition. November 25, 2018. P. 550.

[19] Марценюк В. П., Кравець Н. О., Сверстюк А. С. Інформаційна система медико-біологічних досліджень: проект на основі Web-технологій. Український журнал телемедицини та медичної телематики. 2003. Т. 1, № 1. С. 57–60.

[20] Medvedev A., Proskurnikov A., Zhusubaliyev Z. Mathematical modeling of endocrine regulation subject to circadian rhythm. *Annual Reviews in Control*. Vol. 46. 2018. P. 148–164.

[21] McLachlan N. M., Grayden D. B. Enhancement of speech perception in noise by periodicity processing: A neurobiological model and signal processing algorithm. *Speech Communication*. Vol. 57. 2014. P. 114–125.

[22] Fumagalli F., Silver A. E., Tan Q., Zaidi N., Ristagno G. (2018), Cardiac rhythm analysis during ongoing cardiopulmonary resuscitation using the Analysis During Compressions with Fast Reconfirmation technology, *Heart Rhythm*, 15 (2). P. 248–255.

[23] Roonizi E., Sameni R. Morphological modeling of cardiac signals based on signal decomposition. *Computers in Biology and Medicine*, vol. 43 (10), 2013. P. 1453–1461.

[24] Jorna P. G. Spectral analysis of heart rate and psychological state: A review of its validity as a workload index. *Biological psychology*. 1992. V. 34. P. 237–257.

[25] Приймак М. Імітаційне моделювання періодичних ланцюгів. Маркова М. Приймак, С. Лупенко, Л. Щербак. Вимірювальна техніка та метрологія: міжвідомчий наук.–техн. збірник. Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2002. № 60. С. 7–10.

[26] Мацюк О. В. Моделі газонавантажень з врахуванням стохастичної періодичності та можливості їх статистичного аналізу. О. В. Мацюк, М. В. Приймак. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ. 2003. № 2 (7). С. 64–69.

[27] Мулик Н. В. Математична модель та метод прогнозу газоспоживання з урахуванням циклічності: дис. ... канд. техн. наук: 01.05.02. Тернопіль, 2006. 136 с.

[28] Мацюк О. Періодичний білий шум із змінним періодом. О. Мацюк, М. Приймак. Матеріали дванадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 14-15 травня 2008. Тернопіль, 2008. С. 123.

[29] Приймак М. В. Основи теорії моделювання, аналізу і прогнозу в автоматизованих системах управління ритмічними процесами: автореф. дис. ... докт. техн. наук. М. В. Приймак. К., 2001. 34 с.

[30] Бойко І. Ф. Оцінювання ймовірнісних характеристик динамічно введеного підпису для завдань аутентифікації особи в інформаційних системах. І. Ф. Бойко, С. А. Лупенко, А. М. Луцків. Електроніка та системи управління Національний авіаційний університет. Київ, 2006. № 4 (10). С. 15–27.

[31] Бойко І. Імітаційне моделювання динамічного підпису в задачах аутентифікації особи. І. Бойко, С. Лупенко, А. Луцків. Матеріали десятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 17-18 травня 2006. Тернопіль, 2006. С. 66.

[32] Ефремова Е. В. Передача информации с помощью динамического хаоса. Генерация и разделение сигналов: автореф. дис. ... к.ф.м.н.: 01.04.03. Е. В. Ефремова. М. ОТКЗ ФТИ, 2006. 21 с.

[33] Бойко І. Математична модель динамічного підпису з урахуванням його сегментної структури. І. Бойко, С. Лупенко, А. Луцків. Вісник Тернопільського державного технічного університету. Тернопіль, 2006. Т. 11, № 3. С. 152–162.

[34] Mingfu Z., Jianjun T., Changping L., Zhengliang L. On-line Signature Verification Using Local Shape Analysis. Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2003). P. 314–318.

[35] Kheir N. Systems Modeling and Computer Simulation, Second Edition. Marcel Dekke, Inc. New York 1996. P. 721.

[36] Барковський В., Барковська Н., Лопатін О. Теорія ймовірностей та математична статистика. ТОВ «Видавництво "Центр навчальної літератури"» 2017, 424 с.

[37] Micheas A. C. Theory of Stochastic Objects Probability, Stochastic Processes and Inference. January 24, 2018. P. 408.

[38] Gardner W. A. Cyclostationarity: Half a century of research, W. A. Gardner, A. Napolitano, L. Paura. Signal Processing. 2005. № 86 (2006). P. 639–697.

[39] Драган Я. П. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів, Я. П. Драган. Львів: Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, 1997. 361 с.

[40] Болотов В. Н. Генерирование сигналов с фрактальными спектрами, В. Н. Болотов, Ю. В. Ткач. Журнал технической физики. 2006. Т. 76, вып. 4. С. 91–98.

[41] Olofsson P., Andersson M. Probability, Statistics, and Stochastic Processes. USA, 2012. P. 553. ISBN: 9780470889749.

[42] Medvegyev P. Stochastic Integration Theory. New York, Oxford University Press, 2007. P. 628.

[43] Бочарников В. П. Fuzzy-технология: Математические основы. Практика моделирования в экономике, В. П. Бочарников. Санкт-Петербург: “Наука” РАН, 2001. 328 с.

[44] Hurd H. L. Periodically Correlated Random Sequences: Spectral Theory and Practice. The University of North Carolina at Chapel Hill Hampton University. October 5, 2007 P. 384.

[45] Javorskyj I., Isayev I., Kravets I. Algorithms for separating the periodically correlated random processes into harmonic series representation. 2007. 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2007), Poznan, Poland, September 3-7, 2007. P. 1857–1861.

[46] Kehtarnavaz N. Digital Signal Processing System Design: LabVIEW–Based Hybrid Programming: Second Edition. N. Kehtarnavaz. Elsevier: University of Texas at Dallas, 2008. 325 p.

[47] Yavorskyj I., Dzeryn O., Yuzefovych R. Discrete LS Estimates of Correlation Function of Bi-Periodically Correlated Random Signals. Radioelectron. Commun.Syst. 63 (2020). P. 136–155.

[48] Nematollahi A. R. Discrete time periodically correlated Markov processes, A. R. Nematollahi, A. R. Soltani Probability and Mathematical Statistics. 2000. No. 20 (1). P. 127–140.

[49] Smitha A., Naikb P., Tsaib C. Markov-switching model selection using Kullback–Leibler divergence. Journal of Econometrics 134 (2006). P. 553–577.

[50] Miller S., Childers D. Probability and Random Processes: With Applications to Signal Processing and Communications. 2nd Edition. USA 2012. P. 593. ISBN: 9780123869814.

[51] Красильников О. І. Процеси з незалежними періодичними приростами і періодичні білі шуми, О. І. Красильников, Б. Г. Марченко, М. В. Приймак. Відбір і обробка інформації. 1996. Вип. 10. С. 22–27.

[52] Стадник Н. Б. Застосування процесів авторегресії та ковзного середнього в задачах економетрії. Збірник матеріалів III науково-технічної

конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», ТНТУ ім. І. Пулюя, 24 квітня 2013 р., Тернопіль. С. 17.

[53] Awodey S. *Category Theory*, Steve Awodey. Oxford science publications. Clarendon press. Oxford New York 2006. P. 256.

[54] Yavorskyj I. N., Yuzefovych R. M., Kravets I. B., Zakrzewski Z. Least squares method in the statistic analysis of periodically correlated random processes. *Radioelectronics and Communications Systems* 54 (1), 2011. P. 45–59.

[55] Yaglom A. M. *Correlation Theory of Stationary and Related Random Functions Volume II: Supplementary Notes and References*. Springer, New York, 1986. P. 258.

[56] Лупенко, С. А. Моделювання лінійних періодичних випадкових процесів. С. А. Лупенко, М. В. Приймак, Л. М. Щербак. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2000. Т. 5, № 2. С. 97–103.

[57] Приймак М. В. Дослідження взаємозв'язку лінійних і періодичних випадкових процесів. М. В. Приймак. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький: Навчальна книга, 1999. № 2. С. 167–169.

[58] Марченко Б. Г. Лінійні періодичні процеси. Б. Г. Марченко. Пр. Ін.-ту електродинаміки НАН України. Електротехніка. 1999. С. 165–182.

[59] Oliver C. Ibe. *Fundamentals of Applied Probability and Random Processes*. 2nd Edition. Academic Press is an imprint of Elsevier. USA 2014. P. 431.

[60] Марченко Б. Г. Метод стохастических интегральных представлений и его приложения в радиотехнике. Б. Г. Марченко. К. Наукова думка, 1973. 192 с.

[61] Ляшенко А. С. Синтезированный квазипериодический двухуровневый сигнал как идеальный меандр с переменным периодом. А. С. Ляшенко. Сборник «Проблемы радиосвязи» ГУП «Полет». Н. Новгород, 2002.

[62] Драган Я., Євтух П., Сікора Л., Яворський Б. Поліперіодично корельовано випадкові процеси як адекватні моделі кратної ритміки природних явищ і технологічних процесів. Комп'ютерні технології друкарства. 2000. № 4. С. 269–290.

