

ISSN 2521-6406 (print)
ISSN 2617-6092 (online)
DOI: 10.32434/2521-6406

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ: АНАЛІЗ, УПРАВЛІННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ

COMPUTER MODELING:
ANALYSIS, CONTROL, OPTIMIZATION

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC JOURNAL

№1 (7)
2020

<http://kmauo.org>

Р е д а к ц і й н а к о л е г і я

Головний редактор *д.т.н., проф.* ЗЕЛЕНЦОВ Дмитро Гегемонович
Заступник головного редактора *д.ф.-м.н., проф.* КОСОЛАП Анатолій Іванович
Відповідальний секретар *к.т.н., доц.* ЛЯШЕНКО Оксана Анатоліївна

АУШЕВА Наталія Миколаївна, д.т.н., доц., БОМБА Андрій Ярославович, д.т.н., проф.,
ГНАТУШЕНКО Володимир Володимирович, д.т.н., проф., ДЕНИСЮК Ольга Ростиславівна, к.т.н.,
КОРОТКА Лариса Іванівна, к.т.н., доц., КОРСУН Валерій Іванович, д.т.н., проф.,
ЛЕВЧУК Ігор Леонідович, к.т.н., доц., ЛЯШЕНКО Віктор Павлович, д.т.н., проф.,
МУХІН Вадим Євгенович, д.т.н., проф., НАУМЕНКО Наталія Юріївна, к.т.н., доц.,
ОЛЕВСЬКИЙ Віктор Ісаакович, д.т.н., доц., СОЛОДКА Наталія Олександрівна, к.т.н., доц.,
ФЕДОРОВ Євген Євгенович, д.т.н., доц., ФЕДОРОВИЧ Олег Євгенович, д.т.н., проф.,
ХОРОШИЛОВ Сергій Вікторович, д.т.н., с.н.с., ЧАЛИЙ Сергій Федорович, д.т.н., проф.,
ШЕВЧЕНКО Ігор Васильович, д.т.н., доц.

М і ж н а р о д н а р е д а к ц і й н а к о л е г і я

ANDRIANOV Aleksey (*Netherland*), MAMEDOV Arif (*The Republic of Azerbaijan*),
MILENIN Andrij (*Poland*), STAROVOITOV Eduard (*Belarus*),
TODOROV Michail (*Bulgaria*), VISHNU Vardhan Bulusu (*India*),
ŽILINSKAS Julius (*Lithuania*)

Комп'ютерна верстка *Л.П. БУРМІСТР*
Технічний редактор *Л.М. ТОНКОШКУР*

Адреса редакції видавника наукового журналу:

Україна, 49005, м. Дніпро, пр. Гагаріна, 8
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»
тел. (0562) 47-35-27, E-mail: smaco@udhtu.edu.ua

*Перереєстровано у Міністерстві юстиції України
(свідоцтво про державну реєстрацію серія КВ № 23960-13800ПР від 26.04.2019 р.)*

Рекомендовано до друку вченою радою ДВНЗ УДХТУ
(протокол № 6 від 31.08.2020)

Оригінал-макет виготовлено редакцією журналу ДВНЗ УДХТУ.
Підписано до друку з готових форм 02.09.2020. Формат 60×84 1/8. Папір ксероксний.
Гарнітура Академічна. Друк різнограф. Умовн. друк. арк. 10,03. Обл. вид. арк. 10,89.
Тираж 100 прим. Замовлення № 7

Тираж віддруковано РВВ ДВНЗ УДХТУ,
м. Дніпро, пр. Гагаріна, 8, тел. (056) 746-27-29
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5026 від 16.12.2015 р.

Дніпро 2020

Міністерство освіти і науки України

Державний вищий навчальний заклад
«Український державний хіміко-технологічний університет»

Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація

1 (7), 2020

Науковий журнал

виходить
2 рази на рік

ЗМІСТ

Оригінальні статті	3
<i>Барташевська Ю.М.</i> Використання семантичних технологій у діяльності ЗВО: прикладний аспект	3
<i>Косарев В.М.</i> Застосування методу перевірки статистичних гіпотез для оцінювання реалізації варіантів вкладення інвестицій в сферу виробництва	10
<i>Косолап А.І.</i> Оптимізація в скінченновимірному евклідовому просторі	20
<i>Олевська Ю.Б., Олевський В.І., Тимчий К.І., Олевський А.В.</i> Метод нечіткого визначення концентрації важких металів при атомно-абсорбційному спектральному аналізі донних відкладень	29
<i>Палагін О.В., Петренко М.Г., Зеленцов Д.Г.</i> До питання комп'ютерної обробки природномовних текстів	37
<i>Підгородецький О.В., Тітова О.В., Кравець В.І.</i> Ефективність застосування сонячних трекінгових систем з двома ступенями свободи	46
<i>Рахманов С.Р., Гуляев Ю.Г., Зданевич С.В.</i> Динаміка механізму утримання оправки прошивного стану трубопрокатного агрегату	51
<i>Трубников С.В., Денисюк О.Р.</i> Реализация программы-помощника для создания комиксов с использованием методов обработки текста	64
<i>Шульгін О.Л., Лосіхін Д.А.</i> Застосування двопівперіодного підсилюючого випрямляча напруги без діодів на операційних підсилювачах у автоматизованій системі випробувань на розривній машині	70
Хроніки, події, особистості	75
<i>Андріанов І.</i> Пам'яті Леоніда Ісааковича Маневича (02.04.1938–20.08.2020)	75
Відомості про авторів	77
Іменний покажчик	79

Ministry of Education and Science of Ukraine

Ukrainian State University of Chemical Technology

Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization

1 (7), 2020

Scientific journal

2 issues per year

CONTENT

RESEARCH ARTICLES	3
<i>Bartashevskaya Yu.N.</i> The use of semantic technologies in the activities of the university: applied aspects	3
<i>Kosariyev V.M.</i> Application of statistical hypotheses test method for evaluation of investment investment options in the production field	10
<i>Kosolap A.I.</i> Optimization In A Finite-Dimensional Euclidean Space	20
<i>Olevska Yu.B., Olevskiy V.I., Timchy K.I., Olevskiy O.V.</i> The method of fuzzy determination of the concentration of heavy metals in the atomic absorption spectral analysis of bottom sediments	29
<i>Palagin A.V., Petrenko N.G., Zelentsov D.G.</i> On the problem of computer processing of natural language texts	37
<i>Pidhorodetskiy O.V., Titova O.V., Kravets V.I.</i> Efficiency of using solar tracking systems with two degrees of freedom	46
<i>Rakhmanov S.R., Gulyaev Yu.G., Zdanevich S.V.</i> The dynamics of the centering mechanism of piercing mill mandrel of the pipe-rolling plant	51
<i>Trubnikov S.V., Denysiuk O.R.</i> Implementation of a helper program for comics creation using text processing methods	64
<i>Shulhin A.L., Losikhin D.A.</i> The use of a full-wave amplifying rectifier without diodes on operational amplifiers in an automated testing system on a tensile testing machine	70
INFORMATION, EVENTS, AND PERSONS	75
<i>Andrianov I.</i> In memory of Leonid Isaakovich Manevich (02.04.1938–20.08.2020)	75
Information about the authors	77
Name index	79

УДК 004.318

*Барташевська Ю.М.***ВИКОРИСТАННЯ СЕМАНТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ДІЯЛЬНОСТІ ЗВО:
ПРИКЛАДНИЙ АСПЕКТ****ВНЗ «Університет імені Альфреда Нобеля», м. Дніпро, Україна**

В статті розглянуто проблему використання великих даних у сучасній економіці та суспільному житті. Обсяги та складність інформації стрімко зростають, але сучасні технології не можуть забезпечити ефективне їх використання. Існує відставання в технологіях, алгоритмах та практиці використання великих даних. Таку диспропорцію здатні змінити семантичні технології, які характеризуються іншим підходом до обробки та використання даних. Даний підхід заснований на використанні знань. Досліджено, що незважаючи на доволі тривалий час існування семантичних технологій і семантичних мереж існує багато перепон для їх ефективного впровадження. Це проблеми доступності семантичного контенту, доступності онтологій, їх еволюції, масштабованості та багатомовності. А оскільки далеко не всі дані, подані у мережі, створені у термінах семантичної розмітки і навряд чи будуть приведені до неї у перспективі, то проблема доступності семантичного контенту є однією з основних. В статті показано відмінність семантичної мережі і семантичного Веба, а також вказані технології розвитку останнього. В якості предмета дослідження обрано модуль курсів ВНЗ «Університет імені Альфреда Нобеля». Детально розглянуто склад окремого модуля або окремого курсу: дані щодо закладу вищої освіти (ЗВО), викладача-лектора, дані щодо забезпечення курсу та мови його викладання, набутих навичок, вмінь, результатів тощо. Побудовано граф модуля курсів на прикладі Університету імені Альфреда Нобеля в термінах онтології, розглянуті його окремі, найбільш значущі класи – складові частини. Розглянуті основні класи, підкласи та їх наповнення, вказано типи даних (дата, текст, URL). Переведено онтологічну схему у RDF-формат, як такого, що необхідний для моделювання даних для семантичної мережі та подальшого дослідження. Окреслено перспективи подальших досліджень щодо застосування обраної моделі представлення знань, використання мови запитів, отримання та інтерпретації даних інших ЗВО тощо.

Ключові слова: семантичні технології, семантичні мережі, онтології, SmartTools, граф модуля курсів.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-3-9

Постановка проблеми

Сьогодні семантичні технології стають все більш популярними та затребуваними. Насамперед це пов'язано зі зростанням кількості та складності інформації. За підрахунками міжнародних експертів [1] вже сьогодні існує велике відставання між обсягами даних і технологіями і системами, що забезпечують їх ефективне використання. Причому це стосується не тільки алгоритмів і технологій обробки, а й їх зберігання. За оцінюваннями спеціалістів, реальний рівень використання наявних у компаній сис-

тем зберігання в середньому становить 25–35% [2].

Про зростання кількості даних свідчать і результати дослідження компанії IDC. За їх підрахунками, наданими у аналітичному звіті [3], глобальний обсяг даних зростає з 33 Зетабайт у 2018 р. до 175 Зетабайт у 2025 р.

Всі ці дані свідчать про те, що кількість даних у сучасному світі зростає постійно, а великі масиви даних зросли більш ніж на порядок. Користувачі і технології наразі відстають від цього зростання і відрив стрімко зростає.

Актуальним для компаній стає питання зберігання великих даних, які зібрані у різний час різними підрозділами, з контролем їх якості та узгодженості. Наслідок цього – зростання витрат на інфраструктуру та переробку даних. Компанії накопичують дані, не приділяючи особливої уваги їх інтеграції, і не завжди точно знають, яка інформація є у їх розпорядженні. Сам факт зберігання створює помилкове уявлення переробки даних, у разі потреби, на щось цінне та корисне, спрямоване на благо компанії. Але це уявлення хибне, а компанії часто недооцінюють витрати на пошук, обробку та аналіз даних. За даними аналітиків [4], тільки 3% зібраних наборів даних компаній, які відображають її ключові показники роботи, не містили помилок чи критичних помилок. Також стає необхідною стандартизація термінології однієї організації, оскільки вміння зіставляти інформацію з різних джерел і швидко реагувати на зовнішні зміни цілком може стати визначальним фактором її фінансового успіху.

У зв'язку з цим актуальним стає перехід від обробки даних до обробки знань, тобто зміна характеру роботи з інформацією. Одним з шляхів реалізації обробки знань є використання семантичних мереж, як необхідній інструмент моделювання та структурування онтологій; застосування підходу формального представлення знань в базі знань або в графах знань (Knowledge Graph). І хоча бази знань, як і бази даних з'явилися давно, тільки зараз компанії починають замислюватися над використанням онтологій, логічних висновків тощо. Це свідчить про поступове зміщення акценту від ведення бізнесу на основі даних до ведення бізнесу на основі знань, а отже якісного використання бізнес-інформації.

Мета статті

Метою статті є дослідження використання семантичних технологій, моделі графу знань (онтологічної моделі) у практичній діяльності ЗВО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Ідея семантичної мережі була розроблена консорціумом W3 в середині 90-х років. Продовження та розвитку вони набули у 2001 р. у журналі Scientific American у статті Тіма Бернерса-Лі, Джеймса Хендлера і Ори Лассила під назвою «The Semantic WEB» [5].

Сьогодні проблематикою семантичних мереж, онтологій займаються такі провідні вітчизняні та зарубіжні вчені, як: Грінков В.О. [2], Хлизов Є. [4], Хорошевський В.Ф. [6], Лянган Ю. [7], Петренко М.Г., Зеленцов Д.Г. [8] та ін.

Отже, ідеї автоматизованої обробки знань висувуються вже давно, але повноцінно використовуватися почали лише зараз. На сьогодні створені всі необхідні компоненти методик і технологій, потрібних для роботи з онтологічними моделями, які є предметом обробки за допомогою семантичних технологій. Однак, на шляху впровадження цих технологій та методик є декілька проблем науково-технічного та людського характеру, а саме: доступність семантичного контенту та онтологій, еволюція онтологій, їх масштабованість та багатомовність. У зв'язку з цим особливого значення набувають проблеми онтологічного інжинірингу та роботи з існуючими онтологіями, обробки та зберігання великих обсягів знань, їх візуалізація.

Викладення основного матеріалу дослідження

Загальновідомо, що семантичні мережі є технологічним втіленням семантичних технологій.

Сьогодні існує багато визначень семантичної мережі. Скористаємось визначенням, наданим в [9]: «Семантична мережа – це модель предметної області, надана у вигляді графа, де у вершинах стоять поняття, а ребра – відносини між ними». Тобто семантична мережа відображає семантику предметної області у вигляді понять і відношень, кількість типів яких визначається її автором. Ідеї семантичної мережі використовуються і в мережі Інтернет – семантичний Веб (Semantic Web) або семантичне павутиння. Головна мета Semantic Web – формування глобальної семантичної мережі, в якій ресурси Інтернет стандартизовані і придатні для машинної обробки.

Технологіями розвитку семантичного Веб є [7]:

- XML (eXtensible Markup Language) – розширювана мова розмітки;
- RDF (Resource Description Framework) – мова моделювання даних для семантичної мережі. Вся інформація семантичної павутини зберігається і представляється в RDF;
- SPARQL (протокол SPARQL і мова запитів RDF) – мова запитів семантичної мережі. Він спеціально призначений для запиту даних в різних системах;
- OWL (мова вебонтологій) – мова схеми або мова подання знань семантичної мережі. OWL дозволяє визначати поняття спільно, щоб ці поняття можна було використовувати як можна частіше.

Основою даного дослідження є побудова графу знань модуля курсів ЗВО, відповідно до

стандартів розробки програм Університету імені Альфреда Нобеля. Створення такого графу та його використання у складі інформаційної системи дозволить точно та швидко отримувати необхідну інформацію, а отже більш ефективно управляти інформацією ЗВО.

Для більш зручного та наочного надання даних графу знань використовуються різні програми та фреймворки. Одним з найбільш популярних є фреймворк *Protégé*, який дозволяє розміщувати та використовувати онтологію як локально, так і спільно у форматах owl та xml і з повною підтримкою стандарту W3C. Інструментарій фреймворку розповсюджується з відкритим кодом [8].

Однак, з нашої точки зору, для візуалізації та передачі знань більш доречно використовувати концепт-карти. Вони дозволяють побачити суть проблеми, виявити нові знання у даних. Концепт-карти доволі широко використовуються як у освіті, так і в бізнесі з метою: короткого викладення проблеми; виявлення знань; виявлення концепцій, взаємодій ієрархій з аналізу джерел; генерування нових знань; трансформації прихованих знань в явні структуровані; збереження даних в асоціативних зв'язках; моделювання спільних групових знань; обмін думками з прогнозами, тенденціями в робочих групах; вибудовування ланцюжків аргументації тощо [10].

В якості такої концепт-карти було використано *StarTools*, яка є безкоштовною, дозволяє стимулювати співпрацю і обмін думками при створенні моделей знань, дозволяє здійснювати розробку колективних моделей знань.

Приклад графа знань модуля курсів Університету імені Альфреда Нобеля наведено на рис. 1.

Схема типового курсу, надана на рис. 1, створена за допомогою семантичної розмітки *Schema.org* у програмі *StarTools*. Основна схема курсу складається з супер (глобальних) класів: курс або модуль курсів (*Course*); дисципліна з курсу (їх може бути декілька; *CreativeWork*); викладач (*Person*) та ін. А також локальних класів: дані щодо курсу (*Property Value Specification*); елементи курсу (*ItemList*); література з курсу (*Book*, *Article*, *Digital Document*); інформація щодо результатів навчання та освітнього ступеня (*Educational Occupational Credential*); дані щодо ЗВО (*Organization*) та ін.

Отже, клас курсу Університету має такі об'єкти та їх властивості:

– *name* (назва), яка потім може бути ініційована у класі *CreativeWork/name*. Напри-

клад, курс «Вища математика» містить кілька блоків, які визначені на рівні робочої програми курсу (лінійна алгебра, дискретна математика, теорія ймовірностей тощо);

– *inLanguage* (мова). Більшість курсів (*programs*) викладаються українською мовою, але для програм, затверджених Університетом Трійці Сент-Давид (Уельс) або за деякими окремими курсами, мова викладання – англійська;

– *datePublished* (дата публікації, впровадження) програми. Може співпадати з *copyrightYear* (*CreativeWork*).

Цитування курсу (література, *citation*) надано трьома видами: цифровий документ (*DigitalDocument*), стаття (*Article*) і книга (*Book*). Для книги характеристиками (властивостями) є: автор (*author*), видавець (*bookEdition*) та кількість сторінок (*numberOfPages*). Для статті: автор (*author*), назва статті (*headline*), діапазон сторінок (*pagination*). Для цифрового документа: автор (*author*) та ім'я вмісту (*name*), розташування мережі (*URL*).

Крім того, при описі об'єкта *accountable Person* було використано клас *Person* без зазначення *Lecturer*, оскільки лектор відповідає за щорічну програму навчання та її зміст. Об'єкт *job Title* додано до класу *Person*, оскільки Університет вказує не тільки науковий ранг (*honorific Prefix*) та ступінь (*honorific Suffix*), а й посаду.

Також до класу *Organization* додано об'єкт кафедри (*department*), оскільки програма вказує не тільки організацію (ЗВО), а й випускаючу кафедру. Введено клас *Property Value Specification*, який є підкласом *Intangible*, який описує додаткові властивості курсу: форми навчання, бали з курсу тощо.

Зауважимо, що клас *Course* є підкласом більш потужного класу *Creative Work*, пов'язаного з *Thing*.

Також додано підклас *Educational Occupational Credential*, який відповідає за результати навчання, теоретичні та практичні навички:

– *competency Required* – знання, вміння, здібності, які повинен продемонструвати учень;

– *educational Level* – курс;

– *credential Category* – категорія або «ступінь» бакалавра або магістра.

Отриману схему (рис. 1) можна надати у RDF-форматі, форматі необхідному для моделювання даних для семантичної мережі. Фрагмент коду наведено на рис. 2.