[63] Monson H. Hayes Statistical Digital Signal Processing and Modeling Wiley India Pvt. Limited, 2009 P. 624. ISBN 9788126516100.

[64] Марценюк В. П., Семенець А. В., Сверстюк А. С. Концептуальні підходи до інтегрованого середовища проведення наукових медико-біологічних досліджень. Штучний інтелект. 2003. № 2. С. 35–44.

[65] Yaglom A. M. Correlation Theory of Stationary and Related Random Functions: Volume I: Basic Results. New York, 2011. P. 526.

[66] Manouchehri T., Nematollahi A. R. Periodic autoregressive models with closed skew-normal innovations. Computational Statistics 34. (2019). P. 1183–1213.

[67] Лупенко С. А. Розвиток теорії моделювання та обробки циклічних сигналів в інформаційних системах: дис. ... докт. техн. наук: 01.05.02. Національний університет "Львівська політехніка". Львів, 2010. 479 с.

[68] Лупенко С.А. Теоретичні основи моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах. /С.А.Лупенко. — Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2016. — 344 с. (Наукова монографія).

[69] Лупенко С.А. Теоретичні основи моделювання та опрацювання циклічних сигналів в інформаційних системах. Друге видання. Стереотипне. Львів: Магнолія 2006, 2020. –с.340. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-108-5.

[70] Лупенко С.А. Математичне моделювання, методи опрацювання та комп'ютерної імітації циклічних сигналів серця на базі лінійних випадкових функцій. Львів: Видавництво «Магнолія – 2006», 2020. –194 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-183-2.

[71] Лупенко С.А. Математичне моделювання, методи аналізу та комп'ютерної імітації серцевого ритму при фізичних навантаженнях

пацієнта/С.А. Лупенко, Тиш Є.В.// Львів: Видавництво «Магнолія – 2006», 2020. –150 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-185-6.

[72] Лупенко С.А. Математичне моделювання та методи опрацювання синхронно зареєстрованих сигналів серця з використанням циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів /С.А. Лупенко, А.С. Сверстюк// Львів: Видавництво «Магнолія – 2006», 2020. –148 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-184-9.

[73] Лупенко С.А. Моделювання та опрацювання електрокардіосигналів у комп'ютерних системах діагностики функціонального стану серця на основі стохастичного підходу/С.А. Лупенко, Я.В. Литвиненко // Львів: Видавництво «Магнолія – 2006», 2020. –160 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-190-0.

[74] Лупенко С.А. Моделювання та методи аналізу і прогнозування циклічних економічних процесів в інформаційних системах підтримки прийняття рішень/ С.А. Лупенко, А.Б. Горкуненко // Львів: Видавництво «Магнолія – 2006», 2020. –140 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-184-9.

[75] Лупенко С.А., Стадник Н.Б., Литвиненко Я.В. Математичне моделювання та ефективні методи опрацювання циклічних сигналів на базі ізоморфних циклічних випадкових процесів / С.А. Лупенко, Н.Б. Стадник, Я.В. Литвиненко – Львів: Видавництво «Магнолія – 2006», 2021. – 197 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-000-0.

[76] Лупенко С.А., Литвиненко Я.В., Зозуля А.М. Математичне моделювання та методи опрацювання ритмокардіосигналів із підвищеною роздільною здатністю / Зозуля А.М., С.А. Лупенко, Я.В. Литвиненко, В.М. Триснюк. – Львів: Видавництво «Магнолія - 2006», 2021. – 143 с. (Наукова монографія). ISBN 978-617-574-000-0.

[77] Лупенко С. Циклічні функції та їх класифікація в задачах моделювання циклічних сигналів та коливних систем. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2005. № 1. С. 177–185.

[78] Лупенко С. А. Детерминированные и случайные циклические функции как модели колебательных явлений и сигналов: определение и классификация, С. А. Лупенко. Электронное моделирование Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины. Киев, 2006. Т. 28, № 4. С. 29–45.

[79] Луцик Н. Модель із подвійною стохастичністю у задачах математичного моделювання та аналізу циклічних процесів та сигналів, С. Лупенко, Н. Луцик, Н. Стадник. Матеріали IV науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології», ТНТУ ім. І. Пулюя, 15-16 травня 2014 р., Тернопіль. С. 10.

[80] Литвиненко Я. В. Методи ідентифікації сегментної та ритмічної структур циклічних сигналів в системах цифрової обробки даних : дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.05.02 / Ярослав Володимирович Литвиненко. — Тернопіль : ТНТУ, 2019. — 663 с.

[81] Лупенко С. А., Шаблій Н. Р., Стадник Н. Р., Зозуля А. М. Лінійні циклічні випадкові функції як математичні моделі сигналів та просторово-часових полів серця. Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 17-18 листопада 2016 р. Тернопіль: ТНТУ, 2016. С. 65–66.

[82] Lupenko S. Cyclic linear random process as a mathematical model of cyclic signals. S. Lupenko, N. Lutsyk, Yu. Lapusta. Acta mechanica et automatica, vol. 9 no 4, 2015. 01.12.2015. De Gruyter Open, France 2015. P. 219–224.

[83] Лупенко С. Оператор перетворення шкали в задачах моделювання та аналізу циклічних сигналів. С. Лупенко. Вісник Тернопільського державного технічного університету. Тернопіль, 2007. Т. 12, № 4. С. 141–152.

[84] Лупенко С. Циклічний випадковий процес із змінним ритмом. С. Лупенко. Матеріали дев'ятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 12-13 травня 2005. Тернопіль, 2005. С. 61.

[85] Лупенко С. А., Литвиненко Я. В., Стадник Н. Б., Зозуля А. М., Сверстюк А. С. Умовний циклічний випадковий процес дискретного аргументу як узагальнена математична модель циклічних сигналів із подвійною стохастичністю. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Луцьк, 2020. № 1 (38). С. 60–69.

[86] Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Zozulia A. The Modeling and Diagnostic Features in the Computer Systems of the Heart Rhythm Analysis with the Increased Informativeness. 2019 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT). IEEE, 2019. P. 121–124.

[87] Лупенко С. А., Дем'янчук Н. Р., Сверстюк А. С. Концептуально-методологічні основи імітаційного моделювання циклічних сигналів на ЕОМ із використанням їх моделі у вигляді циклічного функціонального відношення. Вимірjuвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2008. № 4. С. 101–111.

[88] Литвиненко Я. Підходи до сегментації циклічного випадкового процесу із зонною часовою структурою. Я. Литвиненко, С. Лупенко. Матеріали Всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 13-14 травня 2009. Тернопіль, 2009. С. 123.

[89] Стадник Н. Функції обчислювальної складності методів статистичного оцінювання кореляційної функції дискретного циклічного випадкового процесу. Н. Стадник, С. Лупенко. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. Т.: ТНТУ, 2020. С. 177–178.

[90] Lupenko S., Lytvynenko Ia., Stadnyk N. Method for reducing the computational complexity of processing discrete cyclic random processes in digital

data analysis systems. Serhii Lupenko; Iaroslav Lytvynenko; Nataliia Stadnyk. Scientific Journal of TNTU. Tern.: TNTU, 2020. Vol 97. No 1. P. 110–121.

[91] Lupenko S. The generator of cyclic signals for problems of testing of information systems. S. Lupenko, N. Demyanchuk. Proceedings of the Xth International Conference TCSET. 2010 Dedicated to the 165th Anniversary of Lviv Polytechnic National University. Lviv-Slavske. 2010. P. 298.

[92] Литвиненко Я., Лупенко С., Студена Ю. Методи статистичної обробки сигналів серця на базі їх моделі у вигляді у вигляді циклічного випадкового процесу із зонною часовою структурою. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2006. Т. 11, № 4. С. 189–200.

[93] Лупенко С. А. Статистичний сумісний аналіз кардіосигналів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. С. А. Лупенко, Я. В. Литвиненко, А. С. Сверстюк. Електроніка та системи управління Національний авіаційний університет. Київ, 2008. № 4 (18). С. 22–29.

[94] Лупенко С. А. Статистичні методи обробки циклічного випадкового процесу. С. А. Лупенко. Електроніка та системи управління Національний авіаційний університет. Київ, 2006. № 2 (8). С. 59–65.

[95] Лупенко С. А. Статистичні методи сумісної обробки сукупності ритмічно пов'язаних циклічних випадкових процесів. С. А. Лупенко. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. Хмельницький, 2005. № 2. С. 80–84.

[96] Lupenko S., Lutsyk N., Yasniy O., Sobaszek Ł. Statistical analysis of human heart with increased informativeness. Acta mechanica et automatica, vol. 12, 2018. P. 311–315.

[97] Lupenko S., Lytvynenko Ia., Stadnyk N., Osukhivska H., Kryvinska N. Modification of the Software System for the Automated Determination of Morphological and Rhythmic Diagnostic Signs by Electrocardio Signals. The 1st International Workshop on Intelligent Information Technologies & Systems of

Information Security (IntelITSIS-2020). Khmelnytskyi, Ukraine, vol-2623, June 10-12, 2020. P. 36–46.