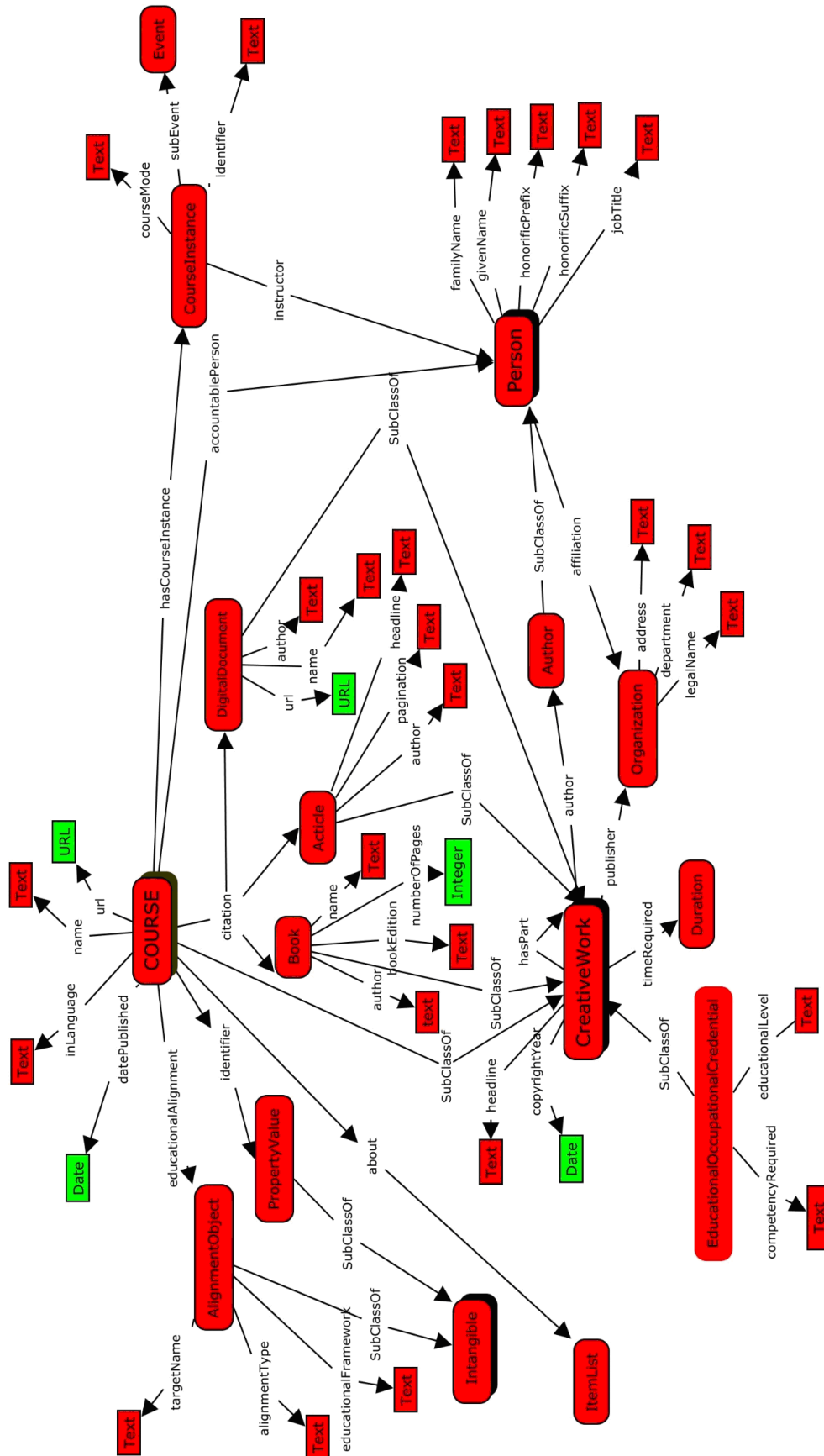


Рис. 1. Граф знань модуля курсів Університету


```

1 <?xml version="1.0"?>
2 <rdf:RDF xmlns="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#"
3   xmlns:base="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10"
4   xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
5   xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
6   xmlns:xml="http://www.w3.org/XML/1998/namespace"
7   xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
8   xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
9   xmlns:schema="public-schemaorg@w3.org">
10 <owl:Ontology rdf:about="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10">
11   <owl:versionIRI rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10/1.0"/>
12 </owl:Ontology>
13
14
15 <owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#accountablePerson">
16   <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#Course"/>
17   <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#Lecturer"/>
18 </owl:ObjectProperty>
19
20 <owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#citation">
21   <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#Course"/>
22   <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#Article"/>
23   <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#Book"/>
24   <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#DigitalDocument"/>
25 </owl:ObjectProperty>
26
27
28 <owl:ObjectProperty rdf:about="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#educationalAlignment">
29   <rdfs:domain rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#Course"/>
30   <rdfs:range rdf:resource="http://www.semanticweb.org/home/ontologies/2019/9/UAN_10.10#AlignmentObject"/>
31 </owl:ObjectProperty>

```

Рис. 2. Фрагмент RDF-коду семантичної моделі курсу

Висновки

В статті досліджено необхідність поступового переходу до використання семантичних технологій, що оперують знаннями, а не даними. Така необхідність викликана збільшенням обсягів та складністю даних, що нас оточують та бажанням більш ефективного їх використання. Показано застосування семантичних технологій в діяльності ЗВО для підвищення ефективності роботи з інформацією. Побудовано граф знань модуля курсів ЗВО, визначено глобальні та локальні класи, їх наповнення. Розроблено RDF-модель. Крім того, створена модель випробувана для збору інформації щодо окремих курсів ЗВО, що буде розвинуто та описано у подальших дослідженнях. Також існує можливість створення повноцінної інформаційної системи для збору та обробки подібної інформації у ЗВО.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глобальные тенденции 2030: альтернативные миры. Отчет Национального Совета по разведке. – 2012. – Вып.5. – 169 с. Режим доступа: http://www.nkibrics.ru/system/asset_publications/data/53c7/b3a1/676c/7631/400a/0000/original/Global-Trends-2030-RUS.pdf?1408971903.

2. Гриньков В.О. Метод кількісної оцінки стійкості системи зберігання даних // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2019. – № 3. – С.16-22.

3. Reinsel David, Gantz John, Rydning John. The Digitization of the World From Edge to Core. // IDC: Analyze the future, 2018. – 28 p. Режим доступа: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-data-age-whitepaper.pdf>

4. Хлызов Е. Управление данными на основе графов знаний // Открытые системы. СУБД. – 2018. – № 3. – С.30-31. Режим доступа: <https://www.osp.ru/os/2018/03/13054405/>

5. Ефимов А.А., Рожина И.В. Актуальность и методические аспекты обучения семантическим сетям в педагогическом ВУЗЕ // Инновационные технологии в педагогике высшей школы: материалы V Международной научной конференции. – Екатеринбург: УрГПУ, 2008. – С.215-220.

6. Хорошевский В.Ф. Семантические технологии: ожидания и тренды // OpenSemantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2012): материалы II Международной научно-технической конференции. – Минск: БГУ-ИР, 2012. – С.143-158.

7. Yu Liyang. Introduction to the Semantic Web and Semantic Web Services. – Taylor & Francis Group, LLC, 2007. – 367 p. <https://doi.org/10.1201/9781584889342>

8. Петренко М.Г., Зеленцов Д.Г. Про практичне використання онтологічних моделей предметних областей // Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. – 2019. – № 2(6). – С.58-73.

<https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-58-73>

9. Козлов Ф.А. Методы агрегирования и анализа данных в системах электронного обучения с использованием семантических технологий: Дис... канд.техн. наук: 05.13.06.СПб.: Санкт-Петербургский Национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015. — 121 с.

10. Прохоров А. Обзор программ класса conceptmapping. // Компьютерпресс. — 2007. — № 3. — С.176-187.

Надійшла до редакції 08.05.2020

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА: ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ

Барташевская Ю.Н.

В статье рассмотрена проблема использования больших данных в современной экономике и общественной жизни. Объемы и сложность информации стремительно растут, но современные технологии не могут обеспечить эффективное их использование. Существует отставание в технологиях, методах и практике использования больших данных. Такую диспропорцию способны изменить семантические технологии, характеризующиеся другим подходом к обработке и использованию данных. Данный подход основан на использовании знаний. Доказано, что несмотря на довольно длительное время существования семантических технологий и семантических сетей существует много препятствий для их эффективного применения. Это проблемы доступности семантического контента, доступности онтологий, их эволюции, масштабируемости и многоязычия. А поскольку далеко не все данные, представленные в сети, созданы в терминах семантической разметки и вряд ли будут приведены к ней в перспективе, то проблема доступности семантического контента является одной из основных. В статье показано отличие семантической сети и семантического Веба, а также указаны технологии развития последнего. В качестве предмета исследования выбран модуль курсов ВУЗа «Университет имени Альфреда Нобеля». Подробно рассмотрен состав отдельного модуля или отдельного курса: данные относительно ВУЗа, преподавателя-лектора, данные по обеспечению курса и языка его преподавания, приобретенных навыков, умений, результатов и тому подобное. Построен граф модуля курсов на примере ВУЗ «Университет имени Альфреда Нобеля» в терминах онтологии, рассмотрены его отдельные, наиболее значимые классы — составные части. Рассмотрены основные классы, подклассы и их наполнения, указаны типы данных (дата, текст, URL). Онтологическая схема переведена в RDF-формат, как такой, который необходим для моделирования данных в семантической сети и дальнейшего исследования. Определены перспективы дальнейших исследований по применению выбранной модели представления знаний, использования языка запросов, получение и интерпретация данных других ВУЗов и т.д.

Ключевые слова: семантические технологии, семантические сети, онтологии, CmapTools, граф модуля курсов.

THE USE OF SEMANTIC TECHNOLOGIES IN THE ACTIVITIES OF THE UNIVERSITY: APPLIED ASPECTS

Bartashevskaya Yu.N.

Alfred Nobel University, Dnipro, Ukraine

The article considers the problem of using Big Data in a modern economics and public life. The volumes and complexity of information are growing rapidly, but modern technologies cannot ensure their effective use. There is a lag in technologies, methods, and practices for using Big Data. The imbalance can be changed by semantic technologies, characterized by a different approach to the processing and use of data. This approach is based on the use of knowledge. Proved that despite the rather long time of the existence of semantic technologies and semantic networks, there are many obstacles to their effective application. These are the problems of accessibility of semantic content, accessibility of ontologies, their evolution, scalability and multilingualism. And since far from all the data presented on the network is created in terms of semantic markup and is unlikely to be brought to it in the future, the problem of accessibility of semantic content is one of the main ones. The article shows the difference between the semantic network and the semantic Web, and also indicates the development technologies of the latter. As the subject of study, the module of the courses of the Alfred Nobel University was selected. The composition of a separate module or a separate course is examined in detail: data on the university, lecturer, data on the provision of the course and language of its teaching, acquired skills, abilities, results and the like. A graph of the module of courses has been built on the example of the Alfred Nobel University in terms of ontology, its individual, most significant classes — components are considered. The main classes, subclasses and their contents are considered, data types (date, text, URL) are indicated. The ontological scheme has been converted to the RDF format, such as is necessary for modelling data in the semantic network and further research. The prospects for further research on the application of the selected model for representing knowledge, using the query language, obtaining and interpreting data from other universities, etc. are determined.

Keywords: semantic technologies, semantic networks, ontologies, CmapTools, course module graph.

REFERENCES

1. *Global'nye tendencii 2030: al'ternativnye miry. Otchet Natsionalnogo Soveta po razvedke* [Global Trends 2030: Alternative Worlds. National Intelligence Council Report]. 2012, vol. 5, 169 p. URL: <http://www.kmu.gov.ua/control/uk/photogallery/gallery?galleryId=15725757&>. (in Russian).
2. Hrinkov V.O. *Metod kilkisnoi otsinky stikosti systemy zberihannia danykh* [Method of quantitative assessment of storage system stability]. Collection of VITI scientific works, 2019, vol. 3, pp.16-22. (in Ukrainian).
3. Reinsel David, Gantz John, Rydning John. *The Digitization of the World From Edge to Core*. IDC: Analyze the future, 2018, 28 p. URL: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>.
4. Hlyzov E. *Upravlenie dannymi na osnove grafov znanij* [Data management based on knowledge graphs]. Open systems. SCDB, 2018, vol. 3, pp.30-31. URL: <https://www.osp.ru/os/2018/03/13054405/> (in Russian).

5. Efimov A.A., Rozhina I.V. *Aktual'nost' i metodicheskie aspekty obuchenija semanticheskim setjam v pedagogicheskom VUZE* [The relevance and methodological aspects of teaching semantic networks in a pedagogical university]. Innovative Technologies in Higher Education Pedagogy: Materials of the V International Scientific Conference, 2008, pp.215-220. (in Russian).

6. Horoshevskij V.F. *Semanticheskie tehnologii: ozhidanijai trendy* [Semantic technologies: expectations and trends]. Open-SemanticTechnologiesforIntelligentSystems (OSTIS-2012). 2012, pp.143-158. (in Russian).

7. Yu Liyang Introduction to the Semantic Web and Semantic Web Services. Taylor & Francis Group, LLC, 2007, 367 p. <https://doi.org/10.1201/9781584889342>

8. Petrenko N.G., Zelentsov D.G. *Pro praktichne vikoristannja ontologichnih modelej predmetnih oblastej* [On the practical use of ontological models of subject areas]. Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization, 2019, no. 2, pp.58-73. (in Russian).
<https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-58-73>

9. Kozlov F.A. *Metody agregirovanija i analiza dannyh v sistemah elektronnoho obuchenija s ispol'zovaniem semanticheskikh tehnologij* [Methods of aggregating and analyzing data in e-learning systems using semantic technologies]: Dis ... cand. tech. of sciences: 05.13.06. SPb, 2015, 121 p. (in Russian).

10. Prohorov A. *Obzor program klassa concept mapping* [Review of concept mapping class programs]. Computerpress, 2007, vol. 3, pp.176-187. (in Russian).

УДК 330.4

Косарєв В.М.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЕРЕВІРКИ СТАТИСТИЧНИХ ГІПОТЕЗ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ВАРІАНТІВ ВКЛАДЕННЯ ІНВЕСТИЦІЙ В СФЕРУ ВИРОБНИЦТВА

Університет імені Альфреда Нобеля, м. Дніпро, Україна

Використання іноземних і внутрішніх фінансових і матеріальних ресурсів є однією зі складових сучасної концепції економічного і соціального розвитку. Ефективному використанню цих ресурсів, як відомо, перешкоджає не тільки традиційна розбіжність обсягів наявних і потрібних ресурсів, але і неефективне управління їх використанням. Це управління спрямоване на вирішення задач: організації робіт; контролю над цільовим використанням коштів; обґрунтованого розподілу ресурсів; планування вкладення ресурсів; науково обґрунтованого прогнозування реалізації рішень, прийнятих на етапі планування. Стаття присвячена вирішенню останньої з зазначених задач. У даній роботі, за допомогою принципу компромісу і методу мінімаксу, пропонується варіант застосування методу перевірки статистичних гіпотез для оцінки реалізації варіантів вкладення інвестицій у сферу виробництва для більш обґрунтованого прийняття рішення на етапі планування розвитку підприємства в умовах невизначеності. Завданням моделювання є визначення та оцінка ймовірностей реалізації планових обсягів інвестицій, що спрямовані на сприяння стратегічного розвитку підприємства у випадку перетинання гіпотез про фактичні розподіли варіантів державних і приватних джерел інвестування в умовах невизначеності випадкового та антагоністичного характеру. Досліджено, що для оцінювання можливості реалізації варіантів вкладення інвестицій, що знаходяться в розпорядженні органів управління економічним розвитком, а також у відповідних статистичних управліннях, наявна інформація про заплановані розподіли наявних або очікуваних обсягів інвестування, тобто статистична інформація про ознаки, є інформаційною основою для вирішення зазначеного завдання. Вірогідність прогнозування реалізації кожного зі спостережуваних варіантів оцінюються шляхом обчислення ймовірності прийняття правильних рішень і помилок прийняття рішень при розгляді розподілу обсягів інвестицій, які намічаються з кожного варіанту їх використання. Результати отримані методом перевірки статистичних гіпотез за допомогою застосування принципу компромісу і методу мінімаксу. Результати застосування методу сприяють удосконаленню управління реалізацією інвестицій у сферу виробництва в складних реальних умовах.

Ключові слова: розподіл обсягів інвестицій, метод перевірки статистичних гіпотез, стохастична модель прогнозування явищ, вірогідність реалізації планових обсягів інвестицій, компромісне визначення.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-10-19

Постановка проблеми

Оцінки вірогідності реалізації варіантів вкладення інвестицій у виробничу сферу в рамках міждержавного партнерства в різних за обсягом поєднаннях інвестицій при фактичному розподілі обсягів інвестування (нерідко зустрічається в реальних умовах) виявляються особ-

ливо актуальними в умовах пересічних гіпотез про ці обсяги. Використання іноземних і вітчизняних фінансових і матеріальних ресурсів є однією зі складових сучасної концепції економічного і соціального розвитку. Ефективному використанню цих ресурсів, як відомо, перешкоджає не тільки традиційна розбіжність обсягів

наєвних і потрібних ресурсів, але і неефективне управління їх використанням. Це управління спрямоване на вирішення завдань: організації робіт; контролю над цільовим використанням коштів; обґрунтованого розподілу ресурсів; планування вкладення ресурсів; науково обґрунтованого прогнозування реалізації рішень, прийнятих на етапі планування. Стаття присвячена вирішенню останнього з зазначених завдань. Саме ці обставини спричиняють доцільність компромісного визначення ймовірності реалізації обсягу фінансування виробничої сфери після розв'язання задачі прогнозування ймовірностей реалізації варіантів інвестування із джерел вітчизняних і джерел іноземних. Необхідно ураховувати, що рівень цих джерел, як правило, є суттєво розмитим за обсягом через дію факторів випадкового типу. Більш того, з метою збільшення гарантованості кінцевого результату прогнозування реалізації інвестицій, доцільно далі, під час розв'язання наукового завдання визначення можливостей реалізації планового обсягу фінансування виробничої сфери, застосовувати не тільки принцип компромісного усереднення, але також і метод мінімаксного визначення гарантованого результату реалізації інвестицій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сучасному етапі розвитку методів обґрунтування рішень та моделей прогнозування розвитку процесів економічного розвитку суттєву роль відіграють фундаментальні роботи відомих вчених Т.Л. Сааті, П. Фішберна, С.А. Саркісяна, Д. Марсі, Е.С. Вентцеля, що присвячені проблемі об'єктивного обліку інформаційних ознак із сукупності вихідних даних і практичного застосування їх в задачах прийняття управлінських рішень. Вони спрямовані на аналіз, визначення корисності та ризику дослідження операцій, прийняття рішень та прогнозування їх наслідків [1,2]. Відомими є роботи академіків НАН України та вчених Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України. Однак задачі прогнозування реалізації планів і визначення оцінок вірогідності прогнозування (реалізації варіантів одночасного інвестування) по обмеженому числу ознак при пересічних гіпотезах про обсяги інвестування для реалізації цих варіантів, на жаль, приділяється мало уваги й в сучасних публікаціях. В той самий час, як показує аналіз, поєднання в повному обсязі ознак, що збігаються, характерних для типових варіантів вкладення інвестицій, дозволяє досягати прийнятної для практики вірогідності [3,4]. Зокрема, на-

бувають актуальності публікації результатів рішення задач прогнозування реалізації планів і визначення оцінок вірогідності прогнозування реалізації варіантів фінансування і різного їх рівня за умов обмеженого числа ознак при пересічних гіпотезах про фактичні розподіли обсягів через безліч випадкових факторів, що впливають на цю реалізацію обсягів інвестицій. Подібні результати вже публікували автори в [5–7]. Для оцінки можливості реалізації варіантів вкладення інвестицій, що знаходяться в розпорядженні органів управління економічним розвитком, а також у відповідних статистичних управліннях, є інформація про заплановані розподіли наявних або очікуваних обсягів інвестування, тобто статистична інформація про ознаки, які є інформаційною основою для вирішення зазначеного завдання. У даній роботі пропонується й обґрунтовується варіант застосування методу перевірки статистичних гіпотез для оцінювання реалізації варіантів вкладення інвестицій у сферу виробництва для більш обґрунтованого прийняття рішень на етапі планування розвитку підприємства в умовах невизначеності. «Перевірка статистичних гіпотез – клас базових задач в математичній статистиці, що полягають у перевірці статистичних гіпотез на основі даних спостереження за процесом, який моделюється за допомогою множини випадкових величин» [8]. Теорія перевірки статистичних гіпотез, основи якої заклали Егон Пірсон та Єжи Нейман майже століття тому, є основним математичним базисом, що застосовується для синтезу методів та алгоритмів, призначених для розв'язання задач виявлення і розпізнавання сигналів та образів. Не менш важливою прикладною сферою застосування цього математичного апарату є розроблення методик статистичного аналізу економічних, біомедичних та соціальних даних. Нині існує значний доробок у цьому напрямі та велика кількість різноманітних методів перевірки статистичних гіпотез. Аналіз ситуації вказує на те, що найпоширенішим є так званий байесовий підхід, відповідно до якого синтез статистичних критеріїв узгодження та правил прийняття рішень ґрунтується на формуванні відношення правдоподібності. Такий підхід потребує повного опису статистичних даних у вигляді щільності розподілу ймовірностей та в загальному випадку вимагає достатньо складних аналітичних викладень, необхідних для визначення якісних характеристик вирішних правил, які часто вдається отримати лише для асимптотичного випадку, коли обсяг вибірки прямує до

нескінченності. Розв'язання подібних задач значно спрощується, якщо статистичні дані можуть бути адекватно описані Гаусовим розподілом. Використання подібної моделі дає змогу синтезувати доволі прості та ефективні вирішні правила, які, залежно від конкретної ситуації, можна легко оптимізувати за певним ймовірнісним критерієм (Байеса, Неймана–Пірсона, мінімаксним тощо) [9].