[98] Lytvynenko I. V. The method of segmentation of stochastic cyclic signals for the problems of their processing and modeling. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering, Oil and Gas Measurement and Testing*. 2017, Vol. 4, No. 2. P. 93–103.

[99] Лупенко С. А. Модифікація програмного комплексу для автоматизованого визначення морфологічних та ритмічних діагностичних ознак за електоркардіосигналами. С. А. Лупенко, Я. В. Литвиненко, Н. Б. Стадник, Г. М. Осухівська, А. С. Сверстюк. *Науковий журнал Вісник Хмельницького національного університету №1 (281)*. ХНУ, Хмельницьк, 2020 р. С. 137–146.

[100] Луцик Н. С., Литвиненко Я. В., Лупенко С. А., Зозуля А. М. Програмний комплекс для морфологічного аналізу та аналізу серцевого ритму з підвищеною інформативністю. *Журнал Вінницького національного технічного університету «Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія»*. Вінниця, 2016. №1 (35). С. 13–22.

[101] Lupenko S., Lytvynenko Ia., Stadnyk N. Method of statistical processing of discrete cycle random processes, by their reduction to isomorphic periodic random sequences. 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT 2020) Deggendorf, Germany, 16–18 September 2020. P. 209–212.

[102] Lupenko S. Modeling and signals processing using cyclic random functions. S. Lupenko, O. Orobchuk, N. Stadnik, A. Zozulya. 13th IEEE International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), September 11-14 2018. Lviv, Ukraine, 2018. T. 1. P. 360–363.

[103] Лупенко С., Зозуля А., Сверстюк А., Стадник Н. Математичне моделювання та методи опрацювання сигналів серця на базі циклічних випадкових процесів та векторів. *Sciences and Education a New Dimension. Natural*

and Technical Sciences, VI (20), ISSUE 172, July 2018. Budapest 2018. P. 47–54.

[104] Лупенко С., Сверстюк А., Луцик Н., Стадник Н., Зозуля А. Умовний циклічний випадковий процес як математична модель коливних сигналів та процесів із подвійною стохастичністю. Поліграфія і видавнича справа. Printing and Publishing, No 1 (71) 2016. Львів, 2016. С. 147–159.

[105] Лупенко С. А. Лінійний циклічний випадковий процес як математична модель тестових коливних сигналів у інформаційних системах діагностики, аутентифікації та прогнозування. С. А. Лупенко, Н. С. Луцик, А. М. Лупенко, Н. Б. Стадник. Вісник Львівської політехніки «Інформаційні системи та мережі», № 783 2014 р., Львів. С.145–153.

[106] Лупенко, С. Математичне моделювання сигналів серця в задачах технічної кардіометрії на базі їх моделі у вигляді циклічного випадкового процесу. С. Лупенко, Ю. Студена. Вісник Тернопільського державного технічного університету. 2006. Т. 11, № 1. С. 134–142.

[107] Литвиненко Я. В. Імітаційне моделювання синхронно зареєстрованих сигналів серця на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів у задачах кардіодіагностики. Я. В. Литвиненко, С. А. Лупенко, Н. Р. Дем'янчук, А. С. Сверстюк. Електроніка та системи управління Національний авіаційний університет. Київ, 2009. № 4 (22). С. 141–148.

[108] Литвиненко Я. Статистичні методи обробки кардіосигналів на базі їх моделі у вигляді циклічного випадкового процесу. Я. Литвиненко, С. Лупенко, Ю. Студена. Матеріали десятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 17-18 травня 2006. Тернопіль, 2006. С. 76.

[109] Литвиненко Я. В. Діагностичні ознаки в комп'ютерних системах діагностики функціонального стану серцево-судинної системи людини. Я. В. Литвиненко, С. А. Лупенко, А. С. Сверстюк. Вісник Хмельницького

національного університету. Технічні науки. Хмельницький, 2010. № 1. С. 182–188.

[110] Лупенко С. А. Інформаційна технологія моделювання, аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів. А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Г. М. Осухівська, Н. Б. Стадник. Журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» № 2 2012р., м. Хмельницький. С. 167–176.

[111] Горкуненко А. Б. Імітаційне моделювання взаємопов'язаних економічних циклічних процесів на основі вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, Н. Р. Дем'янчук, Я. В. Литвиненко. Електроніка та системи управління. 2011. № 2. С. 133–141.

[112] Lytvynenko I. Segmentation and Statistical Processing of Geometric and Spatial Data on Self-Organized Surface Relief of Statically Deformed Aluminum Alloy. I. Lytvynenko, P. Maruschak, S. Lupenko, S. Panin. Applied Mechanics & Materials, 2015. Vol. 770. P. 288–293.

[113] Lytvynenko I.V., Lupenko S.A., Maruschak P.O., Panin S.V., Hats Yu.I. Diagnostic features of relief formations on the nanostructured titanium VT1-0 surface after laser shock-wave treatment. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2017, pp. 1-6.

[114] Maruschak P. O. Influence of deformation process in material at multiple cracking and fragmentation of nanocoating. P. O. Maruschak, S. V. Panin, S. R. Ignatovich, I. M. Zakiev, I. V. Konovalenko, I. V. Lytvynenko, V. P. Sergeev. Theoretical and Applied Fracture Mechanics, 2012. Vol. 57. P. 43–48.

[115] Lupenko S.A., Lytvynenko Ya.V., Hotovych V.A., Zozulia A.M., Chizoba Nnamene K., Volyanyk O.V. Concept of design, requirements and generalaized architectures of components of the integrated onto-oriented information environment of simulation and processing of cyclic signals. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, No 2. –Ternopil 2021. pp. 147-160.

[116] Lupenko S.A., Lytvynenko Ia.V., Zozulya A.M., Nnamene K. Chizoba, Volyanyk O.V. Models, methods and means of ontology development of cyclic signal processing. *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*, Vol. 8, Issue 1 (2021). pp. 8-17.

[117] Stadnyk N. An approach to constructing a taxonomic tree of models cyclic signals in the tasks of developing an onto-oriented system for decisions supporting of models choice. S. Lupenko, N. Stadnyk, Ch. Nnamene. 9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) June 5-7, 2019 in Ceske Budejovice, Czech Republic. pp. 89–92.

[118] Лупенко С. А. Комп'ютерна логіка. Підручник. С. А. Лупенко. Львів: Магнолія 2006, 2017. С. 640. ISBN 978-617-574-132-0.

[119] S. Lupenko, V. Pasichnyk, N. Kunanets, "Axiomatic-deductive strategy of the organization of the content of academic discipline in the field of information technologies using the ontological approach", in *Proc. 13th Int. Sci. and Tech. Conf. on Computer Sciences and Information Technologies*, Lviv, 2018, pp. 387-390.

[120] S. Lupenko, "Organization of the content of academic discipline in the field of information technologies using ontological approach", in *Proc. of the Int. Conf. Advances in intelligent systems and computing*, Lviv, 2018, pp. 312-327.

[121] Т. Гаврилова, В. Хорошевский. *Базы знаний интеллектуальных систем*. Санкт-Петербург, Россия: Питер, 2000.

[122] Т. Басюк, Д. Досин та В. Литвин. *Онтологічний інжиніринг*. Львів, Україна: Видавництво Львівської політехніки, 2017.

[123] B. Smith. *Ontology: philosophical and computational*. Oxford, USA: Blackwell Publishers, 2003.

[124] A. Gomez-Perez, M. Fernandez-Lopez, O. Corcho. *Ontological engineering*. London: Springer-Verlag, 2004.

[125] N. Guarino, "Formal ontology and information systems", in *Proc. 1st Int. Conf. on formal ontologies in information systems*, Italy, 1998, pp. 3-15.

[126] T. Gruber, "The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases", in *Proc. 2nd Int. Conf.*, 1991.

[127] J. Rasmussen, A. Pejtersen, L. Goodstein, *Cognitive Systems Engineering*. New York, USA: Wiley-Interscience, 1994.

[128] K. Vicente, *Cognitive work analysis: Toward safe, productive, and healthy computer-based work*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.

[129] Т. Гаврилова, К. Червинская, *Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем*. Москва, Россия: Радиои связь, 1992.

[130] С. Субботін, *Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень*. Запоріжжя, Україна: ЗНТУ, 2008.

[131] С. Горшков, *Введение в онтологическое моделирование*. Екатеринбург, Россия: ТриниДата, 2016.

[132] Ontology Description Capture Method. [Online]. Available: <http://www.idef.com/idef5-ontology-description-capture-method/>. Accessed on: Aug.17, 2018.

[133] M. Mochol, A. Cregan, D. Vrandecic, S. Bechhofer, "Exploring OWL and Rules - A Simple Teaching Case", *Int. J. of Teaching and Case Studies*, vol. 1, no. 4, pp. 299-318, 2008.

[134] N. Noy, M. Sintek, S. Decker, M. Crubézy, R. Ferguson, "Creating Semantic Web Contents with Protégé-2000", *IEEE Intelligent Systems*, vol. 16, pp. 60-71, 2001.