Формулювання мети дослідження

Метою дослідження є вирішення науково-економічної управлінської задачі прогнозування можливостей (тобто ймовірностей) реалізації кожного з обсягів (варіантів) інвестицій із різних джерел. Задача вирішується за допомогою метода перевірки статистичних гіпотез на основі стохастичної моделі для оцінки ймовірностей реалізації рішень, що прийняті на етапі планування розвитку підприємства в умовах невизначеності та отримання адекватної моделі для процесів інвестування без наслідків, яка найбільш вірно зображає систему. Оцінювання вірогідності реалізації цих обсягів в умовах неточних даних про фактичний розподіл обсягів (який нерідко зустрічається в реальних умовах) виявляються особливо актуальними й корисними в умовах пересічення гіпотез і застосування методу мінімаксу подолання невизначеності антагоністичного характеру.

Постановка завдання

Рішення завдання прогнозування ймовірності реалізації варіантів вкладення інвестицій доцільно шукати методом перевірки статистичних гіпотез. Рішення такого завдання має багато додатків. Для визначеності розглянемо рішення задачі на прикладі сфери виробництва [10–15]. Побудуємо модель для прогнозування реалізації намічених варіантів вкладення вітчизняних та іноземних інвестицій в умовах конкурентних гіпотез про розрізнення за двома ознаками кожного, наприклад, з чотирьох запланованих варіантів використання інвестицій [16]. Будемо вважати, що ознаки у вигляді наявних обсягів P_1 й P_2 інвестицій визначають реалізацію варіантів і мають такий вигляд: ознака P_1 – обсяг внутрішніх (вітчизняних) інвестицій у сферу виробництва в рамках іноземного й внутрішнього партнерства. Ознака P_2 – обсяги зовнішніх (іноземних) інвестицій у виробничу сферу в рамках зовнішнього и внутрішнього партнерства. Очікувані варіанти реалізації інвестицій з урахуванням розподілу ознак P_1 , P_2 представимо у вигляді наступного переліку:

1. Низький рівень як вітчизняного, так і

іноземного інвестування у виробничу сферу.

2. Низький рівень вітчизняного і великий рівень іноземного інвестування у виробничу сферу.

3. Великий рівень як вітчизняного, так і іноземного інвестування в виробничу сферу.

4. Великий рівень вітчизняного і малий рівень іноземного інвестування в виробничу сферу.

З такого переліку варіантів слідує, що задача оцінювання ймовірностей реалізації кожного з варіантів інвестування повинна бути вирішена в умовах пересічних гіпотез. Із зазначеного переліку також випливає, що характеристики кожного з варіантів мають хоча б одну відмінність від характеристик будь-якого з варіантів. Кількісні відмінності кожного з чотирьох варіантів інвестування є наступними:

1. Низькому рівню вітчизняного та низькому рівню іноземного інвестування у виробничу сферу відповідає низький рівень ознак P_1 , і P_2 .

2. Низькому рівню вітчизняного і великому рівню іноземного інвестування у виробничу сферу відповідає низький рівень ознаки P_1 і великий рівень ознаки P_2 .

3. Великому рівню вітчизняного і великого рівню іноземного інвестування у виробничу сферу відповідає великий рівень ознаки P_1 і великий рівень ознаки P_2 .

4. Великому рівню вітчизняного та низькому рівню іноземного інвестування у виробничу сферу відповідає великий рівень ознаки P_1 і низький рівень ознаки P_2 .

В результаті задача зводиться до визначення значень ймовірності реалізації й умовних ймовірностей помилок прогнозу реалізації кожного із зазначених чотирьох варіантів вкладення інвестицій (за результатами реальної розмитості ознак, тобто за результатами зазвичай неточних даних про обсяг очікуваних інвестицій у сферу виробництва).

Вкладення основного матеріалу дослідження

В силу недостатньої розрізненості варіантів з кожним з ознак спостережуване значення ознаки P_1 дозволяє висловити лише дві гіпотези:

A_1 (P_1 – низького рівня): реалізується варіант 1 (випадок 1.1) або варіант 2 (випадок 1.2);

A_2 (P_1 – великого рівня): реалізується варіант 3 (випадок 2.2) або варіант 4 (випадок 2.1).

Аналогічно спостережуване значення ознаки P_2 дозволяє судити про справедливність однієї з двох наступних гіпотез:

B_1 (P_2 – низького рівня): реалізується варі-

ант 1 (випадок 1.1) або варіант 4 (випадок 2.1);

B_2 (P_2 – великого рівня): реалізується варіант 2 (випадок 1.2) або варіант 3 (випадок 2.2).

Умовні щільності ймовірностей значень ознак через велику кількість випадкових факторів, які впливають на їх величину, за умов справедливості введених гіпотез вважатимемо відомими функціями.

Для гіпотез A_1, A_2 та B_1, B_2 позначимо умовні щільності ймовірностей в вигляді

$$f_1\left(\frac{P_1}{A_1}\right), f_2\left(\frac{P_1}{A_2}\right); \varphi_1\left(\frac{P_2}{B_1}\right), \varphi_2\left(\frac{P_2}{B_2}\right).$$

Неважко переконатися, що ці щільності ймовірностей ознак мають вигляд розподілу Релея. Дійсно, з досвіду відома експоненціальна залежність рівня зниження ймовірності прийняття неправильного рішення про реалізацію варіанту інвестування. З ростом абсолютного значення ознаки реалізованості в умовах випадкових факторів, що заважають прийняттю рішень, ця ймовірність монотонно зменшується, тобто мають місце формули ймовірностей наступного вигляду:

$$F_1(P_1) = \exp\left[-\frac{P_1^2}{2a_i^2}\right], i = 1, 2;$$

$$\Phi_j(P_2) = \exp\left[-\frac{P_2^2}{2\beta_j^2}\right], j = 1, 2, \tag{1}$$

де $1/(2a^2), 1/(2\beta^2)$ – швидкості зниження вірогідності прийняття неправильних рішень про реалізацію варіантів інвестування. Отже, ймовірності прийняття правильних рішень мають вигляд:

$$1 - F_1(P_1) = 1 - \exp\left[-\frac{P_1^2}{2a_i^2}\right], i = 1, 2;$$

$$1 - \Phi_j(P_2) = 1 - \exp\left[-\frac{P_2^2}{2\beta_j^2}\right], j = 1, 2.$$

Звідси (в результаті диференціювання ймовірностей) отримуємо щільності ймовірностей в вигляді розподілу Релея (рис. 1, 2):

$$f_1\left(\frac{P_1}{A_j}\right) = \frac{P_1}{a_j^2} \exp\left[-\frac{P_1^2}{2a_j^2}\right], j = 1, 2;$$

$$\varphi_j\left(\frac{P_2}{B_j}\right) = \frac{P_2}{\beta_j^2} \exp\left[-\frac{P_2^2}{2\beta_j^2}\right], j = 1, 2. \tag{2}$$

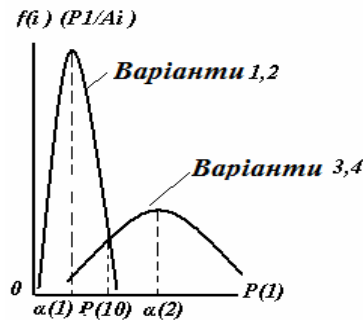


Рис. 1. Щільності ймовірностей реалізації обсягів інвестицій для 1-го, 2-го та 3-го, 4-го варіантів

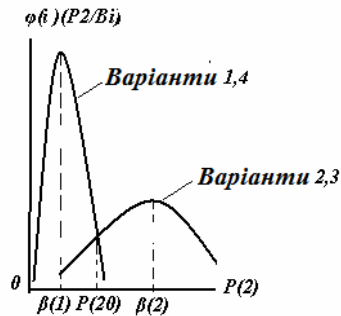


Рис. 2. Щільності ймовірностей реалізації обсягів інвестицій для 1-го, 4-го та 2-го, 3-го варіантів

Кожна з гіпотез A_i, B_j ($i=1,2; j=1,2$) є об'єднанням двох гіпотез, які обирають з наступної множини гіпотез (випадків):

C_{11} – випадок 1.1 (рішення про реалізацію варіанту-1);

C_{12} – випадок 1.2 (рішення про реалізацію варіанту-2);

C_{21} – випадок 2.1 (рішення про реалізацію варіанту-4);

C_{22} – випадок 2.2 (рішення про реалізацію варіанту-3).

При цьому мають місце такі об'єднання гіпотез у вигляді

$$A_1 = C_{11} \cup C_{12}; A_2 = C_{21} \cup C_{22};$$

$$B_1 = C_{11} \cup C_{21}; B_2 = C_{12} \cup C_{22}.$$

Спостережувані значення ознак P_1, P_2 вважаються статистично незалежними, що справедливо при слабкому впливі, спотворюють загальних випадкових факторів на результати спостереження ознак.

З введених чотирьох гіпотез A_i, B_j ($i=1,2; j=1,2$) можна отримати гіпотези C_{ij} як перетин відповідних гіпотез A_i, B_j , а саме:

$$C_{ij}=A_i \cap B_j, i=1,2; j=1,2$$

з двовимірними умовними щільностями ймовірностей ознак P_1 та P_2 в вигляді:

$$\Psi_{ij}\left(\frac{P_1}{A_i}, \frac{P_2}{B_j}\right) = f_i\left(\frac{P_1}{A_i}\right) \varphi_j\left(\frac{P_2}{B_j}\right), i=1,2; j=1,2. \quad (3)$$

Вірогідності прогнозування реалізації кожного зі спостережуваних варіантів неважко оцінити, обчислюючи ймовірності прийняття правильних рішень і помилок прийняття рішень при розгляді розподілу обсягів інвестицій, що є намічуваними, по кожному з варіантів їх використання. Для цього необхідно порівняти спостережувані значення ознак P_1 та P_2 з відповідними порогоми P_{10} та P_{20} , обраними, наприклад, за критерієм «ідеального спостерігача». Умовні щільності ймовірностей правильних і помилкових рішень про реалізацію інвестування при цьому утворюють матрицю в наступному вигляді:

$$F = \begin{pmatrix} F_{11}^{11} & F_{12}^{11} & F_{21}^{11} & F_{22}^{11} \\ F_{11}^{12} & F_{12}^{12} & F_{21}^{12} & F_{22}^{12} \\ F_{11}^{21} & F_{12}^{21} & F_{21}^{21} & F_{22}^{21} \\ F_{11}^{22} & F_{12}^{22} & F_{21}^{22} & F_{22}^{22} \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Елементи цієї матриці F є кількісною оцінкою відповідних умовних щільностей ймовірності реалізації інвестицій:

F_{11}^{11} – ймовірність правильного прогнозування реалізації варіанту-1, яка кількісно дорівнює ймовірності спільної справедливості гіпотез A_1 та B_1 ;

F_{12}^{11} – ймовірність помилкового прогнозування реалізації варіанту-1, яка кількісно дорівнює ймовірності спільної справедливості гіпотез A_1 як для варіанту-1, так і для варіанту-2, що дорівнює ймовірності справедливості гіпотези A_1 і несправедливості гіпотези B_1 ;

F_{21}^{11} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-1, через спільності гіпотези B_1 як для варіанту-1, так і для варіанту-4, що дорівнює ймовірності справедливості гіпотези B_1 й несправедливості гіпотези A_1 ;

F_{22}^{11} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-1, що дорівнює ймовірності спільної несправедливості й гіпотези A_1 , і гіпотези B_1 ; ця подія спільної несправедливості

доповнює події, перераховані вище, до повної групи подій з гіпотезами A_1 та B_1 ;

F_{11}^{12} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-2, що дорівнює ймовірності спільної події, а саме, справедливості гіпотези A_1 і несправедливості гіпотези B_2 ;

F_{12}^{12} – ймовірність правильного прогнозування реалізації варіанту-2, яка кількісно дорівнює ймовірності спільної справедливості і гіпотези A_1 , і гіпотези B_2 ;

F_{21}^{12} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-2, що дорівнює ймовірності несправедливості й гіпотези A_1 , і гіпотези B_2 ;

F_{22}^{12} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-2, що дорівнює ймовірності несправедливості гіпотези A_1 і справедливості гіпотези B_2 ;

F_{11}^{21} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-4, що дорівнює ймовірності справедливості гіпотези B_1 і несправедливості гіпотези A_2 ;

F_{12}^{21} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-4, що дорівнює ймовірності спільної несправедливості і гіпотези A_2 , і гіпотези B_1 ;

F_{21}^{21} – ймовірність правильного прогнозування реалізації варіанту-4, що дорівнює ймовірності спільної справедливості й гіпотези A_2 , і гіпотези B_1 ;

F_{22}^{21} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-4, що дорівнює ймовірності справедливості гіпотези A_2 і несправедливості гіпотези B_1 ;

F_{11}^{22} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-3, що дорівнює ймовірності несправедливості й гіпотези A_2 , і гіпотези B_2 ;

F_{12}^{22} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-3, що дорівнює ймовірності несправедливості гіпотези A_2 і справедливості гіпотези B_2 ;

F_{21}^{22} – ймовірність помилкового рішення про реалізацію варіанту-3, що дорівнює ймовірності справедливості гіпотези A_2 і несправедливості гіпотези B_2 ;

F_{22}^{22} – ймовірність правильного прогнозування реалізації варіанту-3, що дорівнює ймовірності спільної справедливості й гіпотези A_2 , і гіпотези B_2 .

При цьому, в силу незалежності реалізацій ознак P_1 та P_2 , кожен елемент матриці F являє собою добуток ймовірностей в вигляді:

$$F_{kl}^{ij} = R_k^i N_l^j, i, j, k, l \in \{1,2\}, \quad (5)$$

де R_k^1 – ймовірність справедливості гіпотези A_1 , яка дорівнює

$$R_1^1 = \int_0^{P_{10}} f_1 \left(\frac{x}{A_1} \right) dx,$$

де N_1^1 – ймовірність справедливості гіпотези B_1 , яка дорівнює

$$N_1^1 = \int_0^{P_{20}} \varphi_1 \left(\frac{y}{B_1} \right) dy;$$

де R_2^1 – ймовірність несправедливості гіпотези A_1 , яка дорівнює $R_2^1 = 1 - R_1^1$;

N_2^1 – ймовірність несправедливості гіпотези B_1 , яка дорівнює $N_2^1 = 1 - N_1^1$;

R_1^2 – ймовірність несправедливості гіпотези A_2 , яка дорівнює

$$R_1^2 = \int_0^{P_{10}} f_2 \left(\frac{x}{A_2} \right) dx,$$

де R_2^2 – ймовірність справедливості гіпотези A_2 , яка дорівнює $R_2^2 = 1 - R_1^2$;

N_1^2 – ймовірність несправедливості гіпотези B_2 , яка дорівнює

$$N_1^2 = \int_0^{P_{20}} \varphi_2 \left(\frac{y}{B_2} \right) dy,$$

де N_2^2 – ймовірність справедливості гіпотези B_2 , яка дорівнює $N_2^2 = 1 - N_1^2$.

Отже, матрицю F можна представити в остаточному вигляді:

$$F = \begin{pmatrix} R_1^1 N_1^1 & R_1^1 (1 - N_1^1) & (1 - R_1^1) N_1^1 & (1 - R_1^1) (1 - N_1^1) \\ R_1^1 N_1^2 & R_1^1 (1 - N_1^2) & (1 - R_1^1) N_1^2 & (1 - R_1^1) (1 - N_1^2) \\ R_1^2 N_1^1 & R_1^2 (1 - N_1^1) & (1 - R_1^2) N_1^1 & (1 - R_1^2) (1 - N_1^1) \\ R_1^2 N_1^2 & R_1^2 (1 - N_1^2) & (1 - R_1^2) N_1^2 & (1 - R_1^2) (1 - N_1^2) \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Видно, що матриця (6) (назвемо її матрицею вірогідності прогнозування можливості бути реалізованим варіантом інвестування) є стохастичною; сума елементів кожного її рядку дорівнює одиниці, оскільки зображає сукупність ймовірностей подій, що становлять їх повну групу [1].

З огляду на конкретний вид (2) функцій f_i й φ_i , отримуємо умовні ймовірності у вигляді

$$R_1^1 = \int_0^{P_{10}} \frac{P_1}{a_1^2} \exp \left[-\frac{P_1^2}{2a_1^2} \right] dP_1 = 1 - \exp \left[-\frac{P_{10}^2}{2a_1^2} \right];$$

$$R_2^1 = \exp \left[-\frac{P_{10}^2}{2a_1^2} \right];$$

$$N_1^1 = \int_0^{P_{20}} \frac{P_2}{\beta_1^2} \exp \left[-\frac{P_2^2}{2\beta_1^2} \right] dP_2 = 1 - \exp \left[-\frac{P_{20}^2}{2\beta_1^2} \right];$$

$$N_2^1 = \exp \left[-\frac{P_{20}^2}{2\beta_1^2} \right];$$

$$R_1^2 = \int_0^{P_{10}} \frac{P_1}{a_2^2} \exp \left[-\frac{P_1^2}{2a_2^2} \right] dP_1 = 1 - \exp \left[-\frac{P_{10}^2}{2a_2^2} \right];$$

$$R_2^2 = \exp \left[-\frac{P_{10}^2}{2a_2^2} \right]. \quad (7)$$

При застосуванні критерію «ідеального спостерігача» значення порогів P_{10} та P_{20} , згідно щільності ймовірності ознак (обсягів) інвестування (рис. 1, 2) можуть бути знайдені шляхом розв'язання рівнянь

$$f_1 \left(\frac{P_{10}}{A_1} \right) = f_2 \left(\frac{P_{10}}{A_2} \right); \quad \varphi_1 \left(\frac{P_{20}}{B_1} \right) = \varphi_2 \left(\frac{P_{20}}{B_2} \right).$$

Ці розв'язки мають вигляд:

$$P_{10} = 2a_1 a_2 \left[\frac{\ln a_1 - \ln a_2}{a_1^2 - a_2^2} \right]^{0,5}; \quad (8)$$

$$P_{20} = 2\beta_1 \beta_2 \left[\frac{\ln \beta_1 - \ln \beta_2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \right]^{0,5}.$$

Таким чином, якщо параметри розподілів f_i й φ_j , $i=1,2$; $j=1,2$ відомі, то елементи матриці вірогідності теж відомі. Це дозволяє взяти з неї повну інформацію про можливості правильного прогнозування можливості бути реалізованим кожним з варіантів інвестування міждержавного партнерства, а також інформацію про помилки прогнозування. Ймовірності правильного прогнозування можливості бути реалізованим кожного з чотирьох варіантів обчислимо за допомогою простих співвідношень:

1. Для варіанту-1 отримуємо $R_1^1 N_1^1$.
2. Для варіанту-2 отримуємо $R_1^1 (1 - N_1^2)$.
3. Для варіанту-3 отримуємо значення ймо-

вірності, що дорівнює $(1-R_1^2)(1-N_1^2)$.

4. Для варіанту-4 знаходимо ймовірність правильного прогнозування його реалізації у вигляді $(1-R_1^2)N_1^1$.

Безумовна вірогідність правильного прогнозування реалізації всіх варіантів інвестування дорівнює сумі діагональних елементів матриці вірогідності реалізації варіантів інвестування. При рівноможливих апіорних ймовірностях розгляду цих варіантів вона дорівнює:

$$D = \frac{1}{4} [R_1^1 N_1^1 + R_1^1 (1-N_1^2) + (1-R_1^2) N_1^1 + (1-R_1^2) (1-N_1^2)], \quad (9)$$

а безумовна ймовірність помилки прогнозування реалізації всіх варіантів інвестування дорівнює

$$Q = 1 - D. \quad (10)$$

Неважко переконатися, що вірогідність прогнозування визначається лише двома факторами: ступенем перекриття щільності ймовірності (рис. 1, 2), тобто дисперсіями ознак (розмитістю інформації про фактичні можливі середні обсяги інвестування у сферу виробництва), та рівнем розрізнення пересічних гіпотез хоча б за однією ознакою. Останнє, у свою чергу, залежить від кількісного співвідношення між числом K варіантів, які підлягають реалізації, та числом n ознак, які забезпечують вирішення завдання вірогідного прогнозування. У всякому разі, вимога розрізнення пересічних гіпотез хоча б за однією ознакою з n використовуваних, як можна в цьому переконатися, зазвичай виконується в тому випадку, якщо кількість до розглянутих K варіантів не перевищує число 2^n . Отже, умова нормального розрізнення варіантів при прогнозуванні їх реалізації, в умовах пересічних гіпотез і розрізнення хоча б за однією ознакою, має вигляд:

$$K_{\max} \leq 2^n. \quad (11)$$

Приклад. Розглянемо на прикладі запропонований метод перевірки статистичних гіпотез для визначення та оцінки ймовірностей реалізації планових обсягів інвестицій, що спрямовані на сприяння стратегічного розвитку підприємства у випадку перетинання гіпотез про фактичні розподіли варіантів вітчизняних і іноземних джерел інвестування в умовах невизначеності випадкового та антагоністичного характеру. Нехай встановлено, що найбільш ймовірні значення ознак, тобто очікуваних обсягів інвес-

тування по кожному з варіантів, відомі і дорівнюють:

– для варіанту 1 і варіанту 2 середній очікуваний рівень інвестування ресурсів із вітчизняного джерела (внутрішніх фінансових і матеріальних ресурсів) у виробничу сферу (що в даний час недалеко від істини) близький до нульового і дорівнює $\alpha_1=0,041$;

– для варіанту 3 і варіанту 4 середній очікуваний рівень інвестицій запланований із вітчизняного джерела у виробничу сферу істотно вище і дорівнює $\alpha_2=0,653$;

– для варіанту 1 і варіанту 4 середній очікуваний рівень інвестицій запланований із іноземного джерела є порівняно невисоким і дорівнює $\beta_1=0,301$;

– для варіанту 2 і варіанту 3 середній очікуваний рівень інвестицій запланований із іноземного джерела помітно вище і дорівнює $\beta_2=0,778$.

За результатами очікуваних розподілів обсягів інвестицій у виробничу сферу, в умовах, коли фактичне значення кожного очікуваного обсягу інвестицій зазвичай має відхилення від очікуваного і розподіленого згідно із законом Релея, потрібно визначити:

а) значення ймовірностей правильного прогнозування можливості реалізованості кожного з варіантів використання інвестицій і умовні ймовірності помилкових рішень про можливість бути реалізованим кожного з варіантів;

б) елементи матриці вірогідності, маючи на увазі реально можливий попарний збіг розподілів обсягів інвестування;

в) значення умовних ймовірностей помилок прогнозування можливості реалізованості кожного варіанта;

г) значення безумовної ймовірності правильного прогнозування можливості реалізованості варіантів використання інвестицій, якщо відомо, що апіорні ймовірності розгляду варіантів сумірні;

д) значення безумовної ймовірності помилкового прогнозування реалізації варіантів.

Рішення: згідно (8) порогові значення розподілів обсягів інвестицій дорівнюють:

$$P_{10} = 2\alpha_1\alpha_2 \left[\frac{\ln\alpha_1 - \ln\alpha_2}{\alpha_1^2 - \alpha_2^2} \right]^{0,5} = 0,14;$$

$$P_{20} = 2\beta_1\beta_2 \left[\frac{\ln\beta_1 - \ln\beta_2}{\beta_1^2 - \beta_2^2} \right]^{0,5} = 0,7.$$

Отримаємо шукані рішення згідно із заданими умовами прикладу.

Відповідно до (7) ймовірності правильного прогнозування можливості реалізованості варіантів інвестування характеризуються наступною сукупністю результатів.

1. $R_1^1 N_1^1 = 0,889$.
2. $R_1^1 (1 - N_1^2) = 0,870$.
3. $(1 - R_1^2) (1 - N_1^2) = 0,855$.
4. $(1 - R_1^2) N_1^1 = 0,873$.

Згідно (6) з урахуванням (7) матриця F ймовірностей прогнозування можливості реалізованості варіантів, тобто вірогідності її прогнозування, має вигляд:

$$F = \begin{pmatrix} 0,889 & 0,107 & 0,003 & 0,001 \\ 0,126 & 0,870 & 0,001 & 0,003 \\ 0,019 & 0,003 & 0,873 & 0,105 \\ 0,002 & 0,019 & 0,123 & 0,855 \end{pmatrix}$$

Відповідно до (9), з огляду на (7), знаходимо безумовну ймовірність правильного прогнозування можливості реалізованості всієї сукупності досліджуваних варіантів:

$$D = \frac{1}{4} \left[R_1^1 N_1^1 + R_1^1 (1 - N_1^2) + (1 - R_1^2) N_1^1 + (1 - R_1^2) (1 - N_1^2) \right] = 0,87$$

Ймовірність помилкового прогнозування реалізації всієї сукупності варіантів інвестування відповідно до (10) дорівнює

$$Q = 1 - D = 0,13$$

Ймовірності помилкового прогнозування реалізації кожного з конкретних варіантів визначаються підсумовуванням ймовірностей помилок відповідного рядка матриці вірогідності (6), а саме, недіагональних елементів рядка. Отримуємо безумовні ймовірності помилок прогнозування реалізації варіантів.

1. Для варіанту-1 знаходимо величину у вигляді:

$$Q_1 = F_{12}^{11} + F_{21}^{11} + F_{22}^{11} = 0,111$$

2. Для варіанту-2 ця помилка (за умовами

прикладу) трохи вище і дорівнює

$$Q_2 = F_{11}^{12} + F_{21}^{12} + F_{22}^{12} = 0,130$$

3. Для варіанту-4 помилка практично не відрізняється від попередньої

$$Q_3 = F_{11}^{22} + F_{12}^{22} + F_{21}^{22} = 0,127$$

4. Для варіанту-3 отримуємо безумовну ймовірність помилки

$$Q_4 = F_{11}^{21} + F_{12}^{21} + F_{22}^{21} = 0,145$$

Висновки

1. Запропоновано метод перевірки статистичних гіпотез, який характеризується тим, що за допомогою застосування принципу компромісу і методу мінімаксу, стає можливою оцінка реалізації варіантів вкладення інвестицій у сферу виробництва для більш обґрунтованого прийняття рішення на етапі планування розвитку підприємства в умовах невизначеності.

2. Важливою є вимога розрізнення варіантів інвестування сфери виробництва хоча б за однією з ознак (обсягів використання інвестицій) для кожного з досліджуваних варіантів.

3. Розглянута модель для прогнозування можливості реалізованості варіантів інвестування в сферу виробництва, дозволяє отримати досить вірогідну інформацію і при попарній нерозрізненості очікуваних обсягів вкладення інвестицій в умовах конкуруючих варіантів інвестування.

4. Отримані аналітичні вирази, які описують розподіл вирішального правила при гіпотезі та альтернативі, що дає змогу визначати межі критичних областей та ймовірності помилок як для загальнішого двостороннього критерію, так і для модифікованого одностороннього.

5. Необхідно зазначити, що цей метод можна модифікувати для складніших випадків неоднаково розподілених та статистично залежних вибіркового даних, що і є завданням подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Фишберн П.* Теория полезности для принятия решения. – М.: Знание, 1978. – 290 с.
2. *Марси Д.* Стохастическая модель для прогнозирования технологических изменений. // Реф. сб. «Экономика промышленности», 1980. – № 1 – С.22-27.
3. *Demianchuk B.A., Kosariev V.M.* The theory of decision-

making on the basis of the model of useful and risk in the conditions of countering the competitors // Structural transformations and problems of information economy formation: Scientific monograph. – New York, United States of America: Ascona Publishing, 2018. – P.204-223.

4. Інноваційний, фінансово-економічний та технічний аспекти діяльності підприємств: Монографія. / За заг. ред. Л.М. Савчук. – Дніпро: Пороги, 2017. – 384 с.

5. Розвиток фінансового менеджменту в умовах хаотичного структурування економіки: Монографія. / За заг. ред. С.А. Кузнецової. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2015. – 277 с.

6. Овдій Л.І., Некрасова Я.А. Оцінка привабливості підприємств за допомогою статистичних моделей. // Економічні науки. – 2009. – № 4, – Т.2. – С.184-188.

7. Приймак І. Управління ризиком втраті фінансової стійкості підприємства в умовах невизначеності зовнішнього середовища // Формування ринкової економіки в Україні. – 2009. – Вип.19. – С.413-419.

8. Stuart A., Ord K., Arnold S. Kendall's Advanced Theory of Statistics: Volume 2A – Classical Inference & the Linear Model (Arnold) 1999, §20.2.

9. Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М.: Наука, 1979. – 408 с.

10. Parshina M.Y. Conceptual approach to strategic management system of the region potential use // Socio-economic problem of management: Collectiv monograf. – Melbourne, Australia: Thorpe-Bowker, 2015. – P.299-306.

11. Управління інвестиційним проектуванням на промисловому підприємстві. В.П. Валіков, В.В. Македон, В.П. Бондар, І.Г. Курінна / Structural transformations and problems of information economy formation: Scientific monograph. – New York, United States of America: Ascona Publishing, 2018. – P.73-87.

12. Косячук Т.Ф. Теоретичні засади оцінки ефективності діяльності підприємства за сучасних умов // Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. – 2014. – № 3(3). – С.113-116.

13. Городинська Д.М. Економічна стійкість підприємства // Актуальні проблеми економіки. – 2008. – № 10(42). – С.141-146.

14. Pearce J.A. Strategic Management: formulation, implementation and control // 8-th ed. – McGraw-Hill/Irwin, New York, 2008. – 1087 p.

15. Edvin J. Elton, Martin J. Gruber. Modern Portfolio Theory and Investment Analysis. – 7-th Edition. – USA: New York University, 2014. – 728 p.

16. Дем'янюк Б.О., Косарев В.М. Модель прогнозування реалізованості варіантів інвестування у сферу виробництва // Європейський вектор економічного розвитку. – Дніпропетровський університет імені Альфреда Нобеля, 2014. – № 2(17). – С.61-70.

Надійшла до редакції 11.05.2020

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗАЦИИ ВАРИАНТОВ ВЛОЖЕНИЯ ИНВЕСТИЦИЙ В СФЕРУ ПРОИЗВОДСТВА

Косарев В.М.

Использование иностранных и внутренних финансовых и материальных ресурсов является одной из составляющих современной концепции экономического и социального развития. Эффективному использованию этих ресурсов, как известно, препятствует не только традиционное расходование объемов имеющихся и необходимых ресурсов, но и неэффективное управление их использованием. Это управление направлено на решение задач: организации работ; контроля за целевым использованием средств; обоснованного распределения ресурсов; планированию вложения ресурсов; научно обоснованного прогнозирования реализации решений, принятых на этапе планирования. Статья посвящена решению последней из указанных задач. В данной работе, с помощью принципа компромисса и метода минимакса, предлагается вариант применения метода проверки статистических гипотез для оценки реализации вариантов вложения инвестиций в сферу производства для более обоснованного принятия решения на этапе планирования развития предприятия в условиях неопределенности. Задачей моделирования является определение и оценка вероятности реализации плановых объемов инвестиций, направленных на содействие стратегическому развитию предприятия в случае пересечения гипотез о фактических распределениях вариантов государственных и частных источников инвестирования в условиях неопределенности случайного и антагонистического характера. Доказано, что для оценки возможности реализации вариантов вложения инвестиций, находящихся в распоряжении органов управления экономическим развитием, а также в соответствующих статистических управлениях, имеющаяся информация о запланированных распределениях имеющихся или ожидаемых объемов инвестирования, то есть статистическая информация о признаках, является информационной основой для решения указанного задания. Вероятность прогнозирования реализации каждого из наблюдаемых вариантов оценивается путем вычисления вероятности принятия правильных решений и ошибок принятия решений при рассмотрении распределения объемов инвестиций, которые намечаются по каждому варианту их использования. Результаты применения метода способствуют совершенствованию управления реализацией инвестиций в сферу производства в сложных реальных условиях.

Ключевые слова: распределение объемов инвестиций, метод проверки статистических гипотез, стохастическая модель прогнозирования явлений, достоверность реализации плановых объемов инвестиций, компромиссное определение.

APPLICATION OF STATISTICAL HYPOTHESES TEST METHOD FOR EVALUATION OF INVESTMENT INVESTMENT OPTIONS IN THE PRODUCTION FIELD

Kosariiev V.M.

Alfred Nobel University, Dnipro, Ukraine

The use of foreign and domestic financial and material resources is one of the components of the modern concept of economic and social development. The efficient use of these resources is known to be hampered not only by the traditional discrepancy between the amount of resources available and required, but also by the inefficient management of their use. This management is aimed at solving problems: organization of work; control over the targeted use of funds; reasonable allocation of resources; resource investment planning; scientifically sound forecasting of the implementation of decisions made at the planning stage. The article is devoted to solving the last of these problems. In this paper, using the principle of compromise and the minimax method, we propose a variant of applying the method of testing statistical hypotheses to assess the implementation of investment options in the field of production for more informed decision-making at the planning stage of enterprise development in uncertainty. The task of modeling is to determine and estimate the probabilities of implementation of planned investments aimed at promoting the strategic development of the enterprise in case of intersection of hypotheses about the actual distribution of public and private sources of investment in conditions of random and antagonistic uncertainty. It is investigated that to assess the feasibility of investment options available to economic development management bodies, as well as in the relevant statistical offices, available information on the planned distribution of existing or expected investment, i.e. statistical information on characteristics, is the information basis for solving this task. The probability of forecasting the implementation of each of the observed options is estimated by calculating the probability of making the right decisions and decision-making errors when considering the distribution of investments that are planned for each option of their use. The results of the method contribute to the improvement of management of investments in the sphere of production in difficult real conditions.

Keywords: distribution of investment volumes, method of testing of statistical hypotheses, stochastic model of forecasting of phenomena, reliability of realization of planned volumes of investments, compromise determination.

REFERENCES

1. Fishbern P. *Teoriya poleznosti dlya prinyatiya resheniya* [Utility theory for decision making]. Moscow, Znanie, 1978, 290 p. (in Russian).
2. Marsi D. *Stokhasticheskaya model dlya prognozirovaniya tehnologicheskikh izmenenii* [Stochastic model for predicting technological change]. Ref. sbornic. *Ekonomika promyshlennosti* [Industrial Economics], 1980, no. 1, pp.22-27. (in Russian).
3. Demianchuk B.A., Kosariiev V.M. The theory of decision-making on the basis of the model of useful and risk in the conditions of countering the competitors. Structural transformations and problems of information economy formation: Scientific monograph. New York, United States of America: Ascona Publishing, 2018, pp.204-223.
4. *Innovacijni, finansovo-ekonomichni ta tekhnichni aspekti diyalnosti pidpriemstv* [Innovative, financial-economic and technical aspects of enterprise activity]: Monografij. Za zag. red. L.M. Savchuk. Dnipro: Porogi, 2017, 384 p. (in Ukrainian).
5. *Rozvitok finansovogo menedzhmentu v umovah haotichnogo strukturuvannya ekonomiki* [Development of financial management in the conditions of chaotic structuring of economy]: Monografij. Za zag. red. S.A. Kuznecovoi. Dnipropetrovsk: Akcent PP, 2015. 277 p. (in Ukrainian).
6. Ovdii L.I., *Ocinka privablivosti pidpriemstv za dopomogoyu statistichnykh modeley* [Estimation of attractiveness of enterprises by means of statistical models], *Ekonomichni nauky* [Economic sciences]. 2009, no. 4, vol.2, pp.184-188 (in Ukrainian).
7. Prijmak I. *Upravlinnya rizikom vtrati finansovoї stijkosti pidpriemstva v umovah neviznachenosti zovnishn'ogo seredovishcha* [Risk management of loss of financial stability of the enterprise in conditions of uncertainty of the external environment]. *Formuvannya rinkovoї ekonomiki v Ukraїni* [Formation of a market economy in Ukraine]. 2009, no. 19, pp.413-419.
8. Stuart A., Ord K., Arnold S. *Kendall's Advanced Theory of Statistics: 1999, Volume 2A—Classical Inference & the Linear Model (Arnold) §20.2.*
9. Leman E. *Proverka statistichnykh gipotez* [Testing statistical hypotheses]. Moscow, Nauka, 1979, 408 p. (in Russian).
10. Parshina M.Y. *Conceptual approach to strategic management system of the region potential use. Socio-economic problem of management: Collectiv monograf.* Melbourne, Australia: Thorpe-Bowker, 2015, pp.299-306.
11. Valikov V.P., Makedon V.V., Bondar V.P., Kurinna I.G. *Management of investment design at industrial enterprise. Structural transformations and problems of information economy formation: Scientific monograph.* New York, United States of America: Ascona Publishing, 2018, pp.73-87.
12. Kosiynchuk T.F. *Teoretichni zasadi ocinki efektyvnosti diyal'nosti pidpriemstva za suchasniy umov* [Theoretical bases of an estimation of efficiency of activity of the enterprise under modern conditions]. *Visnik Hmelnickogo nacionalnogo universitetu. Ekonomichni nauki* [Bulletin of Khmelnytsky National University. Economic sciences]. 2014, no. 3(3), pp.113-116 (in Ukrainian).
13. Gorodinska D.M. *Ekonomichna stijkist pidpriemstva* [Economic stability of the enterprise]. *Aktual'ni problemi ekonomiki* [Current economic problems]. 2008, no. 10(42), pp.141-146 (in Ukrainian).
14. Pearce J.A. *Strategic Management: formulation, implementation and control.* 8-th ed., McGraw-Hill/Irwin, New York, 2008, 1087 p.
15. Edvin J. Elton, Martin J. Gruber. *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis.* 7-th Edition. USA: New York University, 2014, 728 p.
16. Dem'janichuk B.A., Kosarev V.M. *Model prognozuvannya realizuemoosti variantiv investuvannya u sferu vyrobnyctva* [Model prediction realizuemoosti investment options in manufacturing]. *Evropeiskii vector ekonomichnogo rozvytku* [European vector of economic development], 2014, no. 2 (17), pp.60-69. (in Russian).

Косолап А.И.

ОПТИМИЗАЦИЯ В КОНЕЧНОМЕРНОМ ЕВКЛИДОВОМ ПРОСТРАНСТВЕ

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

В данной работе оптимизационные модели в евклидовом пространстве разделены на четыре классы сложности. Для решения задач первых двух классов сложности разработаны эффективные алгоритмы. Это прямо-двойственные методы внутренней точки. Дискретные и комбинаторные оптимизационные задачи третьего класса сложности рекомендуется преобразовывать к четвертому классу сложности с непрерывным изменением переменных. Для задач третьего и четвертого класса сложности в настоящее время не разработаны эффективные алгоритмы за исключением узкого класса задач, которые являются унимодальными. Общая задача оптимизации формулируется как минимум (максимум) целевой функции при наличии ограничений. Сложность задачи зависит от структуры целевой функции и ее ограничений. Если функции, определяющие оптимизационную модель являются квадратичными или полиномиальными, то для получения оценок решений в таких задачах может быть использовано полуопределенное программирование. Для задач полуопределенной оптимизации разработаны эффективные методы. Иногда достаточно разработать алгоритм без построения математической модели. Такой пример видим при сортировке массива чисел. Разработаны эффективные алгоритмы для решения этой задачи. В работе для задач сортировки построена оптимизационная модель, и она совпадает с моделью задачи о назначениях. Из этого следует, что задача сортировки является унимодальной. Для решения мультимодальных задач эффективные алгоритмы не разработаны. В работе предлагается простой и эффективный алгоритм для оптимального распределения ресурсов в многопроцессорных системах. Эта задача является мультимодальной. В общем случае, для решения мультимодальных задач предлагается метод точной квадратичной регуляризации. Этот метод доказал свою сравнительную эффективность при решении многих тестовых задач различной размерности.

Ключевые слова: евклидовое пространство, оптимизация, унимодальные задачи, мультимодальные задачи, классы сложности, численные методы.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-20-28

Постановка проблемы

В последние годы оптимизация находит широкое применение в любой сфере человеческой деятельности. Это экономика, финансы, технологические производства, управление, проектирование, информатика и многие другие области. Оптимизация, как выбор наилучших решений, необходима везде. Сейчас оптимизацию начали относить к междисциплинарной области исследований. Она включает две составляющие: построение оптимизационных моделей систем и их численное решение. Существуют классы оптимизационных моделей и исследуе-

мую систему можно описать той или иной оптимизационной моделью. Большинство моделей включают целевую функцию, зависящую от многих переменных. Необходимо найти значение этих переменных, при которых целевая функция будет принимать экстремальное (минимальное или максимальное) значение. Обычно на изменение переменных накладываются ограничения, которые задаются неравенствами или равенствами по отношению к некоторым функциям. Эти функции непрерывны и, как правило, дифференцируемы. Дифференцируемость упрощает построение эффективных численных

алгоритмов поиска экстремальной точки. Например, очень многие системы могут быть описаны оптимизационными моделями с квадратичными функциями, которые бесконечно раз дифференцируемы. Это упрощает построение эффективных алгоритмов.