[135] N. Noy, R. Ferguson, M. Musen, "The Knowledge Model of Protégé-2000: Combining Interoperability and Flexibility", in *Proc. EKAW 2000, Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Berlin, 2000, pp.17–32.

[136] R. Iqbal, A. Murad, A. Mustapha N. Sharef, "An Analysis of Ontology Engineering Methodologies: A Literature Review", *Research J. Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 6, no. 16, pp. 48-62, 2013.

[137] M. Fernández-López, "METHONTOLOGY: From Ontological Art Towards Ontological *Engineering*", *Spring Symposium on Ontological Engineering of AAAI*, California, 1997, pp. 33-40.

[138] С. Щербак, *Руководство по созданию онтологий*. Киев, Украина: Техника, 2014.

[139] С. Козібрда, І. Цідило, *Онтологічний інжиніринг: методичні рекомендації*. Тернопіль, Україна: ТНПУ ім. В. Гнатюка, 2017.

[140] Б. Добров, Н. Лукашевич, О. Невзорова, Б. Федунов, "Методы и средства автоматизированного проектирования прикладной онтологии", *Изд. РАН. Теория и системы управления*, №2, с. 58-68, 2004.

[141] В. Литвин, В. Пасічник, Ю. Яцишин, *Інтелектуальні системи*. Львів, Україна: Новий Світ-2000, 2012.

[142] N. Guarino, "Some Ontological Principles for Designing Upper Level Lexical Resources", in *Proc. 1st Int.Conf. on Language Resources and Evaluation*, Granada, Spain, 1998, pp. 527-534.

[143] S. Nirenburg, Y. Wilks, "What's in a symbol: Ontology, representation, and language", *J. of Experimental and Theoretical Artif. Intell.*, vol. 13, no. 1, pp. 9-23, 2001.

[144] C. Calero, F. Ruiz, M. Piattini. *Ontologies for Software Engineering and Software Technology*, Berlin: Springer, 2006.

[145] P. Cimiano, *Ontology Learning and Population from Text: Algorithms, Evaluation and Applications*. New York: Springer Publishing Company, Inc., 2006.

[146] О. Палагін, М. Петренко, *Тлумачний онтологічний словник з інженерії знань*. Київ, Україна: НВП Інтерсервіс, 2017.

[147] F. Steimann, "The representation of roles in object-oriented and conceptual modelling", *Data and Knowledge engineering*, vol. 35, no. 1, pp. 83-106, 2000.

[148] J. Sowa, "Using a Lexicon of Canonical Graphs in a semantic interpreter", *Relational models of the lexicon*, Cambridge University press, Cambridge, 1988, pp.113-137.

[149] N. Guarino, "Concepts, attributes and arbitrary relations: some linguistic and ontological criteria for structuring knowledge base", *Data and Knowledge Engineering* 8, 1992, pp. 249–261.

[150] N. Guarino, C. Welty, "Ontological Analysis of Taxonomic Relationships", in *Proc. ER-2000. Int. Conf. Conceptual Modeling*. Springer Verlag, 2000.

[151] F. Loebe, "Abstract vs. Social Roles: A Refined Top-level Ontological Analysis", in *Proc. 2005 AAAI Fall Symposium 'Roles, an Interdisciplinary Perspective: Ontologies, Languages, and Multiagent Systems'*, AAAI Press, 2005, pp. 93–100.

[152] OWLIM Semantic Repository. [Online]. Available: <http://www.ontotext.com/owlim/>. Accessed on: Feb. 26, 2019.

[153] A. Gómez Pérez, M. Fernández López, O. Chorcho, *Ontological Engineering*. London, UK: Springer Verlag, 2004.

[154] Є. Буров, В. Пасічник, "Програмні системи на базі онтологічних моделей задач", *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Інформаційні системи та мережі*, №829, с. 36-57, 2015.

[155] Е. Темникова, "Разработка онтологии предметной области на примере учебного центра", *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование*, т. 4, № 40, с. 198-201, 2013.

[156] V. Psyché, O. Mendes, J. Bourdeau, "Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formation à distance", *Sci. et Tech. de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, vol. 10, 2003.

[157] О. Буров, О. Царик, "Використання онтологій навчального призначення для формування навчально-операційного середовища", *Вісник НАУ*. №1, с. 271-276, 2012.

[158] Gene ontology. [Online]. Available: <http://www.geneontology.org>. Accessed on: Sept. 12, 2018.

[159] SNOMED International. [Online]. Available: <http://www.snomed.org/>. Accessed on: Sept. 11, 2018.

[160] FMAOntology. [Online]. Available: <http://si.washington.edu/projects/fma>. Accessed on: Sept. 12, 2018.

[161] NCI Thesaurus. [Online]. Available: <https://ncit.nci.nih.gov/ncitbrowser>. Accessed on: Jan. 23, 2019.

[162] The OBO Foundry. [Online]. Available: www.obofoundry.org. Accessed on: Jan. 23, 2019.

[163] J. Jokiniemi, "Ontologies and Computational Methods for Traditional Chinese Medicine", M.S. thesis, School of Science & Technology, Aalto University, Finland, 2010.

[164] Y. Mao, Z. Wu, H. Chen, Z. Xu, "Context-based web ontology service for TCM information sharing", in *Proc. of IEEE Int. Conf. on web services*, 2005, pp. 699–705.

[165] P. Silva et al., "An expert system for supporting Traditional Chinese Medicine diagnosis and treatment", *Procedia Technology*, vol. 16, pp. 1487-1492, 2014.

[166] K. Fang, C. Chang, Y. Chi, "Leveraging Ontology-Based Traditional Chinese Medicine Knowledge System: Using Formal Concept Analysis", in *Proc. 9th Joint Conf. on Inf. Sci.*, 2006.

[167] R. Prasad, M. Darbari, D. Yagyasen, "Ontology-Based Knowledge Representation of Homeopathic Products", *Int. J. of Scientific & Engineering Research*, vol. 5, no. 2, 2014.

[168] Materials Design Ontology. [Online]. Available: <https://github.com/huanyu-li/Materials-Design-Ontology>. Accessed on: Jan. 25, 2020.

[169] Ontology-based multi-label classification of economic articles. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/220117824_Ontology-based_multi-label_classification_of_economic_articles. Accessed on: Jan. 25, 2020.

[170] Ontology-Directed Signal Processing Toolbox. [Online]. Available: https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc846013/m2/1/high_res_d/1018210.pdf. Accessed on: Jan. 26, 2020.

[171] OWL, язык веб-онтологий. Руководство. Рекомендация W3C. [Электронный ресурс]. Доступно: http://sherdim.rsu.ru/pts/semantic_web/REC-owl-guide-20040210_ru.html. Дата обращения: Apr 26, 2017.

[172] A. Cregan, M. Mochol, D. Vrandecic, S. Bechhofer, "Pushing the limits of OWL, Rules and Protégé. A simple example", in *Workshop OWL: Experiences and Directions*, Galway, Ireland, 2005.

[173] Д. Муромцев. *Онтологический инжиниринг знаний в системе Protégé*, СПб, Россия: СПб ГУ ИТМО, 2007.

[174] OWL Web Ontology Language Guide. W3C Recommendation. [Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/owl-guide/>. Accessed on: Dec.13, 2019.

[175] The Protégé Ontology Editor and Knowledge Acquisition System. [Online]. Available: <http://protege.stanford.edu/>. Accessed on: May 09, 2017.

[176] О. Овдей, Г. Проскудина, "Обзор инструментов инженерии онтологий", Российский научный электронный журнал «Электронные библиотеки», т. 7, № 4, 2004.

[177] S. Lupenko, A. Zozulya, Christopher Chizoba, N. Stadnyk, A. Horkunenko. Method of set and taxonomy induction of cyclic functional relations classes within the framework of axiomatic-deductive strategy of organization cyclic functional relations theory. *Scientific Journal Innovative Solutions In Modern Science*, № 4(48), 2021. pp. 92-106.

[178] Стадник Н. Класи еквівалентності циклічних випадкових процесів та співвідношення між ними. Н. Стадник, С. Лупенко, К. Чізова Ннамене. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та

прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. ТНТУ, 2020. с. 179–180. (Google Scholar).

[179] Christopher, N. C., Okemiri, H. A., Rita, A. U., Isaiah, A. I., Christian, O. K., & Chinazo I., C. Patient Data Integration: A Panacea for Effective Healthcare. *Journal of Computer Science*, 16(2) 2020. pp. 235-248.

ДОДАТКИ

Додаток А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:

1. S. Lupenko, A. Zozulya, Christopher Chizoba, N. Stadnyk, A. Horkunenko. Method of set and taxonomy induction of cyclic functional relations classes within the framework of axiomatic-deductive strategy of organization cyclic functional relations theory. Scientific Journal Innovative Solutions In Modern Science, № 4(48), 2021. pp. 92-106. (Індексується в CORE, WORLDCAT, BIELEFELD ACADEMIC SEARCH ENGINE, CITEFACTOR, Google Scholar).
2. Lupenko S.A., Lytvynenko Ya.V., Hotovych V.A., Zozulia A.M., Chizoba Nnamene K., Volyanyk O.V. Concept of design, requirements and generalaized architectures of components of the integrated onto-oriented information environment of simulation and processing of cyclic signals. Scientific Journal of the Ternopil National Technical University, No 2. –Ternopil 2021. pp. 147-160. (Індексується в Index Copernicus).
3. Lupenko S.A., Lytvynenko Ia.V., Zozulya A.M., Nnamene K. Chizoba, Volyanyk O.V. Models, methods and means of ontology development of cyclic signal processing. Journal of Hidrocarbon Power Engineering, Vol. 8, Issue 1 (2021). pp. 8-17. (Індексується в WORLDCAT, CITEFACTOR, Google Scholar).

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

4. Stadnyk N. An approach to constructing a taxonomic tree of models cyclic signals in the tasks of developing an onto-oriented system for decisions supporting of

models choice. S. Lupenko, N. Stadnyk, Ch. Nnamene. *9th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT) June 5-7, 2019 in Ceske Budejovice, Czech Republic*. pp. 89–92. (Індексується в Scopus).

5. Стадник Н. Класи еквівалентності циклічних випадкових процесів та співвідношення між ними. Н. Стадник, С. Лупенко, К. Чізова Ннамене. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“ до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. ТНТУ, 2020. с. 179–180. (Google Scholar).

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

6. Christopher, N. C., Okemiri, H. A., Rita, A. U., Isaiah, A. I., Christian, O. K., & Chinazo I., C. Patient Data Integration: A Panacea for Effective Healthcare. *Journal of Computer Science*, 16(2) 2020. pp. 235-248.

ТАКСОНОМІЯ КЛАСІВ ЦИКЛІЧНИХ ДЕТЕРМІНОВАНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВІДНОШЕНЬ

1. Циклічна детермінована функція як узагальнена математична модель циклічних сигналів за детермінованого підходу до їх опису.

1.1. Циклічна детермінована дійснозначна функція ($\Psi = \mathbf{R}$):

1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція ($\Psi = \mathbf{R}, p(f(t)) = f(t)$):

1.1.1.1. Циклічна за значенням детермінована дійснозначна функція одного аргументу:

1.1.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу:

1.1.1.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за значенням функція дійсного аргументу)

1.1.1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.1.1.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.1.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.1.1.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.1.1.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу:

1.1.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.1.1.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна послідовність.

1.1.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.1.1.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.1.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.1.1.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.1.1.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована дійснозначна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване дійснозначне (скалярне) поле):

1.1.2.1.1.2.4. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.1.2.1.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу:

1.1.2.1.2.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.1.2.1.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна послідовність.

1.1.2.1.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.1.2.1.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.2.1.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.2.1.2.2.3. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.2.1.2.2.4. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.1.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох аргументів (циклічне за модулем детерміноване дійснозначне (скалярне) поле):

1.1.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів:

1.1.2.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична функція багатьох дійсних аргументів)

1.1.2.2.1.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.1.2.2.1.2.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.2.2.1.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.2.2.1.2.3. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.2.2.1.2.4. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.1.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів:

1.1.2.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.1.2.2.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.1.2.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.1.2.2.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.2.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.2.2.2.3. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.2.2.2.4. Циклічна за модулем детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.1.3. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція ($\Psi = \mathbf{R}, p(f(t)) = (f(t))^2$):

1.1.3.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція одного аргументу:

1.1.3.1.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу:

1.1.3.1.1.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом значення функція дійсного аргументу)

1.1.3.1.1.2. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.1.3.1.1.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.3.1.1.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.3.1.1.2.3. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.3.1.1.2.4. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.1.3.1.2. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу:

1.1.3.1.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.1.3.1.2.1.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна послідовність.

1.1.3.1.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.1.3.1.2.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.3.1.2.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.3.1.2.2.3. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.3.1.2.2.4. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.1.3.2. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція багатьох аргументів (циклічне за квадратом значення детерміноване дійснозначне (скалярне) поле):

1.1.3.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів:

- 1.1.4.1.1.2.3. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.1.4.1.1.2.4. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.1.4.1.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу:
- 1.1.4.1.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:
- 1.1.4.1.2.1.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна послідовність.
- 1.1.4.1.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:
- 1.1.4.1.2.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.1.4.1.2.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.1.4.1.2.2.3. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.1.4.1.2.2.4. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.1.4.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох аргументів (циклічне за k -м степенем значення детерміноване дійснозначне (скалярне) поле):
- 1.1.4.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів:
- 1.1.4.2.1.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем значення функція багатьох дійсних аргументів)
- 1.1.4.2.1.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.1.4.2.1.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.1.4.2.1.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.1.4.2.1.2.3. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.1.4.2.1.2.4. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.1.4.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів:
- 1.1.4.2.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
- 1.1.4.2.2.1.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох цілочисельних аргументів.
- 1.1.4.2.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.1.4.2.2.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.1.4.2.2.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.1.4.2.2.2.3. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.1.4.2.2.2.4. Циклічна за k -м степенем значення детермінована дійснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.2.Циклічна детермінована комплекснозначна функція ($\Psi = C$):

1.2.1.Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція ($\Psi = C, p(f(t)) = f(t)$):

1.2.1.1. Циклічна за значенням детермінована комплекснозначна функція одного аргументу:

1.2.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу:

1.2.1.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за значенням комплекснозначна функція дійсного аргументу)

1.2.1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.2.1.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.1.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.1.1.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.1.1.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.2.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу:

1.2.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.2.1.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна послідовність.

1.2.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.2.1.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.1.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.1.1.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.1.1.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.2.1.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване комплекснозначне (скалярне) поле):

1.2.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів:

1.2.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за значеннями комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів)

1.2.1.2.1.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.2.1.2.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.1.2.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.1.2.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.1.2.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.2.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів:

1.2.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.2.1.2.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.2.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.2.1.2.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.1.2.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.1.2.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.1.2.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція ($\Psi = R, p(f(t)) = |f(t)|$):

1.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція одного аргументу:

1.2.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу:

1.2.2.1.1.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за модулем комплекснозначна функція дійсного аргументу)

1.2.2.1.1.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.2.2.1.1.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

- 1.2.2.1.1.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.2.2.1.1.2.3. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.2.2.1.1.2.4. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.2.2.1.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу:
- 1.2.2.1.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:
- 1.2.2.1.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна послідовність.
- 1.2.2.1.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:
- 1.2.2.1.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.2.2.1.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.2.2.1.2.2.3. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.2.2.1.2.2.4. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох аргументів (циклічне за модулем детерміноване комплекснозначне (скалярне) поле):
- 1.2.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів:
- 1.2.2.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів)
- 1.2.2.2.1.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.2.2.2.1.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.2.2.2.1.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.2.2.2.1.2.3. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.2.2.2.1.2.4. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.2.2.2.2. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів:
- 1.2.2.2.2.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
- 1.2.2.2.2.1.1. Циклічна за модулем детермінована комплекснозначна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.2.3.2. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох аргументів (циклічне за квадратом значення детерміноване комплекснозначне (скалярне) поле):

1.2.3.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів:

1.2.3.2.1.1. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом значення комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів)

1.2.3.2.1.2. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.2.3.2.1.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.3.2.1.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.3.2.1.2.3. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.3.2.1.2.4. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.2.3.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів:

1.2.3.2.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.2.3.2.2.1.1. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.2.3.2.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.2.3.2.2.2.1. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.3.2.2.2.2. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.3.2.2.2.3. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.3.2.2.2.4. Циклічна за квадратом значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.2.4. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція ($\Psi = \mathbf{R}, p(f(t)) = (f(t))^k$):

1.2.4.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція одного аргументу:

1.2.4.1.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу:

1.2.4.1.1.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем значення комплекснозначна функція дійсного аргументу)

1.2.4.1.1.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.2.4.2.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.2.4.2.2.1.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.2.4.2.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.2.4.2.2.2.1. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.2.4.2.2.2.2. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.2.4.2.2.2.3. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.2.4.2.2.2.4. Циклічна за k -м степенем значення детермінована комплекснозначна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.3. Циклічна детермінована векторна дійснокомпонентна функція ($\Psi = \mathbf{R}^n$).

1.3.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція ($\Psi = \mathbf{R}^n, p(f(t)) = f(t)$):

1.3.1.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.3.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.3.1.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за значенням векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.3.1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.3.1.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.3.1.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.3.1.1.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.3.1.1.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.3.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.3.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.3.1.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна послідовність.