Оптимизационные модели можно разделить на классы по их сложности. Самыми простыми являются линейные модели. Такие модели могут быть решены практически для любой размерности пространства (размерность равна числу переменных модели). Следующим классом являются выпуклые оптимизационные модели, в которых целевая функция является выпуклой функцией при условии ее минимизации и допустимое множество изменения переменных моделей также выпуклое. Для этого класса построены эффективные полиномиальные алгоритмы. Такие модели также могут быть решены практически для любых размерностей задачи. Следующий класс дискретных моделей, в которых переменные могут принимать только дискретные значения. Например, для многих комбинаторных задач оптимизационные модели содержат булевы переменные, которые могут принимать только два значения ноль или единица. Эта простота значительно усложняет поиск экстремальной точки. За исключением небольшого класса задач, эти модели можно отнести к третьему классу, для которого не разработаны эффективные алгоритмы поиска экстремальной точки. Существующие алгоритмы имеют экспоненциальную сложность. Это означает, что время решения таких задач будет расти экспоненциально при увеличении размерности задачи. Наконец, четвертый класс образуют невыпуклые оптимизационные модели. В этих моделях некоторые из функций могут быть невыпуклыми. Это порождает многоэкстремальность моделей, иногда их называют мультимодальными моделями. Существующие методы для решения таких задач позволяют находить только точки локального экстремума. Они не позволяют ответить на вопрос: найдено лучшее решение или только локально лучшее? Оптимизационная модель может содержать только выпуклые функции и относится к четвертому классу сложности. Это будет тогда, когда максимизируют выпуклую функцию или ограничения имеют вид равенств. Четвертый класс является наиболее большим и большинство реальных систем описываются моделями этого класса. Поэтому актуальной является задача разработки эффективных алгоритмов для третьего и

четвертого класса моделей.

Цель статьи

Целью настоящей работы является разработка эффективных алгоритмов для задач оптимизации третьего и четвертого класса сложности в конечномерном евклидовом пространстве.

Анализ последних исследований и публикаций

В настоящее время оптимизация является достаточно обширной областью исследований. Энциклопедия по оптимизации насчитывает 4646 стр. [1]. Укажем лучшие книги по оптимизации задач первых двух классов сложности [2,3]. Для этих задач разработано программное обеспечение, которое входит, практически во все математические пакеты, например, MathLab, Maple и другие [4,5]. Задачи дискретной и комбинаторной оптимизации рассматриваются в книгах [6,7]. В последние годы для решения этих задач используется полуопределенное программирование [8–10], которое преобразует дискретные задачи к квадратичным. Для задач четвертого класса сложности также разработано большое число алгоритмов [11,12]. В последние годы преобладают генетические и эволюционные алгоритмы, основанные на случайном поиске. С увеличением размерности задачи эффективность таких алгоритмов сильно снижается. Конкуренцию этим алгоритмам составляет метод точной квадратичной регуляризации [13].

Изложение основного материала

Любой набор всех переменных модели (их фиксированные значения) определяет точку в многомерном пространстве. Для того, чтобы множество точек было пространством в нем задают метрику (расстояние между точками). Различные метрики определяют разные пространства. Естественной метрикой является евклидова, которая определяет расстояние между двумя точками как длину отрезка, соединяющего эти точки. Большинство оптимизационных моделей рассматривают в евклидовом пространстве. Структура таких моделей является более простой.

После построения оптимизационной модели выбирается алгоритм для ее решения. Необходимо выбрать такой алгоритм, чтобы решить задачу за минимальное компьютерное время. Это не простая задача, так как число разработанных алгоритмов для решения оптимизационных задач очень большое. Иногда проще не строить математическую модель, а сразу находить эффективный алгоритм решения задачи. В этом случае говорится о компьютерном моделировании, так как алгоритм реализуется в виде ком-

пьютерной программы. Рассмотрим пример упорядочения массива n чисел a_i по возрастанию. Разработаны простые и эффективные алгоритмы такого упорядочения без построения оптимизационной модели. Построим теперь для этой задачи оптимизационную модель. Имеем:

$$\sum_{j=1}^n a_j x_{ij} \leq \sum_{j=1}^n a_j x_{i+1j}, \quad i = 1, \dots, n-1;$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad x = 0 \vee 1.$$

Здесь переменные x принимают только булевы значения. Заметим, что сумма

$$\sum_{i=1}^{n-1} (a_{i+1} - a_i) = a_n - a_1$$

принимает максимальное значение, если последовательность чисел a_i упорядочена по возрастанию. Однако она будет максимальной и для других упорядочений, которые не меняют a_1 и a_n . Поэтому рассмотрим следующую сумму

$$\sum_{i=1}^{n-1} (a_{i+1} - a_i).$$

Эта сумма будет максимальной на упорядоченной по возрастанию последовательности чисел a_i . Действительно, любая перестановка чисел приведет к уменьшению, по крайней мере, одного слагаемого рассмотренной суммы. Это приводит к следующей оптимизационной задаче

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \left(\sum_{j=1}^n a_j x_{i+1j} - \sum_{j=1}^n a_j x_{ij} \right) \mid \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \right.$$

$$\left. \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, x = 0 \vee 1 \right\}. \quad (1)$$

Задача (1) совпадает с задачей о назначениях

$$\max \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \mid \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \right.$$

$$\left. \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, x = 0 \vee 1 \right\}.$$

Для решения задачи (1) разработаны алгоритмы с числом операций порядка $O(n^3)$. В то время как для сортировки n чисел разработаны

алгоритмы с числом итераций порядка $O(n \log(n))$. Таким образом, задача сортировки чисел является частным случаем задачи о назначениях. Соответствующие коэффициенты c_{ij} для задачи (1) будут линейно зависимы.

Приведем еще один пример задачи, для которой непосредственное построение алгоритма является более предпочтительным. Рассмотрим задачу распределения заданий в многопроцессорной вычислительной системе. Такая система будет работать эффективно при равномерной загрузке всех процессоров. Будем предполагать, что имеется m процессоров и n заданий, $j=1, \dots, n$. Оптимизационная модель этой задачи будет иметь вид:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m t_j x_{ij} \right)^2 \mid \sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \right.$$

$$\left. i = 1, \dots, n, x = 0 \vee 1 \right\}, \quad (2)$$

где переменные принимают только булевы значения

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-е задание} \\ & \text{выполняется } j\text{-м процессором;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Целевая функция этой задачи равна сумме квадратов времен работы каждого процессора. Так как время обработки всех заданий постоянно, то разбиение этого времени на сумму квадратов слагаемых будет минимальным, если эти слагаемые равны. Это соответствует равномерной загрузке процессоров. Задача (2) содержит булевы переменные. Такие задачи решаются методом ветвей и границ. Однако даже для небольших размерностей $m=6, n=24$ время решения исчислялось часами, и при этом не всегда решение было точным.

Были рассмотрены другие модели этой задачи. Эта комбинаторная задача преобразуется к квадратичной мультимодальной задаче

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m t_j x_{ij} \right)^2 \mid \sum_{j=1}^m x_{ij} = t_j, \right.$$

$$\left. i = 1, \dots, n, \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}^2 \geq \sum_{j=1}^m t_j^2 \right\}. \quad (3)$$

В этой модели переменные x_{ij} равны времени выполнения i -го задания на j -м процессоре. Последнее ограничение исключает возможность выполнения одного задания разными процессорами. Действительно, если разбить время выполнения какого-то задания на части, то сумма квадратов этих частей уменьшится и последнее ограничение задачи (3) будет нарушено. Задача (3) мультимодальная, что связано с последним невыпуклым ограничением. Для ее решения использовался эволюционный поиск, и он показал лучшие результаты по сравнению с методом ветвей и границ для задачи (2) как по времени решения, так и по его точности. Еще лучшие результаты были получены при использовании метода точной квадратичной регуляризации для решения задачи (3).

Далее, для задачи (3) был разработан простой алгоритм распределения заданий по процессорам, эффективность которого превзошла все ожидания. Этот алгоритм включает следующую последовательность шагов.

Шаг 1. Упорядочим последовательность времен t_j по убыванию, разобьем ее на части по m заданий в каждой части (последняя часть может быть неполной) и пронумеруем процессоры.

Шаг 2. Будем назначать каждые m заданий части процессорам в порядке возрастания их номеров для нечетной части заданий и в порядке убывания номеров процессоров для четной части заданий.

Шаг 3. После распределения всех заданий определяем процессоры с максимальной и минимальной загрузкой. Посредством обмена заданиями минимизируем разность времен их работы. Этот процесс повторяем до тех пор, пока уравнивание станет невозможным.

Программная реализация этого алгоритма показала лучшие результаты при решении многих задач. Преимущество было как по равномерности загрузки процессоров, так и по времени решения, которое осуществлялось за доли секунды.

Можно привести и другие примеры задач, когда непосредственная разработка алгоритма дает лучшие результаты. Несколько таких алгоритмов разработано для сетевых задач. Недостатком непосредственной разработки алгоритмов является то, что такие алгоритмы часто эвристические и не гарантируют получение наилучшего решения. Построение таких алгоритмов сложнее построения оптимизационной модели. Поэтому для оптимизационных моделей разра-

ботано большое число методов и программ, готовых для решения конкретной задачи. Причем число таких методов и программ постоянно растет.

Остановимся на методах решения оптимизационных задач. В общем случае эти задачи можно записать в виде

$$\min \{f_0(x) \mid f_i(x) \leq 0, i=1, \dots, m, x \in E^n\},$$

где x — искомым n -мерный вектор (точка) евклидова пространства E^n .

Часть этих методов, которые излагаются в университетских курсах, уже давно не используются в практических приложениях. Например, методы проекции градиента или приведенного градиента малоэффективны. Такие методы как градиентного спуска или Франка-Вулфа были разработаны очень давно, но в последние годы модифицируются. Рассмотрим наиболее эффективные методы решения перечисленных выше классов моделей. Для линейных моделей вне конкуренции остаются симплекс-метод и прямо-двойственный метод внутренней точки. Задачи выпуклой оптимизации разбивают на два подкласса безусловной и условной оптимизации. Для безусловной оптимизации наиболее эффективными являются методы сопряженных направлений и квазиньютоновские методы. Для условной оптимизации лучшие результаты показывают прямо-двойственные методы внутренней точки. Для класса дискретных оптимизационных задач лучшим является метод ветвей и границ. На наш взгляд задачи этого класса следует преобразовывать к задачам четвертого класса с непрерывными переменными. Такое преобразование осуществить очень просто. Например, булевы переменные можно заменить квадратичным неравенством

$$\sum_{i=1}^n x_i(1-x_i) \leq 0, 0 \leq x_i \leq 1,$$

которому удовлетворяют только булевы переменные. Пример другого преобразования показан выше, при преобразовании задачи (2) к задаче (3).

Оптимизационные задачи четвертого класса представляют наибольший интерес, так как большинство прикладных задач относится к этому классу. Достаточно большим подклассом является класс общих квадратичных задач, которые формулируются следующим образом:

$$\min \{x^T A_0 x + b_0^T x \mid x^T A_i x + b_i^T x + c_i \leq 0, i=1, \dots, m\}. \quad (4)$$

Здесь неизвестная переменная $x \in E^n$ — точка n -мерного евклидова пространства, все матрицы A_i — симметричные. Если все матрицы A_i — положительно полуопределенные, то задача (4) становится выпуклой. Существует большое число прикладных задач, которые могут быть описаны моделью (4), в частности, рассмотренная выше задача (3) является квадратичной. Задача (4) может иметь большое число локальных минимумов, например, 2^n . Эффективность решения задачи (4) локальным методом, например, прямо-двойственным методом внутренней точки, зависит от выбора начальной точки. Если эта точка выбрана вблизи точки глобального минимума, то задача (4) будет решена. Однако проверить это практически невозможно. Тем не менее, первыми методами для решения задач четвертого класса и задач (4), в частности, были методы мултистарта. В этих методах выбиралось большое число начальных точек, покрывающих допустимую область задачи, и для каждой такой точки решалась задача локальным методом. Среди найденных решений выбиралось наилучшее. Однако такой метод в n -мерном пространстве является неэффективным. Для многих начальных точек будем получать одно и то же решение, возможность покрыть достаточно плотно допустимое множество уже для 10-мерного пространства невозможно. Практические задачи требуют решения в пространстве размерности сотен и десятки тысяч переменных. Кроме того, допустимая область задачи часто имеет сложную структуру и поиск даже допустимой точки в таких задачах является проблемным. В дальнейшем метод мултистарта был модифицирован и последовательность начальных точек выбиралась случайным образом в соответствии с некоторым алгоритмом. Распространение получили генетические, эволюционные алгоритмы и другие подобные алгоритмы, которые используют результаты предыдущих итераций для поиска новых начальных точек. Для проверки эффективности этих алгоритмов было разработано большое число (больше тысячи) сложных мултимодальных тестовых задач. Большинство этих задач имеют известную точку глобального минимума. Для некоторых таких мултимодальных задач новые методы показали хорошие результаты. Однако для многих задач эти результаты были далеки от оптимальных. Можно приспособить эти методы для одних тестовых задач, но они не будут работать для других. Несмотря на продолжающиеся исследования в этой области прогресс в

этом направлении маловероятен.

Особенностью мултимодальных задач является то, что для них не существует подклассов с простыми решениями. Одним из общих подходов для решения задач (4) является полуопределенная оптимизация. Задачу (4) можно записать в виде:

$$\min\{Q_0 \bullet X \mid Q_i \bullet X \leq 0, i=1, \dots, m, X \succeq 0\}, \quad (5)$$

где неизвестной является переменная полуопределенная матрица X ранга единица. Обозначение $C \bullet X$ означает скалярное произведение двух матриц

$$C \bullet X = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}.$$

Все матрицы Q_i — симметричные и выражаются через параметры задачи (4) следующим образом:

$$X = \begin{pmatrix} 1 & x^T \\ x & xx^T \end{pmatrix}, \quad Q_0 = \begin{pmatrix} 0 & \frac{b_0^T}{2} \\ \frac{b_0}{2} & A_0 \end{pmatrix}, \quad Q_i = \begin{pmatrix} c_i & \frac{b_i^T}{2} \\ \frac{b_i}{2} & A_i \end{pmatrix}.$$

Если опустить условие того, что ранг матрицы равен единице, то задача (5) станет выпуклой. В этом случае, ее решение будет определять решение задачи (4), если ранг оптимальной матрицы X равен единице. В противном случае, будет получена нижняя оценка решения задачи (4). В работе [8] показано как эта нижняя оценка может быть улучшена. В частности, решение задачи (5) может быть использовано в качестве начальной точки для решения задачи (4) локальным методом. Для решения задачи (5) разработаны эффективные методы, это — прямо-двойственный метод внутренней точки и полуопределенный симплекс-метод. Решение задачи (5) будет достигаться на границе допустимой области, что обусловлено линейной целевой функцией по отношению матрицы X . Это означает, что решение задачи (5) будет достигаться на границе допустимой области, в частности на границе полуопределенного конуса $X \succeq 0$. Образующими этого конуса являются матрицы ранга единица. Поэтому, если решение достигается на одной из этих образующих, то получаем точное решение. Вычислительные эксперименты показывают, что во многих случаях получаем нижние оценки далекие от оптимальных. При переходе от задачи (4) к задаче (5) увели-

чивается размерность задачи. Например, простые ограничения $x_i \geq 0$ для каждого i необходимо заменить матричным ограничением. Если размерность задачи (4) $n=100$, то в задачу (5) необходимо добавить 100 матриц размера $(n+1) \times (n+1)$. Тем не менее, в последние годы для решения задач (5) используется преимущественно полуопределенная оптимизация. Она не ограничивается задачами (5) и используется также для полиномиальных задач.

Одной из проблем в разработке эффективных методов для решения мультимодальных задач является сложность структуры ограничений. Например, невыпуклая область

$$\{x \mid 4(x_2 + 1)\cos(x_1) + 3(x_1 + 1)\cos(x_2) \leq 4\},$$

изображенная на рис. 1, является достаточно сложной для поиска оптимальной точки.

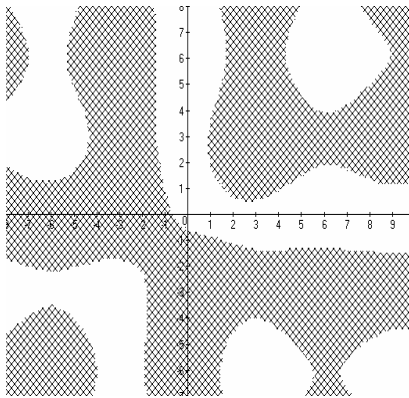


Рис.1. Невыпуклая допустимая область

Однако после квадратичной регуляризации

$$\{x \mid 4(x_2 + 1)\cos(x_1) + 3(x_1 + 1)\cos(x_2) + 10(x_1^2 + x_2^2) \leq 100\}$$

она становится выпуклой (рис. 2).

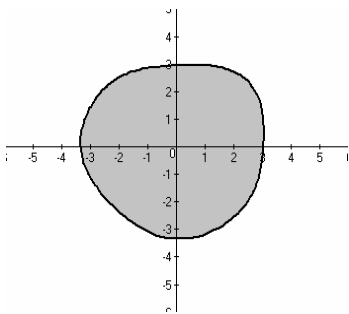


Рис. 2. Выпуклая область

Допустимую точку в выпуклой области найти очень легко, что нельзя сказать о предыдущей области.

Квадратичная регуляризация используется для преобразования задач оптимизации четвертого класса к виду:

$$\max \{\|x\|^2 \mid x \in S\}, \tag{6}$$

где $\|x\|^2$ – квадрат евклидовой нормы вектора, а S – выпуклое множество. Для задачи (5) преобразованная задача будет иметь вид:

$$\max \{ \|x\|^2 \mid x^T A_0 x + b_0^T x + s + (r-1) \|x\|^2 \leq d, \tag{7}$$

$$x^T A_i x + b_i^T x + c_i + r \|x\|^2 \leq d, i = 1, \dots, m \},$$

где параметр $r > 0$ выбирается таким, чтобы допустимое множество задачи (7) было выпуклым, а параметр s таким, чтобы первое ограничение задачи (7) в точке максимума было активным. Норма вектора $\|x\|$ содержит $n+1$ переменную. Задача (7) содержит еще одну новую переменную d , значение которой находим методом дихотомии. Последовательно увеличивая значение d , для каждого его значения решаем задачу (7) прямо-двойственным методом внутренней точки. Найденную точку x проверяем на выполнение условия $r\|x\|^2 = d$. Если это условие выполняется с заданной точностью и значение d минимально, то решение задачи (7) совпадает с решением задачи (5).

Задача (6) в общем случае мультимодальная, но для некоторых выпуклых множеств S она преобразуется к унимодальной. Это будет тогда, когда множество S – правильный многогранник, прямоугольный параллелепипед, вписанный в шар многогранник, либо в каждой точке выпуклой поверхности S ее кривизна больше кривизны шара с центром в начале координат. Сегодня метод точной квадратичной регуляризации является лучшим выбором при решении мультимодальных задач, что подтверждается многочисленными сравнительными экспериментами.