1.3.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.3.1.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

- 1.3.1.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.3.1.1.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.3.1.1.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.3.1.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване векторне дійснокомпонентне поле):
- 1.3.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:
- 1.3.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за значеннями векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)
- 1.3.1.2.1.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.3.1.2.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.3.1.2.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.3.1.2.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.3.1.2.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.3.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:
- 1.3.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
- 1.3.1.2.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.
- 1.3.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.3.1.2.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.3.1.2.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.3.1.2.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.3.1.2.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.3.2. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція ($\Psi =$

$$\mathbf{R}^n, p(f(t)) = \|f(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i(t))^2}:$$

- 1.3.2.2.1.2.3. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.3.2.2.1.2.4. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.3.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:
- 1.3.2.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
- 1.3.2.2.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.
- 1.3.2.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.3.2.2.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.3.2.2.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.3.2.2.2.2.3. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.3.2.2.2.2.4. Циклічна за нормою детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.3.3. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція ($\Psi = \mathbf{R}^n, p(f(t)) = \|f(t)\|^2$):
- 1.3.3.1. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція одного аргументу:
- 1.3.3.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:
- 1.3.3.1.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом норми векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)
- 1.3.3.1.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:
- 1.3.3.1.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.3.3.1.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.3.3.1.1.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.3.3.1.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.3.3.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу:
- 1.3.3.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.3.3.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.3.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція ($\Psi = \mathbf{R}^n$, $p(f(t)) = \|f(t)\|^k$):

1.3.4.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.3.4.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.3.4.1.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем норми векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.3.4.1.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.3.4.1.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.3.4.1.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.3.4.1.1.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.3.4.1.1.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.3.4.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.3.4.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.3.4.1.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна послідовність.

1.3.4.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.3.4.1.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.3.4.1.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.3.4.1.2.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.3.4.1.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.3.4.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне за k -м степенем норми детерміноване векторне дійснокомпонентне поле):

1.3.4.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:

1.3.4.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем норми векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)

1.3.4.2.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.3.4.2.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.3.4.2.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.3.4.2.1.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.3.4.2.1.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.3.4.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.3.4.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.3.4.2.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.3.4.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.3.4.2.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.3.4.2.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.3.4.2.2.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.3.4.2.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.3.5. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція ($\Psi = \mathbf{R}^n, p(f(t)) = (f(t_1), f(t_2)) = \sum_{i=1}^N f_i(t_1) \cdot f_i(t_2)$):

1.3.5.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.3.5.1.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.3.5.1.1.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за скалярним добутком векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.3.5.1.1.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.3.5.1.1.2.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.3.5.1.1.2.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.3.5.1.1.2.3. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.4.3.2.2.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.4.3.2.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.4.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція ($\Psi = C^n$, $p(f(t)) = \|f(t)\|^k$):

1.4.4.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.4.4.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.4.4.1.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем норми векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.4.4.1.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.4.4.1.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.4.4.1.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.4.4.1.1.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.4.4.1.1.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.4.4.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.4.4.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.4.4.1.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна послідовність.

1.4.4.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.4.4.1.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.4.4.1.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.4.4.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована векторна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.4.5. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція ($\Psi = C^n$, $p(f(t)) = (f(t_1), f(t_2)) = \sum_{i=1}^N f_i(t_1) \cdot f_i(t_2)$):

1.4.5.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.4.5.1.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.4.5.1.1.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за скалярним добутком векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.4.5.1.1.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.4.5.1.1.2.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.4.5.1.1.2.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.4.5.1.1.2.3. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.4.5.1.1.2.4. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.4.5.1.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.4.5.1.2.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.4.5.1.2.1.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна послідовність.

1.4.5.1.2.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.4.5.1.2.2.1. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.4.5.1.2.2.2. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.4.5.1.2.2.3. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.4.5.1.2.2.4. Циклічна за скалярним добутком детермінована векторна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.5.1.2.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.5.1.2.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.1.2.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.1.2.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.5.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.5.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.5.1.2.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.5.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.5.1.2.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.5.1.2.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.1.2.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.1.2.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.5.2. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція ($\Psi =$

$$\mathbf{M}_{nm}(\mathbf{R}), p(f(t)) = \|f(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i(t))^2}:$$

1.5.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.5.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.5.2.1.1.1. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за нормою матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.5.2.1.1.2. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.5.2.1.1.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.5.2.1.1.2.2. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.2.1.1.2.3. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.2.1.1.2.4. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.5.2.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.2.2.2.3. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.2.2.2.4. Циклічна за нормою детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.5.3. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція ($\Psi = M_{nm}(R)$, $p(f(t)) = \|f(t)\|^2$):

1.5.3.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.5.3.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.5.3.1.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом норми матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.5.3.1.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.5.3.1.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.5.3.1.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.3.1.1.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.3.1.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.5.3.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.5.3.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.5.3.1.2.1.1. Циклічна за квадратом норми матрична дійснокомпонентна дійснозначна послідовність.

1.5.3.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.5.3.1.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.5.3.1.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.3.1.2.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.3.1.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.5.4.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.5.4.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.5.4.2.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.5.4.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.5.4.2.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.5.4.2.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.5.4.2.2.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.5.4.2.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.6. Циклічна детермінована матрична комплекснокомпонентна функція ($\Psi = M_{nm}(C)$).

1.6.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція ($\Psi = M_{nm}(C)$, $p(f(t)) = f(t)$):

1.6.1.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.6.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.6.1.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за значенням матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.6.1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.1.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.1.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.1.1.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.1.1.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.6.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.6.1.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна послідовність.

1.6.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція ($\Psi = M_{nm}(C)$, $p(f(t)) = \|f(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i(t))^2}$):

1.6.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.6.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.6.2.1.1.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за нормою матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.6.2.1.1.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.2.1.1.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.2.1.1.2.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.2.1.1.2.3. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.2.1.1.2.4. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.2.1.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.6.2.1.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.6.2.1.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна послідовність.

1.6.2.1.2.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.2.1.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.2.1.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.2.1.2.2.3. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.2.1.2.2.4. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.2.2. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне за модулем детерміноване матричне комплекснокомпонентне поле):

1.6.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:

1.6.2.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за нормою матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)

1.6.3.1.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.3.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.6.3.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.6.3.1.2.1.1. Циклічна за квадратом норми матрична комплекснокомпонентна дійснозначна послідовність.

1.6.3.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.3.1.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.3.1.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.3.1.2.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.3.1.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.3.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне за квадратом норми детерміноване комплекснокомпонентне поле):

1.6.3.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:

1.6.3.2.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом норми матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)

1.6.3.2.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.6.3.2.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.3.2.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.3.2.1.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.3.2.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.6.3.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.6.3.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.6.3.2.2.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.6.3.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.6.3.2.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.3.2.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.3.2.2.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.3.2.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.6.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція ($\Psi = M_{nm}(C)$, $p(f(t)) = \|f(t)\|^k$):

1.6.4.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.6.4.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.6.4.1.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем норми матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.6.4.1.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.4.1.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.4.1.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.4.1.1.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.4.1.1.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.4.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.6.4.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.6.4.1.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна послідовність.

1.6.4.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.6.4.1.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.4.1.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.4.1.2.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.4.1.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.6.4.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне за k -м степенем норми детерміноване векторне комплекснокомпонентне поле):

1.6.4.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:

1.6.4.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем норми матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)

1.6.4.2.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.6.4.2.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.4.2.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.4.2.1.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.4.2.1.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.6.4.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.6.4.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.6.4.2.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.6.4.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.6.4.2.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.6.4.2.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.6.4.2.2.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.6.4.2.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована матрична комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.7. Циклічна детермінована тензорна дійснокомпонентна функція ($\Psi = T_{nm}(\mathbf{R})$).

1.7.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція ($\Psi = T_{nm}(\mathbf{R}), p(f(t)) = f(t)$):

1.7.1.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.7.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.7.1.1.1.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за значенням тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.7.1.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.7.1.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.7.1.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.7.1.1.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.7.1.1.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.7.1.1.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.7.1.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.7.1.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна послідовність.

1.7.1.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.7.1.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.7.1.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.7.1.1.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.7.1.1.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.7.1.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване тензорне дійснокомпонентне поле):

1.7.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:

1.7.1.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за значеннями тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)

1.7.1.2.1.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.7.1.2.1.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.7.1.2.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.7.1.2.1.2.3. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.7.1.2.1.2.4. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.7.1.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.7.1.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.7.1.2.2.1.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.7.1.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.7.1.2.2.2.1. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.7.1.2.2.2.2. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.7.1.2.2.2.3. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.7.1.2.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.7.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція ($\Psi =$

$$\mathbf{T}_{nm}(\mathbf{R}), p(f(t)) = \|f(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i(t))^2}:$$

1.7.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.7.2.2.1.2.4. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.7.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.7.2.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.7.2.2.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.7.2.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.7.2.2.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.7.2.2.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.7.2.2.2.2.3. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.7.2.2.2.2.4. Циклічна за нормою детермінована тензорна дійснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.7.3. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція ($\Psi = T_{nm}(R), p(f(t)) = \|f(t)\|^2$):

1.7.3.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція одного аргументу:

1.7.3.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.7.3.1.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом норми тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.7.3.1.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.7.3.1.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.7.3.1.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.7.3.1.1.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.7.3.1.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.7.3.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.7.3.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.7.3.1.2.1.1. Циклічна за квадратом норми тензорна дійснокомпонентна дійснозначна послідовність.

1.7.3.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна дійснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.8.1.2.2.2.4. Циклічна за значеннями детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.8.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція

$$(\Psi = T_{nm}(C), p(f(t)) = \|f(t)\| = \sqrt{\sum_{i=1}^N (f_i(t))^2}):$$

1.8.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.8.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.8.2.1.1.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за нормою тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.8.2.1.1.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.8.2.1.1.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.8.2.1.1.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.8.2.1.1.2.3. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.8.2.1.1.2.4. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.8.2.1.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:

1.8.2.1.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.8.2.1.2.1.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна послідовність.

1.8.2.1.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.8.2.1.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.8.2.1.2.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.8.2.1.2.2.3. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.8.2.1.2.2.4. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.8.2.2. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне за модулем детерміноване тензорне комплекснокомпонентне поле):

1.8.2.2.1. Циклічна за нормою детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:

- 1.8.3.1.1.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.8.3.1.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.8.3.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу:
- 1.8.3.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:
- 1.8.3.1.2.1.1. Циклічна за квадратом норми тензорна комплекснокомпонентна дійснозначна послідовність.
- 1.8.3.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:
- 1.8.3.1.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.8.3.1.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.8.3.1.2.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.8.3.1.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.8.3.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох аргументів (циклічне за квадратом норми детерміноване тензорне комплекснокомпонентне поле):
- 1.8.3.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів:
- 1.8.3.2.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична за квадратом норми тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів)
- 1.8.3.2.1.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.8.3.2.1.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.8.3.2.1.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.8.3.2.1.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.8.3.2.1.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.8.3.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів:

1.8.3.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.8.3.2.2.1.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.8.3.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.8.3.2.2.2.1. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.8.3.2.2.2.2. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.8.3.2.2.2.3. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.8.3.2.2.2.4. Циклічна за квадратом норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.8.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція ($\Psi = T_{nm}(C)$, $\rho(f(t)) = \|f(t)\|^k$):

1.8.4.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція одного аргументу:

1.8.4.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу:

1.8.4.1.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична за k -м степенем норми тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу)

1.8.4.1.1.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.8.4.1.1.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.8.4.1.1.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.8.4.1.1.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.8.4.1.1.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.8.4.2.2.1.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.8.4.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.8.4.2.2.2.1. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.8.4.2.2.2.2. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.8.4.2.2.2.3. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.8.4.2.2.2.4. Циклічна за k -м степенем норми детермінована тензорна комплекснокомпонентна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.9. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція (циклічний детермінований безінерційний оператор).

1.9.1.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція одного аргументу:

1.9.1.1.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу:

1.9.1.1.1.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична безінерційно-операторна функція дійсного аргументу)

1.9.1.1.1.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.9.1.1.1.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.9.1.1.1.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.9.1.1.1.2.3. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.9.1.1.1.2.4. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.9.1.1.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу:

1.9.1.1.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.9.1.1.2.1.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна послідовність.

1.9.1.1.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.9.1.1.2.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.9.1.1.2.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

- 1.9.1.1.2.2.3. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.9.1.1.2.2.4. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.9.1.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване безінерційно-операторне поле):
- 1.9.1.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів:
- 1.9.1.2.1.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів)
- 1.9.1.2.1.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.9.1.2.1.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.9.1.2.1.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.9.1.2.1.2.3. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.9.1.2.1.2.4. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.9.1.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів:
- 1.9.1.2.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
- 1.9.1.2.2.1.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох цілочисельних аргументів.
- 1.9.1.2.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:
- 1.9.1.2.2.2.1. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.9.1.2.2.2.2. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.9.1.2.2.2.3. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.9.1.2.2.2.4. Циклічна детермінована безінерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.10. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція (циклічний детермінований інерційний оператор).
- 1.10.1.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція одного аргументу:
- 1.10.1.1.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу:
- 1.10.1.1.1.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична безінерційно-операторна функція дійсного аргументу)

1.10.1.1.1.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.10.1.1.1.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.10.1.1.1.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.10.1.1.1.2.3. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.10.1.1.1.2.4. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.10.1.1.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу:

1.10.1.1.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:

1.10.1.1.2.1.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна послідовність.

1.10.1.1.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:

1.10.1.1.2.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.10.1.1.2.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.10.1.1.2.2.3. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.10.1.1.2.2.4. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.10.1.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване інерційно-операторне поле):

1.10.1.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів:

1.10.1.2.1.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів)

1.10.1.2.1.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.10.1.2.1.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.10.1.2.1.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.10.1.2.1.2.3. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.10.1.2.1.2.4. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.10.1.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів:

- 1.10.1.2.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
 - 1.10.1.2.2.1.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох цілочисельних аргументів.
 - 1.10.1.2.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:
 - 1.10.1.2.2.2.1. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
 - 1.10.1.2.2.2.2. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
 - 1.10.1.2.2.2.3. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
 - 1.10.1.2.2.2.4. Циклічна детермінована інерційно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом
- 1.11. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція (циклічний детермінований лінійний оператор).
 - 1.11.1.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція одного аргументу:
 - 1.11.1.1.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу:
 - 1.11.1.1.1.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична лінійно-операторна функція дійсного аргументу)
 - 1.11.1.1.1.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:
 - 1.11.1.1.1.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
 - 1.11.1.1.1.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
 - 1.11.1.1.1.2.3. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
 - 1.11.1.1.1.2.4. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом
 - 1.11.1.1.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу:
 - 1.11.1.1.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:
 - 1.11.1.1.2.1.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна послідовність.
 - 1.11.1.1.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:
 - 1.11.1.1.2.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
 - 1.11.1.1.2.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
 - 1.11.1.1.2.2.3. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
 - 1.11.1.1.2.2.4. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом

1.11.1.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване лінійно-операторне поле):

1.11.1.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів:

1.11.1.2.1.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів)

1.11.1.2.1.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:

1.11.1.2.1.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.11.1.2.1.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.11.1.2.1.2.3. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.11.1.2.1.2.4. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.11.1.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів:

1.11.1.2.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:

1.11.1.2.2.1.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох цілочисельних аргументів.

1.11.1.2.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

1.11.1.2.2.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом

1.11.1.2.2.2.2. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом

1.11.1.2.2.2.3. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом

1.11.1.2.2.2.4. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

1.12. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція (циклічний детермінований нелінійний оператор).

1.12.1.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція одного аргументу:

1.12.1.1.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу:

1.12.1.1.1.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу з постійним ритмом (детермінована періодична нелінійно-операторна функція дійсного аргументу)

1.12.1.1.1.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним ритмом:

1.12.1.1.1.2.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом

- 1.12.1.1.1.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.12.1.1.1.2.3. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.12.1.1.1.2.4. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дійсного аргументу зі змінним періодичним ритмом
- 1.12.1.1.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу:
 - 1.12.1.1.2.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу з постійним ритмом:
 - 1.12.1.1.2.1.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна послідовність.
 - 1.12.1.1.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним ритмом:
 - 1.12.1.1.2.2.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-лінійним ритмом
 - 1.12.1.1.2.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-квадратичним ритмом
 - 1.12.1.1.2.2.3. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним кусково-кубічним ритмом
 - 1.12.1.1.2.2.4. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція дискретного аргументу зі змінним періодичним ритмом
 - 1.12.1.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох аргументів (циклічне детерміноване нелінійно-операторне поле):
 - 1.12.1.2.1. Циклічна детермінована лінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів:
 - 1.12.1.2.1.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів з постійним ритмом (детермінована періодична нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів)
 - 1.12.1.2.1.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним ритмом:
 - 1.12.1.2.1.2.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
 - 1.12.1.2.1.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
 - 1.12.1.2.1.2.3. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
 - 1.12.1.2.1.2.4. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дійсних аргументів зі змінним періодичним ритмом
 - 1.12.1.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів:
 - 1.12.1.2.2.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів із постійним ритмом:
 - 1.12.1.2.2.1.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох цілочисельних аргументів.
 - 1.12.1.2.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним ритмом:

- 1.12.1.2.2.2.1. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-лінійним ритмом
- 1.12.1.2.2.2.2. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-квадратичним ритмом
- 1.12.1.2.2.2.3. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним кусково-кубічним ритмом
- 1.12.1.2.2.2.4. Циклічна детермінована нелінійно-операторна функція багатьох дискретних аргументів зі змінним періодичним ритмом

**ФРАГМЕНТИ ПРОГРАМНОГО КОДУ ПРОТОТИПУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ
ДОВІДКОВОЇ СИСТЕМИ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ «МОДЕЛЮВАННЯ
ТА ОПРАЦЮВАННЯ ЦИКЛІЧНИХ СИГНАЛІВ» РОЗРОБЛЕНОЇ
ЗАСОБАМИ PYTHON/DJANGO**