Рассмотрим практику решения мультимодальных задач методом точной квадратичной регуляризации на примере задачи (5). Выбираем значение параметра $r > 0$ для которого все матрицы $A_i + (r-1)I$ будут положительно определенные. Для этого достаточно, чтобы они были с преобладающей главной диагональю. Параметр s должен удовлетворять условию $s \geq \|x^*\|^2 - f_0(x^*)$, где x^* – решение задачи (5). Так как решение x^* за-

дачи (5) неизвестно, то необходимо произвести оценку значения s , которая будет уточняться в ходе решения задачи. Далее воспользуемся программой локальной оптимизации. Такие программы есть в математических пакетах, например MathLab или Maple. В открытом доступе в Internet есть программа OpenSolver, являющаяся надстройкой Excel. Для начала решения задачи (7) потребуется минимальное значение переменной d , которое находим, решая задачу выпуклой оптимизации заданной программой

$$\begin{aligned} \min \{ & d \mid x^T A_0 x + b_0^T x + s + (r-1) \|x\|^2 \leq d, \\ & x^T A_i x + b_i^T x + c_i + r \|x\|^2 \leq d, \\ & i = 1, \dots, m, r \|x\|^2 \leq d \}. \end{aligned}$$

Если в найденном решении x^0 , d_0 последнее ограничение является активным, т.е. $r\|x^0\|^2 = d_0$, то x^0 – решение задачи (5) при условии, что параметр s удовлетворяет приведенным выше условиям. Если же $r\|x^0\|^2 < d_0$, то значение d необходимо последовательно увеличивать с определенным шагом до достижения условия $r\|x^k\|^2 = d_k$, где x^k – решение задачи (7) при $d = d_k$. Как правило, с ростом значения d последовательность $f_0(x^k)$ убывает. Ее возрастание возможно, в таких случаях необходимо уменьшить шаг изменения переменной d . Такая процедура изменения d называется дихотомией. Процесс изменения d и решение задачи (7) локальным поиском продолжается до выполнения условия $r\|x^k\|^2 = d_k$ с заданной точностью. Эффективность рассмотренного алгоритма можно увеличить посредством смещения допустимой области задачи вдоль биссектрисы положительного ортанта

$$\min \{ f_0(x-h) \mid f_i(x-h) \leq 0, i=1, \dots, m, x \in E^n \},$$

где $h > 0$. При таком смещении кривизна поверхности выпуклого множества S не меняется, а кривизна шара убывает, что приводит к уменьшению модальности задачи.

Эффективность рассмотренного метода точной квадратичной регуляризации подтверждается многочисленными сравнительными экспериментами на решении сложных тестовых задач. Приведем пример решения задачи Rana в 100-мерном евклидовом пространстве:

$$\min \left\{ \sum_{i=1}^{n-1} \left[(x_{i+1} + 1) \cos \left(\sqrt{|x_{i+1} - x_i + 1|} \right) \times \right. \right.$$

$$\left. \times \sin \left(\sqrt{|x_{i+1} - x_i + 1|} \right) \right] - 520 \leq x \leq 520 \left. \right\}.$$

На этой задаче в течении десятков лет проверяются все новые алгоритмы. Лучший результат для этой функции $f(x^*) = -41047,18$, без указания точки минимума x^* , приведен в работе [14]. В тоже время метод точной квадратичной регуляризации позволил найти значительно лучшее значение минимума этой функции $f(x^*) = -50855,784$.

Выводы

В данной работе оптимизационные задачи разбиты на четыре класса сложности. Для первых двух классов разработаны эффективные методы поиска экстремума. Дискретные задачи рекомендуется преобразовывать к непрерывным квадратичным задачам. Для решения задач четвертого класса сложности предлагается метод точной квадратичной регуляризации. Для некоторых мультимодальных задач, например, задач оптимального распределения ресурсов в многопроцессорных системах в данной работе построены простые и эффективные алгоритмы без построения оптимизационной модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Encyclopedia of Optimization / Editors C.A. Floudas, P.M. Pardalos. – Springer, 2009. – 4646 p.
2. Luenberger D.G., Ye Y. Linear and nonlinear programming. – Springer, 2008. – 546 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74503-9>
3. Nocedal J., Wright S.J. Numerical optimization. – Springer, 2006. – 685 p.
4. Ye Y. Optimization in Practice with MATLAB for Engendering students and Professionals. – Cambridge University Press. – 2015. – 469 p.
5. Venkataraman P. Applied Optimization with MATLAB Programming. Second Edition. – John Wiley & Sons, INC, Hoboken, 2015. – 524 p.
6. Ye Y. Semidefinite programming. – Stanford University, 2003. – 161 p.
7. Ding Y. On Efficient Semidefinite Relaxations for Quadratically Constrained Quadratic Programming. – Waterloo: Ontario, Canada. – 2007. – 68 p.
8. Косолап А.И., Петятяко А.С. Полуопределенное программирование и его приложения. – Днепр: ПГАСА, 2018. – 148 с.
9. Korte B., Vygen J. Combinatorial Optimization Theory and Algorithms. Third Edition. – Springer, 2006. – 595 p.

10. Chen D.S., Batson R.G., Dang Y. Applied Integer Programming. Modeling and Solution. – John Wiley & Sons, INC, Hoboken. – 2010. – 462 p.

<https://doi.org/10.1002/9781118166000>

11. Horst R., Tuy H. Global Optimization: Deterministic Approaches; 3rd ed., Berlin: Springer-Verlag, 1996. – 727 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03199-5>

12. Kenneth V.P., Storn R.M., Lampinen J.A. Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. – 542 p.

13. Косолап А.И. Глобальная оптимизация. Метод точной квадратичной регуляризации. – Д.: ПГАСА, 2015. – 164 с.

14. Jamil M., Yang X.S. A literature survey of benchmark functions for global optimization problems // Int. J. Math. Model Numer. Optim. – Vol. 4. – № 2. – 2013 – P.150-194.

<https://doi.org/10.1504/IJMMNO.2013.055204>

Поступила в редакцию 30.06.2020

ОПТИМІЗАЦІЯ В СКІНЧЕННОВИМІРНОМУ ЕВКЛІДОВОМУ ПРОСТОРИ

Косолап А.І.

У даній роботі оптимізаційні моделі в евклідовому просторі розділені на чотири класи складності. Для розв'язування задач перших двох класів складності розроблені ефективні алгоритми. Це прямо-двоїсті методи внутрішньої точки. Дискретні і комбінаторні оптимізаційні задачі третього класу складності рекомендується перетворювати до четвертого класу складності з безперервними змінними. Для задач третього і четвертого класу складності в даний час не розроблені ефективні алгоритми за винятком вузького класу задач, які є унімодальними. Загальна задача оптимізації формулюється як мінімум (максимум) цільової функції при наявності обмежень. Складність такої задачі залежить від структури цільової функції і її обмежень. Якщо функції, що визначають оптимізаційну модель є квадратичними або поліноміальними, то для отримання оцінок розв'язків в таких задачах може бути використано напіввизначене програмування. Для задач напіввизначеної оптимізації розроблені ефективні методи. Іноді досить розробити алгоритм без побудови математичної моделі. Такий приклад бачимо при сортуванні масиву чисел. Розроблено ефективні алгоритми для розв'язування цієї задачі. В роботі для задач сортування побудована оптимізаційна модель, і вона співпадає з моделлю задачі про призначення. З цього випливає, що задача сортування чисел є унімодальною. Для розв'язування мультимодальних задач ефективні алгоритми не розроблені. У роботі пропонується простий і ефективний алгоритм, для оптимального розподілу ресурсів в багатопроцесорних системах. Ця задача є мультимодальною. У загальному випадку, для розв'язування мультимодальних задач пропонується метод точної квадратичної регуляризації. Цей метод довів свою порівняльну ефективність при розв'язуванні багатьох тестових задач різної розмірності.

Ключові слова: Евклідовий простір, оптимізація, унімодальна задача, мультимодальна задача, класи складності, чисельні методи.

OPTIMIZATION IN A FINITE-DIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE

Kosolap A.I.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

In this paper, optimization models in Euclidean space are divided into four complexity classes. Effective algorithms have been developed to solve the problems of the first two classes of complexity. These are the primal-dual interior-point methods. Discrete and combinatorial optimization problems of the third complexity class are recommended to be converted to the fourth complexity class with continuous change of variables. Effective algorithms have not been developed for problems of the third and fourth complexity classes, with the exception of a narrow class of problems that are unimodal. The general optimization problem is formulated as a minimum (maximum) objective function in the presence of constraints. The complexity of the problem depends on the structure of the objective function and its feasible region. If the functions that determine the optimization model are quadratic or polynomial, then semidefinite programming can be used to obtain estimates of solutions in such problems. Effective methods have been developed for semidefinite optimization problems. Sometimes it's enough to develop an algorithm without building a mathematical model. We see such an example when sorting an array of numbers. Effective algorithms have been developed to solve this problem. In the work for sorting problems, an optimization model is constructed, and it coincides with the model of the assignment problem. It follows from this that the sorting problem is unimodal. Effective algorithms have not been developed to solve multimodal problems. The paper proposes a simple and effective algorithm for the optimal allocation of resources in multiprocessor systems. This problem is multimodal. In the general case, for solving multimodal problems, a method of exact quadratic regularization is proposed. This method has proven its comparative effectiveness in solving many test problems of various dimensions.

Keywords: Euclidean space, optimization, unimodal problems, multimodal problems, complexity classes, numerical methods.

REFERENCES

1. Encyclopedia of Optimization. Editors C.A. Floudas, P.M. Pardalos, Springer, 2009, 4646 p.
2. Luenberger D.G., Ye Y. Linear and nonlinear programming. Springer, 2008, 546 p. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74503-9>
3. Nocedal J., Wright S.J. Numerical optimization. Springer, 2006, 685 p.
4. Ye Y. Optimization in Practice with MATLAB for Engineering students and Professionals. Cambridge University Press, 2015, 469 p.
5. Venkataraman P. Applied Optimization with MATLAB Programming. Second Edition, John Wiley & Sons, INC, Hoboken, 2015, 524 p.
6. Ye Y. Semidefinite programming. Stanford University, 2003, 161 p.
7. Ding Y. On Efficient Semidefinite Relaxations for Quadratically Constrained Quadratic Programming. Waterloo: Ontario, Canada, 2007, 68 p.

8. Kosolap A.I., Peretiatico A.S. *Poluopredelennoe programirovanie i ego prilozheniya* [Semi-Defined programming and its applications]. Dnepr: PGASA, 2018, 148 p. (in Russian).

9. Korte B., Vygen J. *Combinatorial Optimization Theory and Algorithms*. Third Edition. Springer, 2006, 595 p.

10. Chen D.-S., Batson R.G., Dang Y. *Applied Integer Programming. Modeling and Solution*. John Wiley & Sons, INC, Hoboken, 2010, 462 p. <https://doi.org/10.1002/9781118166000>

11. Horst R., Tuy H. *Global Optimization: Deterministic Approaches*; 3rd ed., Berlin: Springer-Verlag, 1996, 727 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-03199-5>

12. Kenneth V.P., Storn R.M., Lampinen J.A. *Differential Evolution. A Practical Approach to Global Optimization*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005, 542 p.

13. Kosolap A.I. *Globalinaya optimizatsiya. Metod tochnoj kvadrachnoj regularizatsii* [Global optimization. The method of exact quadratic regularization]. Dnepr: PGASA, 2015, 164 p. (in Russian).

14. Jamil M, Yang X.S. A literature survey of benchmark functions for global optimization problems. *Int. J. Math. Model Numer. Optim.*, 2013, vol. 4., no. 2, pp.150-194. <https://doi.org/10.1504/IJMMNO.2013.055204>

УДК 51-76:577.29

Олевская Ю.Б.^а, Олевский В.И.^б, Тымчий Е.И.^б, Олевский А.В.^в

МЕТОД НЕЧЕТКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ АТОМНО-АБСОРБЦИОННОМ СПЕКТРАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

^а ГВУЗ «Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», г. Днепр, Украина^б ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина^в ГВУЗ «Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара», г. Днепр, Украина

Вследствие техногенного воздействия на биосферу и ее составляющие, значительное количество тяжелых металлов и радионуклидов оказываются в окружающей среде. Одним из основных направлений улучшения экологических составляющих безопасности окружающей среды является биотрансформация донных отложений водоемов, содержащих тяжелые металлы, с помощью вермиккультуры в биологически безопасное органическое удобрение. Оценка концентрации тяжелых металлов в донных отложениях является актуальной задачей, решение которой позволит сохранить природную среду, улучшить состояние почв и как следствие – здоровье человека. Проблемой использования донных залежей в этом случае является точность определения содержания в них различных тяжелых металлов, которые влияют на жизнедеятельность дождевых червей. Валовую и подвижную формы тяжелых металлов в опытных субстратах наиболее точно можно определять методом атомно-абсорбционного спектрального анализа. Атомно-абсорбционный анализ – метод аналитической химии, основанный на селективном поглощении (абсорбции) электромагнитного излучения определенной длины волны свободными от всех молекулярных связей нейтральными атомами определяемого элемента. В процессе абсорбции электрон переходит с основного энергетического уровня на более высокий в результате фотонного возбуждения. При этом интенсивность возбуждающего света данной частоты уменьшается. Точному количественному определению зачастую препятствуют значительные матричные помехи и неоднородное распределение аналита. Для достижения точности и достоверности метода, необходимых для вермиккультурирования, в настоящей работе предлагается модификация метода анализа путем применения нечеткого моделирования результатов эксперимента. С математической точки зрения процесс построения градуировочного графика может быть реализован при помощи процедуры построения нечеткой шкалы в методе расшифровки веса белков при электрофорезе. Описан алгоритм определения нечеткой концентрации металла по данным атомно-абсорбционного сигнала с последующей дефазификацией полученной нечеткой концентрации для анализа и практического использования.

Ключевые слова: нечеткое моделирование, спектральный анализ, тяжелые металлы.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-29-36

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами

Вследствие техногенного воздействия на биосферу и ее составляющие, значительное количество тяжелых металлов и радионуклидов

оказывается в окружающей среде. Интенсификация миграционных процессов этих соединений в экосистемах обуславливает актуальность контроля их содержания в объектах, в том числе в донных отложениях водоемов, на которых

© Олевская Ю.Б., Олевский В.И., Тымчий Е.И., Олевский А.В., 2020

The method of fuzzy determination of the concentration of heavy metals in the atomic absorption spectral analysis of bottom sediments

происходит влияние как природных, так и антропогенных факторов. Следует отметить, что донные отложения имеют свойство аккумулировать такие екополютанты, как тяжелые металлы. Поэтому, учитывая экологические составляющие безопасности окружающей среды, особого внимания заслуживает изъятия донных отложений водоемов, и их биотрансформация с помощью вермикультуры дождевых червей в биологически безопасное органическое удобрение [1–3]. Проблемой использования донных залежей является определение содержания в них различных тяжелых металлов. Все дело в концентрации химического элемента в среде обитания: при дефиците его содержания для живых организмов он рассматривается как микроэлемент, при избытке — как тяжелый металл [4]. Оценка концентрации тяжелых металлов в донных отложениях является актуальной задачей, решение которой позволит сохранить природную среду, улучшить состояние почв и как следствие — здоровье человека. Валовую и подвижную формы тяжелых металлов в опытных субстратах наиболее точно можно определять методом атомно-абсорбционного спектрального анализа [5–7]. Метод обеспечивает нахождение элементов с концентрацией $1 \times 10^{-4} \div 6 \times 10^{-3}$ г/м³, что дает возможность анализировать донные отложения без предварительного концентрирования элементов. Точному количественному определению зачастую препятствуют значительные матричные помехи и неоднородное распределение аналита [6]. Таким образом, повышение точности и надежности метода представляет существенный практический интерес.

Анализ публикаций, выделение нерешённых частей проблемы

Благодаря автоматизации и компьютеризации, атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) по-прежнему, является одним из наиболее универсальных, быстрых и недорогих методов анализа проб в любом физическом состоянии, так как обеспечивает пределы обнаружения большинства элементов на уровне и ниже кларковых содержаний и высокую геохимическую информативность данных, как о валовом содержании, так и о формах присутствия элемента в пробе [8]. В ААС для атомизации вещества и возбуждения атомов используют пламя, дуговой и искровой разряды, индуктивно связанную плазму или лазер. Разнообразие вариантов атомизации позволяет широко использовать прямые методики анализа различных по составу и свойствам проб. Общей проблемой для

всех типов атомно-абсорбционных спектрометров является очень интенсивное неселективное поглощение, возникающее при непосредственной атомизации таких объектов, как почва, пищевые продукты, горные породы, нефть и многих других. Это приводит к неопределенности данных, снижению эффективности спектрометров и ухудшению их чувствительности.

Имеется значительное количество работ, посвященных использованию ААС для анализа техногенных отходов, рек, почв и донных отложений. Так, например, в работе [9] показана важность измерения тяжелых металлов (свинец, кадмий, марганец, цинк, кобальт, никель, медь) в реке Днестр и проведено их исследование атомно-абсорбционным методом с помощью спектрофотометра ААС-115-М1 с полый лампой для соответствующих металлов. В работе [10] сравнены методы подготовки проб при определении мышьяка и ртути в грунтах с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии. Показана целесообразность применения метода атомно-абсорбционной спектроскопии с использованием современных высокотехнологичных спектрометров. По результатам исследования выявлены проблемные узлы в существующих схемах анализа.

Перечисленные работы имеют главной целью повышение точности ААС при анализе разнородных веществ за счет модификации технических средств и методологии подготовки образцов. При этом существуют работы, где особое внимание уделяется совершенствованию методов обработки и интерпретации результатов испытаний. Так, например, в работе [11] проанализировано совершенствование схем анализа почв и донных отложений с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии. Работа состояла в совершенствовании схем элементного анализа геохимических объектов и оптимизации схемы экстракции для определения элементов в почвах и донных отложениях на основе использования кластеризованных ранжировок для выбора сочетания способов подготовки проб с различными вариантами атомно-абсорбционной спектрометрии. Автором в рамках теории принятия решений показано, что эффективными являются методы прикладной статистики объектов нечисловой природы, позволяющие сократить продолжительность анализа и улучшить метрологические характеристики результатов.

Таким образом, перспективным представляется улучшение точности и надежности коли-

качественного определения концентрации тяжелых металлов в донных отложениях на основе качественно новых методов расшифровки результатов испытаний образцов.

Формулирование целей статьи и постановка задачи

Задачей настоящей работы является разработка метода нечеткого определения концентрации тяжелых металлов при атомно-абсорбционном спектральном анализе донных отложений. С этой целью в работе производится адаптация ранее разработанного нами метода нечеткого определения массы белков при гелелектрофорезе [12,13].

Изложение основного материала исследования

Атомно-абсорбционный анализ – метод аналитической химии, основанный на селективном поглощении (абсорбции) электромагнитного излучения определенной длины волны свободными от всех молекулярных связей нейтральными атомами определяемого элемента. В процессе абсорбции электрон переходит с основного энергетического уровня на более высокий в результате фотонного возбуждения. При этом интенсивность возбуждающего света данной частоты уменьшается (рис. 1). Для получения спектра необходимо произвести атомизацию вещества пробы, т.е. превращение ее в атомные пары, для чего его раствор распыляют в пламени или испаряют сухой остаток раствора в электрической печи в интервале температур 2000–3000°C. В этом температурном интервале более 90% атомов находятся в невозбужденном состоянии и окружающие атомы и молекулы не могут его изменить и, следовательно, не могут повлиять на величину атомного поглощения. Этот факт, наряду с малым количеством линий поглощения, обуславливает высокую избиратель-

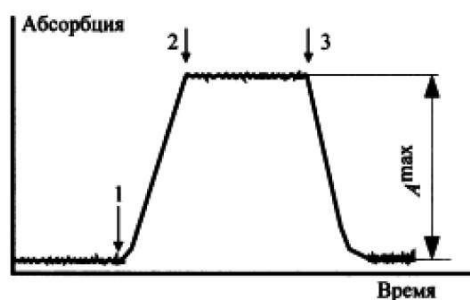


Рис. 1. Изменение сигнала атомного поглощения во времени при равномерном введении пробы: 1 – момент ввода пробы; 2 – момент установления максимального постоянного сигнала A^{\max} ; 3 – момент выключения подачи пробы

ность атомно-абсорбционного метода.

Все методы количественного спектрального анализа являются относительными, определение неизвестной концентрации базируется на сравнении интенсивностей спектральных линий в спектрах проб и стандартных образцов. Это связано с тем, что практически невозможно установить точную количественную связь между интенсивностью испускания или поглощения спектральной линии атома какого-либо элемента с его концентрацией в пробе. Процессы атомизации пробы и возбуждения атомов в используемых источниках света чрезвычайно сложны и до настоящего времени не разработаны методы их количественного описания [6,7]. Поэтому «абсолютные» методы спектрального анализа пока не существуют. Правильность результатов в значительной степени определяется соответствием состава и физико-химических свойств стандартных образцов и анализируемых проб.

Теоретически для анализа результатов ААС используется линейная зависимость Бугера-Ламберта-Бера между концентрацией элемента в пробе C и оптической плотностью пламени I при постоянной длине оптического пути l вида $I = kCl$.