Файл models.py (моделі проекту)

```
from django.db import models
from django.utils.html import mark_safe

class Article(models.Model):
    # максимальний рівень вкладеності - 4, тому верхній рівень буде 1000, під ним
    # - 1100; тобто кожен рівень - це розряд в числі.
    number = models.PositiveSmallIntegerField('Номер статті')
    title = models.CharField('Заголовок статті', max_length=200, default='')
    text = models.TextField('Текст статті', default='')
    image = models.ImageField('Текст статті', upload_to='images', blank=True,
    null=True)
    ancestor = models.ForeignKey('self', verbose_name='Батьківська стаття',
    on_delete=models.CASCADE, blank=True, null=True)

    def image_tag(self):
        return mark_safe('' % (self.image))

    image_tag.short_description = ''

    def __str__(self):
        return str(self.number)

class Meta:
```

```

verbose_name = 'Стаття'
verbose_name_plural = 'Статті'
ordering = ['number']

```

Файл `admin.py` (адмінка проекту)

```

from django.contrib import admin
from .models import Article
from django.utils.html import format_html

class ArticleListInline(admin.TabularInline):
    model = Article
    extra = 0
    fields = ['number', 'title']

@admin.register(Article)
class ArticleAdmin(admin.ModelAdmin):
    list_display = ('number', 'title')
    exclude = ('image',)
    inlines = [ArticleListInline]
    readonly_fields = ['image_tag']
    list_per_page = 10

```

Файл `urls.py` (налаштування шляхів)

```

"""mysite URL Configuration

```

The `urlpatterns` list routes URLs to views. For more information please see:

<https://docs.djangoproject.com/en/3.0/topics/http/urls/>

Examples:

Function views

1. Add an import: `from my_app import views`

2. Add a URL to `urlpatterns`: `path("", views.home, name='home')`

Class-based views

1. Add an import: `from other_app.views import Home`

2. Add a URL to `urlpatterns`: `path("", Home.as_view(), name='home')`

Including another URLconf

1. Import the `include()` function: `from django.urls import include, path`

2. Add a URL to `urlpatterns`: `path('blog/', include('blog.urls'))`

"""

`from django.contrib import admin`

`from django.urls import path`

`from django.conf import settings`

`from django.conf.urls.static import static`

`urlpatterns = [`

`path('admin/', admin.site.urls),`

`]`

`if settings.DEBUG:`

`urlpatterns += static(settings.MEDIA_URL,`

`document_root=settings.MEDIA_ROOT)`

settings.py (налаштування проекту)

"""

Django settings for mysite project.

Generated by 'django-admin startproject' using Django 3.0.3.

For more information on this file, see

<https://docs.djangoproject.com/en/3.0/topics/settings/>

For the full list of settings and their values, see

<https://docs.djangoproject.com/en/3.0/ref/settings/>

"""

import os

Build paths inside the project like this: os.path.join(BASE_DIR, ...)

BASE_DIR = os.path.dirname(os.path.dirname(os.path.abspath(__file__)))

Quick-start development settings - unsuitable for production

See <https://docs.djangoproject.com/en/3.0/howto/deployment/checklist/>

SECURITY WARNING: keep the secret key used in production secret!

SECRET_KEY = '!6f56=v==(qmd52p4e!o8kib2z7x1nnnid2&e\$53x!_)0%-wpi'

SECURITY WARNING: don't run with debug turned on in production!

DEBUG = True

ALLOWED_HOSTS = []

Application definition

INSTALLED_APPS = [

'django.contrib.admin',

'django.contrib.auth',

'django.contrib.contenttypes',

'django.contrib.sessions',

'django.contrib.messages',

'django.contrib.staticfiles',

```
'help_system',  
# 'django_quill',  
]
```

```
MIDDLEWARE = [  
    'django.middleware.security.SecurityMiddleware',  
    'django.contrib.sessions.middleware.SessionMiddleware',  
    'django.middleware.common.CommonMiddleware',  
    'django.middleware.csrf.CsrfViewMiddleware',  
    'django.contrib.auth.middleware.AuthenticationMiddleware',  
    'django.contrib.messages.middleware.MessageMiddleware',  
    'django.middleware.clickjacking.XFrameOptionsMiddleware',  
]
```

```
ROOT_URLCONF = 'mysite.urls'
```

```
TEMPLATES = [  
    {  
        'BACKEND': 'django.template.backends.django.DjangoTemplates',  
        'DIRS': [],  
        'APP_DIRS': True,  
        'OPTIONS': {  
            'context_processors': [  
                'django.template.context_processors.debug',  
                'django.template.context_processors.request',  
                'django.contrib.auth.context_processors.auth',  
                'django.contrib.messages.context_processors.messages',  
            ],  
        },  
    ],  
]
```

```
]

```

```
WSGI_APPLICATION = 'mysite.wsgi.application'
```

```
# Database
```

```
# https://docs.djangoproject.com/en/3.0/ref/settings/#databases
```

```
DATABASES = {
```

```
    'default': {
```

```
        'ENGINE': 'django.db.backends.sqlite3',
```

```
        'NAME': os.path.join(BASE_DIR, 'db.sqlite3'),
```

```
    }
```

```
}
```

```
# Password validation
```

```
# https://docs.djangoproject.com/en/3.0/ref/settings/#auth-password-validators
```

```
AUTH_PASSWORD_VALIDATORS = [
```

```
    {
```

```
        'NAME':
```

```
'django.contrib.auth.password_validation.UserAttributeSimilarityValidator',
```

```
    },
```

```
    {
```

```
        'NAME': 'django.contrib.auth.password_validation.MinimumLengthValidator',
```

```
    },
```

```
    {
```

```
        'NAME': 'django.contrib.auth.password_validation.CommonPasswordValidator',
```

```
    },
```

```
{  
    'NAME': 'django.contrib.auth.password_validation.NumericPasswordValidator',  
},  
]
```

Internationalization

<https://docs.djangoproject.com/en/3.0/topics/i18n/>

#LANGUAGE_CODE = 'en-us'

LANGUAGE_CODE = 'uk-uk'

#TIME_ZONE = 'UTC'

TIME_ZONE = 'Europe/Kiev'

USE_I18N = True

USE_L10N = True

USE_TZ = True

Static files (CSS, JavaScript, Images)

<https://docs.djangoproject.com/en/3.0/howto/static-files/>

STATIC_URL = '/static/'

Основний url для управління медіафайлами

MEDIA_URL = '/media/'

Шлях, де зберігаються зображення

MEDIA_ROOT = os.path.join(BASE_DIR, 'media')

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

APPROVED
 Director of
 SUSTAINABLE DEVELOPMENT LTD
 A. Pavlyshyn, Ljubljana, Slovenija
 June 15, 2021

АКТ

on the use of the results of dissertation research

Nnamene Christopher Chizoba

«Computer ontology of the subject area

«Modeling and processing of cyclic signals»»

This act is made that the results of the dissertation research **Nnamene Christopher Chizoba** «Computer ontology of the subject area «Modeling and processing of cyclic signals»» in the form of an online reference system tested, implemented and used in the practical and recreational activities of «Sustainable development Ltd» (Ljubljana, Slovenija).

Implementation of the results of this dissertation research has allowed to increase degree of automation and completeness in the process of training specialists in the field of modeling and processing of cyclic signals in modern information systems.

TRAJNOSTNI RAZVOJ,
 svetovanje in izobraževanje, d.o.o.
 SUSTAINABLE DEVELOPMENT, consulting and education, LTD
 Nazorjeva ulica 20, 1000 Ljubljana
 Davčna številka: 49528947
 Registrska številka: 6828531000
 IBAN SI56 0510 0801 4026 871, Abanka d.d.
 e-mail: Inter.Intelligent@gmail.com

Director



A. Pavlyshyn

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи
Тернопільського національного
технічного університету
ім. І. Пулюя

Павло МАРУЩАК

«14» 06 2021 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи «Комп'ютерна онтологія предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів»» аспіранта кафедри комп'ютерних наук Ннамене Крістофер Чізоба, представленої на здобуття наукового ступеня доктора філософії, в навчальному процесі ТНТУ ім. І Пулюя.

Цим актом підтверджується, що результати дисертаційної роботи аспіранта кафедри комп'ютерних наук Ннамене Крістофер Чізоба використано при проведенні лабораторних занять і курсової роботи з дисциплін «Методи та засоби інтеграції даних» та «Методи та системи імітаційного моделювання інформаційних сигналів та систем» для студентів спеціальності «Інформаційні системи та технології» і «Системний аналіз» освітнього рівня Магістр.

В цій дисертаційній роботі дисертант запропонував нові концептуальні та структуро-логічні моделі подання та організації знань в інтегрованому онтоорієнтованому інформаційному середовищі для моделювання та опрацювання циклічних сигналів в рамках теорії циклічних функціональних відношень, а також побудував на їх основі комп'ютерну онтологію предметної області «Моделювання та опрацювання циклічних сигналів», що уможливило подальшу розробку архітектур таких онтоорієнтованих інформаційних систем як інформаційна довідкова система, експертна система підтримки прийняття рішень та система моделювання та опрацювання циклічних сигналів.

Використання вказаних результатів у навчальному процесі дало змогу студентам краще засвоювати особливості організації знань предметних областей та їх застосування при розробці інформаційних систем та програмних продуктів.

Завідувач кафедри
комп'ютерних наук,
к.т.н., доцент

 Ігор БОДНАРЧУК