Практически определение концентрации проводят методами градуировочного графика, стандартных добавок или ограничивающих растворов [7]. В методе калибровочного графика, который дает наиболее точное описание зависимости, определение содержания элемента в пробе проводят с использованием экспериментально установленной функциональной зависимости между аналитическим сигналом и концентрацией элемента в градуировочном растворе. Неизвестная концентрация определяется сравнением интенсивностей спектральных линий в спектрах пробы и маркеров. Строится градуировочный график зависимости интенсивности линий в спектрах атома определяемого элемента от его концентрации в маркерах (рис. 2). Неизвестная концентрация определяется на основе измеренной интенсивности в спектре пробы интерполяцией по градуировочному графику. После этого определяют оптическую плотность при анализе исследуемого образца и, путем сравнения с графиком, находят концентрацию определяемого компонента.

Возможная форма атомно-абсорбционного сигнала, характерного для реальных проб аналита донных отложений, приведена на рис. 3.

Анализ сигнала атомного поглощения при малом шуме (рис. 3,а), а также при среднем

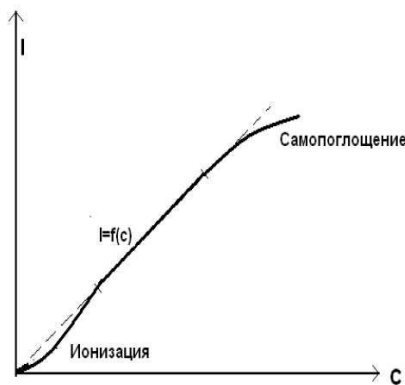


Рис. 2. Градуировочный график $I=f(C)$

(рис. 3,б) и большом допустимом шуме (рис. 3,в) приводит к заключению, что изучаемая величина является нечеткой [10].

Поэтому исследования концентрации необходимо производить с позиций нечеткого анализа данных. Не трудно заметить, что с математической точки зрения процесс построения градуировочного графика с учетом этого может быть реализован при помощи процедуры построения нечеткой шкалы в методе расшифровки веса белков при электрофорезе [12,13]. Действительно, рассмотрим отображение вектора $X = \{x_i\}_{i=1}^n$ четких числовых значений влияющих факторов в нечеткое значение функции отклика yt в форме:

$$X \rightarrow yt = \int_{y \in [\min y, \max y]} \frac{\mu(yt, y)}{y}, \quad (1)$$

где $\mu(yt, t)$ – функция принадлежности нечеткого числа yt на носителе $[\min y, \max y]$

$$[\min y, \max y] = \text{supp}(yt). \quad (2)$$

Предполагается, что искомое нечеткое число может быть описано параметрической функцией принадлежности одного типа на всем фак-

торном пространстве. Обозначим эту функцию принадлежности $mf(y, Z)$, где Z есть вектор параметров функции принадлежности, и аппроксимируем зависимость $Z=f(X, P)$ системой регрессионных моделей с коэффициентами P . Каждая из них связывает влияющие факторы с одним параметром функции принадлежности нечеткого числа y . Таким образом, получается зависимость вида

$$mf(y, Z) = mf(y, f(X, P)). \quad (3)$$

Нечеткая обучающая выборка берется для m пар данных

$$(X_r, yt_r); \quad r \in \overline{1, m}, \quad (4)$$

где $X_r = \{x_{ri}\}_{i=1}^n$ – входной вектор в r -ой строке образца, и

$$yt_r = \int_{y \in [\min y, \max y]} \frac{\mu(yt_r, y)}{y} \quad (5)$$

соответствующий отклик в виде нечеткого числа.

Для поставленной задачи обучающая выборка задается значениями концентраций маркеров и нечетким значением их атомно-абсорбционного сигнала.

Задача нечеткого регрессионного анализа для нечеткой выборки (3) состоит в том, чтобы найти такие коэффициенты P , которые обеспечивают

$$\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{r=1}^m \text{RMSE}(yt_r, F(P, X_r))^2} \rightarrow \min, \quad (6)$$

где $F(P, X_r)$ – нечеткое число с функцией принадлежности $mf(y, f(X_r, P))$, полученное для входного вектора X_r по системе регрессионных моделей с коэффициентами P ;

RMSE – расстояние между двумя нечеткими

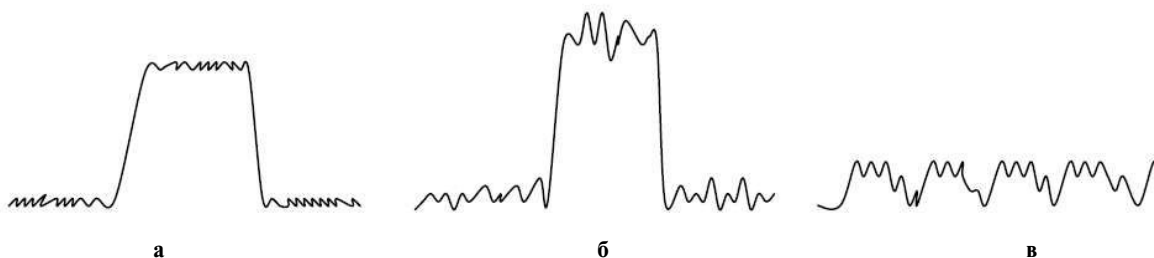


Рис. 3. Атомно-абсорбционный сигнал: а – хорошее соотношение сигнал/шум; б – плохое соотношение сигнал/шум; в – сигнал и фон на пределе обнаружения

числами, соответствующими желаемому и фактическому поведению модели в точке X_r .

В соответствии с [14] имеем в виду выражение RMSE в форме:

$$RMSE(A, B) = \sqrt{\frac{1}{\max y - \min y} \int_{\min y}^{\max y} (\mu(A, y) - \mu(B, y))^2 dy} \quad (7)$$

как расстояние между двумя нечеткими числами A и B с функциями принадлежности $\mu(A, y)$ и $\mu(B, y)$ на непрерывном носителе в интервале $[\min y, \max y]$, и выражение вида:

$$RMSE(A, B) = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (\mu(A, y_i) - \mu(B, y_i))^2} \quad (8)$$

в случае дискретного носителя $\{y_i\}_{i=1}^k$.

Если нечеткое число y задается гауссовой функцией принадлежности вида:

$$\mu(y) = \exp\left(-\frac{1}{2} \left(\frac{y-b}{c}\right)^2\right), \quad (9)$$

где b – значение максимума сигнала, c – его среднеквадратическое отклонение, то зависимость имеет вид $Z=Z(b,c)$. При этом зависимость параметров от факторов X записывается с использованием регрессионных моделей в виде:

$$b = b_0 + \sum_{i=0}^n b_i x_i, \quad c = c_0 + \sum_{i=0}^n c_i x_i, \quad (10)$$

где $P=(b_0, b_1, \dots, b_n, c_0, c_1, \dots, c_n)$ – коэффициенты

регрессии.

Таким образом, при этих предположениях можно построить нечеткую градуировочную зависимость атомно-абсорбционного сигнала от нечетких значений концентрации вещества.

При количественном ААС для анализа каждого исследуемого металла используются в качестве используются образцы, концентрация металла в которых заранее известна [12]. Атомно-абсорбционный сигнал принимается за функцию нечеткого отклика, при этом длина оптического пути считается постоянной. Производится построение регрессии (10) методом наименьших квадратов, при этом для каждого маркера выбираются в качестве значений параметров максимум поглощения и его стандартное отклонение. Тогда линейная зависимость I от C находится из условия (6) методом нелинейного программирования.

Используем операцию нечеткого пересечения [14], чтобы найти нечеткую концентрацию металла Mg. Найдем пересечение построенной нечеткой градуировочной функции с нечетким атомно-абсорбционным сигналом. Полученная зависимость должна быть приведена к виду:

$$Mg = Mg(Z, Rf). \quad (11)$$

Это позволяет найти доверительные уровни значений для концентрации металла.

Построим нечеткую модель градуировочной функции. Для этого используются измерения поглощения исследуемого металла для маркеров (рис. 4,а).

Каждый след маркера разбивается на дискретные значения с использованием выбранной сетки (рис. 4,б). Таким образом, получаются экспериментальные функции принадлежности

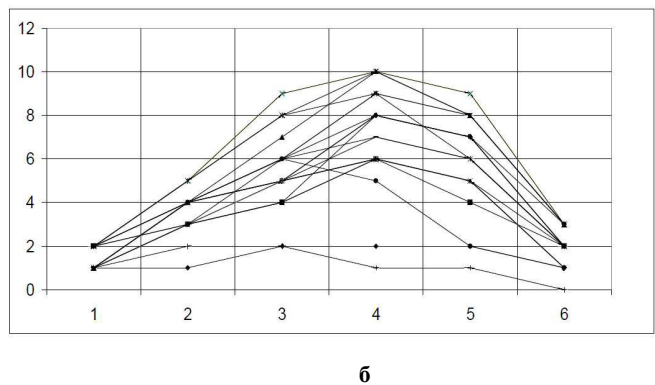
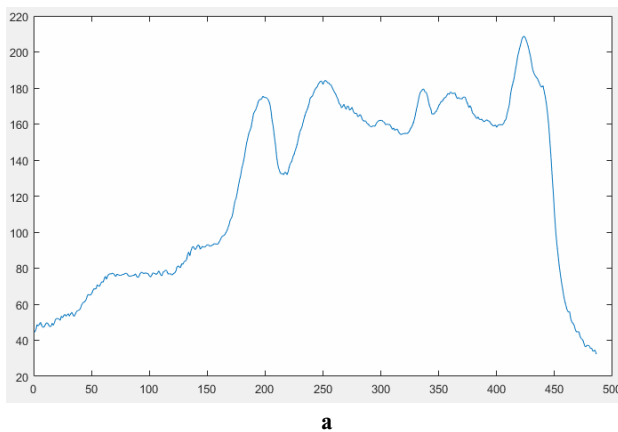


Рис. 4. Атомно-абсорбционный сигнал для анализа: а – данные датчика; б – результат разбиения серии сигналов на сетке

(mf) для атомно-абсорбционного сигнала, соответствующие маркерам с известной концентрацией. В первом приближении рассматривается только расстояние y от начала координат до рассматриваемой точки как фактор. Нечеткая модель градуировочной функции содержит 4 параметра – 2 границы носителя $\min Rf$, $\max Rf$ (2), среднее значение b и стандартное отклонение c (8). Существует много способов аппроксимации нелинейных зависимостей (8)–(9) [12–14]. Построим линейные регрессии с коэффициентом для каждого из этих параметров методом наименьших квадратов в виде:

$$\begin{aligned} \min Rf &= \sum_{i=0}^n \min_i y^i, \quad \max Rf = \sum_{i=0}^n \max_i y^i, \\ b &= \sum_{i=0}^n b_i y^i, \quad c = \sum_{i=0}^n c_i y^i. \end{aligned} \quad (12)$$

Это завершает построение модели масштаба в виде (11).

В результате эксперимента необходимо получить нечеткую оценку концентрации металла. Исходными данными являются след исследуемого вещества в виде атомно-абсорбционного сигнала с носителем $[\min Mг, \max Mг]$ и приближенная функция принадлежности в виде:

$$\mu(y) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{y - b_p}{c_p}\right)^2\right). \quad (13)$$

Чтобы найти нечеткое значение $Mг$, необходимо решить систему уравнений вида:

$$\begin{aligned} \max Mг &= \sum_{i=0}^n \min_i y^i, \quad \min Mг = \sum_{i=0}^n \max_i y^i, \\ y &= A - B \lg Mг, \quad mf(Mг) = \mu(y) \text{Imf}(y, f(X, P)). \end{aligned} \quad (14)$$

Система решается с использованием численных методов. Таким образом, получается носитель и функция принадлежности для $Mг$.

Далее для практических расчетов проводится дефазификация полученных нечетких данных. Цель дефазификации – получить четкое значение для $Mг$ методом α -сечений [14,15]. α -сечение (или набор α -уровня) нормализованного нечеткого множества – это его четкое подмножество, элементы которого имеют степени принадлежности, большие или равные α (рис. 5):

$$A_\alpha = \{u : \mu(u) \geq \alpha\}, \quad \alpha \in [0,1]. \quad (15)$$

Alpha-level	Min	Max
0.50	409.990	449.394
0.55	411.667	447.717
0.60	413.343	446.040
0.65	415.020	443.525
0.70	416.697	441.848
0.75	418.374	440.172
0.80	420.051	438.495
0.85	422.566	436.818
0.90	424.242	434.303
0.95	427.596	430.949

Рис. 5. Результат дефазификации нечеткой концентрации

Носитель начального множества можно рассматривать как часть нечеткого множества на нулевом уровне. После дефазификации получаем набор четких отрезков, относящихся к α -уровням функции принадлежности $Mг$.

Выводы

В работе проведен метод нечеткого определения концентрации тяжелых металлов при атомно-абсорбционном спектральном анализе донных отложений. Показана возможность построения нечеткой градуировочной функции при количественном атомно-абсорбционном спектральном анализе металлов. Описан алгоритм определения нечеткой концентрации металла по данным атомно-абсорбционного сигнала с последующей дефазификацией полученной нечеткой концентрации для анализа и практического использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Investigation of expression of high-molecular substances as the consequence of exposure to laser light on the organism of earth worm *Eisenia veneta* / K.I. Timchy, V.T. Smetanin, O.I. Sidashenko, T.P. Kilochek and V.S. Nedzvetskii. – Problems of Environmental Biotechnology, North America, 2. – 1-8 (2017).
2. Зміни концентрації розчинних та мембранних білків в тканинах черв'яків *eisenia foetida* під впливом лазерного опромінення / В.Т. Сметанін, К.І. Тимчій, В.С. Недзвельський, В.В. Руденко // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія. – 2015. – № 214. – С.308-314.
3. Сметанин В.Т., Тымчий Е.И., Старишко С.П. Влияние биотрансформации червями вида *Eisenia Foetida* на качество донных отложений / Вестник Днепропетровского государственного аграрно-экономического университета. – 2015. – Т.4. – № 38. – С.65-68.
4. Сысо А.И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 227 с.

5. Алемасова А.С., Рокун А.Н., Шевчук И.А. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. Учебное пособие. – Донецк: Донецкий национальный университет, 2003. – 327 с.

6. Беляцкий В.Н. Основы методов атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии: учеб.-метод. пособие. – Минск : БГМУ, 2015. – 40 с.

7. Бейзель Н.Ф. Атомно-абсорбционная спектрометрия: Учеб. пособие. – Новосибирск: Новосиб. гос. ун-т., 2008. – 72 с.

8. Васильева И.Е., Шабанова Е.В. Дуговой атомно-эмиссионный анализ для исследования геохимических объектов / Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т.78. – № 1(2). – С.14-24.

9. Станько О.М. Важкі метали у воді: забруднення річки Дністер за останні 10 років (територія Львівської області) / Сучасні проблеми токсикології. – 2012. – Т.3. – № 4. – С.58-63.

10. Модернизация методик анализа почвенных экосистем: атомно-абсорбционное определение ртути и мышьяка / Н.В. Мазняк, В.Н. Лосев, И.Б. Миллер, А.П. Верхотурова // IX Научная конференция «Аналитика Сибири и Дальнего Востока», сборник материалов [Электронный ресурс]. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/conf/asfe12/report?memb_id=4511

11. Пройдакова О.А. Совершенствование схем анализа горных пород, почв и донных отложений с использованием атомно-абсорбционной спектрометрии: Дис... канд. хим. наук: 02.00.02 – Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2009. – 175 с.

12. Olevskiy V.I., Smetanin V.T., and Olevska Yu. B. “Fuzzy method of recognition of high molecular substances in evidence-based biology,” in AMiTaNS’17, AIP Conference Proceedings 1895, edited by M.D. Todorov. (American Institute of Physics, Melville, NY, 2017), pp.070003-1–070003-9.

13. Olevska Yu. B., Olevskiy V.I., and Olevskiy O.V. «Using of fuzzy mathematical models in automated systems for recognition of high molecular substances,» in AMiTaNS’18, AIP Conference Proceedings 2025 (1), edited by M. D. Todorov (American Institute of Physics, Melville, NY, 2018), paper 060003, 9p. <https://doi.org/10.1063/1.5064911>

14. Штовба С.Д. Нечеткая идентификация на основе регрессионных моделей параметрической функции принадлежности // Проблемы управления и информатики. – 2006. – № 6. – С.38-44.

15. Fuzzy Systems in Bioinformatics and Computational Biology, edited by Yaochu Jin and Lipo Wang (Springer, Berlin Heidelberg, 2009). – 332 p.

МЕТОД НЕЧІТКОГО ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ПРИ АТОМНО-АБСОРБЦІЙНОМУ СПЕКТРАЛЬНОМУ АНАЛІЗІ ДОННИХ ВІДКЛАДЕНЬ

Олевська Ю.Б., Олевський В.І., Тимчий К.І., Олевський А.В.

Внаслідок техногенного впливу на біосферу та її складові, значна кількість важких металів і радіонуклідів виявляються в навколишньому середовищі. Одним з основних напрямків поліпшення екологічних складових безпеки навколишнього середовища є біотрансформація донних відкладень водою, що містять важкі метали, за допомогою вермикюльтури в біологічно безпечне органічне добриво. Оцінка концентрації важких металів в донних відкладеннях є актуальним завданням, рішення якого дозволить зберегти природне середовище, поліпшити стан ґрунтів і як наслідок – здоров'я людини. Проблемою використання донних покладів в цьому випадку є точність визначення вмісту в них різних важких металів, які впливають на життєдіяльність дощових черв'яків. Валову і рухливу форми важких металів в дослідних субстратах найбільш точно можна визначити методом атомно-абсорбційного спектрального аналізу. Атомно-абсорбційний аналіз – метод аналітичної хімії, заснований на селективному поглинанні (абсорбції) електромагнітного випромінювання певної довжини хвилі вільними від всіх молекулярних зв'язків нейтральними атомами обумовленого елемента. У процесі абсорбції електрон переходить з основного енергетичного рівня на більш високий в результаті фотонного збудження. При цьому інтенсивність збуджуючого світла даної частоти зменшується. Точному кількісному визначенню часто перешкоджають значні матричні перешкоди і неоднорідний розподіл аналіту. Для досягнення точності і достовірності методу, необхідних для вермикюльтивування, в даній роботі пропонується модифікація методу аналізу шляхом застосування нечіткого моделювання результатів експерименту. С математичної точки зору процес побудови градуального графіка може бути реалізований за допомогою процедури побудови нечіткої шкали в методі розшифровки ваги білків при електрофорезі. Описано алгоритм визначення нечіткої концентрації металу за даними атомно-абсорбційного сигналу з подальшою дефазифікацією отриманої нечіткої концентрації для аналізу і практичного використання.

Ключові слова: нечітке моделювання, спектральний аналіз, важкі метали.

Поступила в редакцію 22.06.2020

THE METHOD OF FUZZY DETERMINATION OF THE CONCENTRATION OF HEAVY METALS IN THE ATOMIC ABSORPTION SPECTRAL ANALYSIS OF BOTTOM SEDIMENTS

Olevska Yu.B.^a, Olevskiy V.I.^b, Timchy K.I.^b, Olevskiy O.V.^c

^a National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine

^b Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

^c Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Due to the technogenic impact on the biosphere and its components, a significant amount of heavy metals and radionuclides ends up in the environment. One of the main directions for improving the ecological components of environmental safety is the biotransformation of bottom sediments of reservoirs containing heavy metals, with the help of vermiculture, into biologically safe organic fertilizer. Assessment of the concentration of heavy metals in bottom sediments is an urgent task, the solution of which will allow preserving the natural environment, improving the condition of soils and, as a result, human health. The problem of using bottom deposits in this case is the accuracy of determining the content of various heavy metals in them, which affect the vital activity of earthworms. The gross and mobile forms of heavy metals in experimental substrates can be most accurately determined by atomic absorption spectral analysis. Atomic absorption analysis is a method of analytical chemistry based on the selective absorption of electromagnetic radiation of a certain wavelength by neutral atoms of the element being determined free of all molecular bonds. In the process of absorption, an electron moves from the main energy level to a higher one as a result of photon excitation. In this case, the intensity of the exciting light of a given frequency decreases. Accurate quantification is often hampered by significant matrix interference and non-uniform analyte distribution. To achieve the accuracy and reliability of the method required for vermiculture, this work proposes a modification of the analysis method by applying fuzzy modeling of the experimental results. From a mathematical point of view, the process of constructing a calibration graph can be implemented using the procedure for constructing a fuzzy scale in the method for decoding the weight of proteins during electrophoresis. An algorithm is described for determining the fuzzy concentration of a metal from the atomic absorption signal data, followed by defuzzification of the obtained fuzzy concentration for analysis and practical use.

Keywords: fuzzy modeling, spectral analysis, heavy metals.

REFERENCES

- Investigation of expression of high-molecular substances as the consequence of exposure to laser light on the organism of earth worm *Eisenia veneta*, K.I. Timchy, V.T. Smetanin, O.I. Sidashenko, T.P. Kilochek and V.S. Nedzvetkii. *Problems of Environmental Biotechnology*, North America, 2, 1-8 (2017).
- Zmini koncentracii rozchinnih ta membrannih bilkiv v tkaninah cherv'jakiv eisenia foetida pid vplivom lazernogo oprominennja* [Changes in the concentration of soluble and membrane proteins in the tissues of *eisenia foetida* worms under the influence of laser irradiation], V.T. Smetanin, K.I. Timchij, V.S. Nedzvel's'kij, V.V. Rudenko. *Naukovij visnik NUBiP Ukraini. Serija: Biologija, biotehnologija, ekologija* [Scientific bulletin of NULES of Ukraine. Series: Biology, biotechnology, ecology], 2015, no. 214, pp.308-314. (in Ukrainian).
- Smetanin V.T., Tymchij E.I., Starishko S.P. *Vlijanie biotransformacii cherv'yami vida Eisenia Foetida na kachestvo donnyh otlozhenij* [The influence of biotransformation by worms of the species *Eisenia Foetida* on the quality of bottom sediments]. *Vestnik Dnepropetrovskogo gosudarstvennogo agrarno-jekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of Dnipropetrovsk State Agrarian and Economical University], 2015, vol. 4, no. 38, pp.65-68. (in Russian).
- Syso A.I. *Zakonomernosti raspredelenija himicheskikh jelementov v pochvoobrazujushhijh porodah i pochvah Zapadnoj Sibiri* [Patterns of distribution of chemical elements in parent rocks and soils of Western Siberia]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2007, 227 p. (in Russian).
- Alemasova A.S., Rokun A.N., Shevchuk I.A. *Analiticheskaja atomno-absorbcionnaja spektroskopija. Uchebnoe posobie* [Analytical atomic absorption spectroscopy. Tutorial]. – Doneck: Doneckij nacional'nyj universitet, 2003, 327 p. (in Russian).
- Beljackij V.N. *Osnovy metodov atomno-absorbcionnoj i atomno-jemissionnoj spektroskopii: ucheb.-metod. posobie* [Fundamentals of atomic absorption and atomic emission spectroscopy methods: a training manual], Minsk : BGMU, 2015, 40 p. (in Russian).
- Bejzel' N.F. *Atomno-absorbcionnaja spektrometrija: Ucheb. posobie* [Atomic Absorption Spectrometry: A Training Manual]. Novosibirsk: Novosib. gos. un-t., 2008, 72 p. (in Russian).
- Vasil'eva I.E., Shabanova E.V. *Dugovoj atomno-jemissionnyj analiz dlja issledovanija geohimicheskij ob'ektov* [Arc atomic emission analysis for the study of geochemical objects]. Zavod'skaja laboratorija. Diagnostika materialov.[Diagnostics of materials] 2012, vol. 78, no. 1(2), pp.14–24. (in Russian).
- Stan'ko O.M. *Vazhki metali u vodi: zabrudnennja richki Dnister za ostanni 10 rokov (teritorija L'vivs'koj oblasti)* [Heavy metals in water: pollution of the Dniester River over the past 10 years (Lviv region)]. *Suchasni problemi toksikologii* [Modern problems of toxicology], 2012, vol. 3, no. 4, pp.58-63. (in Ukrainian).
- Modernizacija metodik analiza pochvennyh jekosistem: atomno-absorbcionnoe opredelenie rtuti i mysh'jaka* [Modernization of soil ecosystem analysis methods: atomic absorption determination of mercury and arsenic]. Maznjak N.V., Losev V.N., Miller I.B., Verhoturova A.P., IX Nauchnaja konferencija «Analitika Sibiri i Dal'nego Vostoka», sbornik materialov [elektronnyj resurs], Krasnojarsk: Sibirskij federal'nyj un-t, 2011, Rezhim dostupa: http://conf.sfu-kras.ru/conf/asfe12/report?memb_id=4511. (in Russian).
- Projdakova O.A. *Sovershenstvovanie shem analiza gornyh porod, pochv i donnyh otlozhenij s ispol'zovanijem atomno-absorbcionnoj spektrometrii* [Improving the analysis of rocks, soils and bottom sediments using atomic absorption spectrometry]: Dis... kand. him. nauk: 02.00.02, Irkutsk: Irkut. gos. un-t, 2009, 175 p. (in Russian).
- Olevskiy V.I., Smetanin V.T., and Olevska Yu. B. Fuzzy method of recognition of high molecular substances in evidence-based biology, in AMiTaNS'17, AIP Conference Proceedings 1895, edited by M.D. Todorov. (American Institute of Physics, Melville, NY, 2017), pp.070003-1–070003-9.
- Olevska Yu. B., Olevskiy V.I., and Olevskiy O.V. Using of fuzzy mathematical models in automated systems for recognition of high molecular substances, in AMiTaNS'18, AIP Conference Proceedings 2025(1), edited by M.D. Todorov (American Institute of Physics, Melville, NY, 2018), paper 060003, 9p. <https://doi.org/10.1063/1.5064911>
- Shtovba S.D. Nechetkaja identifikacija na osnove regressionnyh modelej parametricheskoi funkcii prinadlezhnosti [Fuzzy identification based on regression models of a parametric membership function]. *Problemy upravlenija i informatiki*, 2006, no. 6, pp.38-44. (in Russian).
- Fuzzy Systems in Bioinformatics and Computational Biology, edited by Yaochu Jin and Lipo Wang (Springer, Berlin Heidelberg, 2009), 332 p.

УДК 004.8

Палагин А.В.^а, Петренко Н.Г.^а, Зеленцов Д.Г.^б

К ВОПРОСУ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ТЕКСТОВ

^а Институт кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины, г. Киев, Украина^б ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепр, Украина

В статье рассмотрен общий подход к проблеме анализа естественно-языковой информации, включающий реализацию ряда информационных технологий, тем или иным образом связанных с языковым моделированием. Кроме разработки указанных информационных технологий, необходимо разработать формальную теорию компьютерной обработки знаний, извлеченных из естественно-языковых текстов. Проанализированы особенности построения лингвистических моделей и критерии понимания естественно-языковых текстов. При этом возникает ряд проблем. Первая проблема сводится к проблеме анализа текстовой информации, представленной на естественном языке (морфологический, синтаксический, семантический и логический анализ) с целью извлечения знаний. Вторая проблема связана с проектированием системы поиска, обработки и извлечения знаний, разработки и построения ее архитектуры, а также инструментария для пользователя. И третьей проблемой является разработка процедур интеграции знаний из нескольких предметных областей для обеспечения эффективности проведения исследований междисциплинарного и трансдисциплинарного характера. Также необходимо уделить особое внимание вопросам использования уже наработанных теоретических положений и практических решений. Предложена формальная постановка задачи анализа естественно-языковых текстов, в которой выделены основные подзадачи, связанные с вычислением отношений типизации лексики естественного языка на лексико-смысловом континууме и интерпретацией некоторого текста на заданной предметной модели. В контексте разработанной архитектуры языково-онтологической информационной системы предложена формальная модель обработки естественно-языковых текстов, для которой показано однозначное соответствие процессов обработки естественно-языковой информации и средств (архитектурных блоков) их реализации.

Ключевые слова: ELRE естественно-языковой текст, лингвистическая модель, языково-онтологическая информационная система, анализ и понимание естественно-языковых текстов.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-37-45

Постановка проблемы

Степень развития и внедрения компьютерных технологий в значительной мере определяется не столько возможностями традиционной вычислительной техники, сколько особенностями предметных областей, и успех эффективной компьютеризации последних существенно зависит от глубины исследования и понимания моделируемого явления. Исходя из этого этап формирования информационных тех-

нологий (ИТ) исключительно с позиций потенциальных возможностей вычислительной техники постепенно смещается в сторону дифференциации отдельных направлений ИТ, где на первый план выступают особенности конкретных предметных областей (ПдО). К такому направлению следует отнести ИТ, которые тем или иным образом связаны с языковым моделированием поведения человека, или системы, ориентированные на обработку естественно-языко-

вой информации. Причем под обработкой естественно-языковых текстов (ЕЯТ) понимается реализация ряда ИТ, конечной целью которых является компьютерная обработка знаний как высшей формы умственной деятельности человека.

Разработка формальной теории компьютерной обработки знаний составляет одну из насущных проблем в общей теории искусственного интеллекта. Сложность указанной проблемы определяется, в частности, необходимостью привлечения целого ряда научных теорий (математической логики, компьютерной и психологической лингвистики, нейрофизиологии, нейрокибернетики и др.), которые в совокупности, будучи примененными к решению проблемы формального представления и обработки знаний, составили бы концептуально единую (междисциплинарную) формальную теорию. Составляющие указанной теории должны учитывать сущность этапов языковой и предметной обработки информационных объектов (для первого – ЕЯТ, а для второго – извлеченные из ЕЯТ знания) и формальной связи между ними. В конечном итоге необходимо разработать комплекс информационных технологий компьютерной обработки ЕЯТ, представления знаний и их компьютерной обработки. При этом возникает несколько проблем [1–3].

Первой проблемой (и одной из основных) является проблема анализа текстовой информации, представленной на естественном языке (морфологический, синтаксический, семантический и логический анализ) с целью извлечения знаний.

Второй проблемой является проблема проектирования системы поиска, обработки и извлечения знаний, разработки и построения ее архитектуры, а также инструментария для пользователя.

Третьей проблемой является проблема интеграции знаний из нескольких предметных областей для обеспечения эффективности проведения исследований междисциплинарного характера, использования уже наработанных теоретических положений и практических решений.

Цель статьи

Целью статьи является разработка формальных моделей информационного процесса компьютерного анализа и понимания естественно-языковых текстов и архитектуры системы его реализации.

Анализ последних исследований и публикаций

При решении указанных проблем (и раз-

работки формальной теории) важной задачей является построение естественно-языковых лингвистических моделей и создание на их основе эффективных лингвистических процессоров, которые в совокупности с языково-онтологической картиной мира (ЯОКМ) представляют языково-онтологическую информационную систему.

Лингвистические модели – это, в сущности, фундаментальная научно-прикладная область исследований, помогающая строить системы обработки ЕЯТ. Под последней понимается процесс взаимодействия «Система-ЕЯТ-Пользователь», который включает в себя разные способы взаимодействия с ЕЯТ, такие как анализ, генерация, интерпретация, трансформация, синтез и др. Такое определение лингвистических моделей, основанное на их функциональном аспекте, является полезным с методологической точки зрения, обеспечивая классификацию моделей по их прагматическим признакам, т.е. по цели разработки и сфере применения. Выделим следующие классы лингвистических моделей:

- 1) диалоговые “запрос-ответ” или интерактивные модели;
- 2) концептуально-формальные модели;
- 3) концептуально-функциональные модели;
- 4) когнитивные (семантико-контекстные) модели.

Очевидно, наиболее сложными являются последние модели. Именно они обеспечивают глубинное проникновение в текущий контекст и его трансформацию с сохранением смысла как внутри одной модели, так и между разными моделями. При этом объектом исследования являются естественно-языковые тексты, представленные в электронном виде и взятые из сети Интернет, монографий, учебников, научно-технических документов и т.п., которые в совокупности составляют исходный лингвистический корпус текстов.

В существующих интеллектуальных системах (ИС) выделяют пять основных уровней понимания ЕЯТ [4].

Первый уровень. Характеризуется схемой, показывающей, что любые ответы на вопросы система формирует только на основе прямого содержания, вытекающего из текста. В лингвистическом процессоре выполняется морфологический, синтаксический и семантический анализ текста и вопросов, относящихся к нему. На выходе лингвистического процессора получаем внутреннее представление текста и вопросов, с которыми может работать блок вывода. Он фор-

мирует ответы, используя специальные процедуры. Другими словами, уже понимание на первом уровне требует от ИС определенных способов представления данных и вывода на этих данных.

Второй уровень. На втором уровне добавляются способы логического вывода, основанные на информации, содержащейся в тексте. Это различные логики текста (временная, пространственная, каузальная и др.), порождающие информацию, явно отсутствующую в тексте. Архитектура ИС, с помощью которой может быть реализован второй уровень понимания, должна иметь дополнительную базу знаний, в которой хранятся закономерности, относящиеся к временной структуре событий, возможной их пространственной организации, каузальной зависимости и т.д., а логический блок – все необходимые средства для работы с неклассическими логиками.

Третий уровень. К средствам второго уровня добавляются правила пополнения текста знаниями системы о среде. Эти знания в ИС, как правило, носят логический характер и фиксируются в виде сценариев или процедур другого типа. Архитектура ИС, в которой реализуется понимание третьего уровня, внешне не отличается от архитектуры ИС второго уровня. Но в логическом блоке должны быть учтены средства не только для чисто дедуктивного вывода, а и для вывода по сценариям.

Три перечисленные уровня понимания полностью или частично реализованы практически во всех действующих ИС.

Четвертый уровень. На этом уровне происходит изменение содержимого базы знаний. Она дополняется фактами, известными системе и содержащимися в тех текстах, которые введены в систему. Разные ИС отличаются одна от другой характером правил порождения фактов из знаний, опираясь на методы дедуктивного вывода и распознавания образов. Правила могут быть основаны на принципах вероятностей, размытых выводов и т.д. Но во всех случаях база знаний оказывается априорно неполной. В ИС возникают сложности с поиском ответов на запросы. В частности, в базах знаний становится необходимым немонотонный вывод.

Пятый уровень. На этом уровне происходит порождение метафорического знания. Правила порождения знаний метафорического уровня, используемых для этих целей, представляют собой специальные процедуры, опирающиеся на выводы по аналогии и ассоциации. Известные

в настоящее время схемы вывода по аналогии используют, как правило, диаграмму Лейбница, которая отображает только частный случай суждений по аналогии. Еще меньше разработаны схемы ассоциативных суждений.

Существуют и другие интерпретации феномена понимания. Возможно, например, оценивать уровень понимания по способности системы к пояснению полученного результата. Здесь возможен не только уровень пояснения, когда система поясняет, что она сделала, например, на основе введенного в нее текста, а и уровень обоснования (аргументации), когда система обосновывает свой результат, показывая, что он не противоречит той системе знаний и данных, которыми она владеет. В отличие от пояснения обоснование всегда связано с суммой фактов и знаний, которые определяются текущим моментом существования системы. И введенный для понимания текст в одних состояниях может быть воспринят системой как истинный, а в других – как ложный. Существующие ИС типа экспертных систем, как правило, способны давать пояснения и лишь частично обоснования.

Обобщенный критерий понимания ЕЯТ научно-технического профиля состоит в способности решать прикладные задачи на основе содержащихся в них знаний.

Особенности анализа ЕЯТ определяются направленностью на формирование структуры понятий, то есть, на автоматическое извлечение знаний из текстов и их прагматическую интерпретацию в терминах прикладной задачи. При этом текст рассматривается как объект разных уровней анализа: как знаковая система, как грамматическая система и как система знаний про ПдО. Каждый уровень имеет свои особенности, свои способы выражения и, следовательно, допускает наличие специфических методов обработки.

Изложение основного материала

Общие принципы анализа и понимания ЕЯТ. Исследование процессов интерпретации и понимания языковых высказываний, имеет как теоретический, так и прикладной интерес. Работы в области автоматического анализа текста и автоматического решения задач, сформулированных на естественном языке (или языке, близком к нему), показали актуальность построения интерпретационной теории языка. Понятие “интерпретация” с самого начала лежало в основе общелингвистических теорий, а также в основе логических исследований. Интерпретационный

подход представлен как в разнообразных областях чисто лингвистического анализа (в теориях формальных грамматик, в “теории языковых актов” и т.п.), так и в исследованиях по искусственному интеллекту. Согласно интерпретации в основе владения языком и его использованию лежит один и тот же интерпретирующий механизм, обслуживающий разные сферы языковой деятельности и использующий разные виды знаний. Среди этих сфер – речь, понимание, редактирование, комментирование, перефразировка, соображение, коммуникация, аргументация, обучение, перевод и др. Сама же интерпретация, через которую и определяются указанные сферы, представляет собой получение на основе одного исходного объекта (объекта, который интерпретируется) другого, отличного объекта, который допускается интерпретатором как равнозначный исходному на фоне конкретной ситуации, набора знаний [5]. Сами же знания не входят в структуру языка непосредственно, а “привлекаются” к интерпретации, и только опосредованно определяют результат интерпретации языковых высказываний.

Одной из основных процедур обработки ЕЯТ является процедура распознавания, в частности когнитивного распознавания. Под когнитивным распознаванием ЕЯТ понимается процесс формализации извлечения и представления знаний предметной области, содержащихся в ЕЯТ. Входом процедуры распознавания является ЕЯТ, а выходом (результатом) – формально-логическое представление. Оно является формализованным представлением знаний о ПдО, отраженным в определенном ЕЯТ.

Процесс распознавания и извлечения знаний из ЕЯТ базируется на компьютерном моделировании интеллектуальных функций человека, а именно – на моделировании процесса понимания человеком ЕЯТ. При этом термин понимание определяется с помощью таких критериев: умение пересказать “своими” словами, т.е. другими (лексическими, синтаксическими) средствами передать содержание входного текста, умение ответить на вопрос относительно определенного текста и др. Процедура распознавания базируется на средствах формализации (т.е. разработки онтологических моделей) знаний об определенном языке и знаний об определенной ПдО.

Отметим, что когнитивное распознавание ЕЯТ имеет свои особенности, а именно:

- внеязыковые ситуации, описанные в текстах, определяются лишь знаниями из опреде-

ленной ПдО;

- средства вербализации этих знаний ориентированы на определенный уровень профессиональной подготовки;

- механизмы взаимодействия знаний в тексте с когнитивной картиной мира основываются на модели представления человеком знаний об определенном языке (языковая картина мира [6]) и знаниях о фрагментах реальной действительности (базы знаний ПдО).

Формальная постановка задачи анализа ЕЯТ [7]. Пусть $T = t_1, t_2, \dots, t_n$ естественно-языковой текст в алфавите X , т.е. $T \in L(X)$, где $L(X)$ – язык над алфавитом X , а $t_i \in T$ – предложения, $i = \overline{1, n}$, n – мощность множества T .

Каждое предложение $t_i \in T$, в свою очередь, имеет структуру $t_{i_1}, t_{i_2}, \dots, t_{i_m}$, где t_{i_j} содержательно означают грамматические единицы, из которых построено предложение t_i . Если $t_{i_j} \in t_i$, то $C_L(t_{i_j}) = t_{i_1}, t_{i_2}, \dots, t_{i_{(j-1)}}$ и $C_R(t_{i_j}) = t_{i_{(j+1)}}, t_{i_{(j+2)}}, \dots, t_{i_m}$ будем называть левым и правым контекстом t_{i_j} соответственно.

С текстом T связаны такие объекты:

- S – словарь языка $L(X)$, где содержатся слова t_{i_j} со своими определителями (в частности, лингво-семантическими характеристиками единиц словаря);

- $\gamma \subseteq T \times S$ – отношение, определяющее возможные значения и типы слова в словаре S ;

- $A = (D, \Pi)$ – предметная модель, на которой интерпретируется текст T ;

- $\phi \subseteq T \times A$ – отношение интерпретации текста T на области D .

Опуская формальные преобразования, отметим, что из этой постановки задачи анализа ЕЯТ вытекают следующие основные подзадачи:

- конкретизировать предметную модель A ; задача связана с тем, что предметная модель является по существу базой знаний (конкретизация состоит в том, чтобы определиться с формальным логическим языком, правилами вывода, аксиоматикой и пр.);

- показать вычислимость отношений γ и ϕ на предметной модели A ;

- построить алгоритмы вычисления отношений γ и ϕ ;

- при вычислении отношений γ и ϕ контрролировать соответствия типов аргументов и предикатов;

- определить взаимодействие алгоритмов вычисления γ и ϕ с системами лингвистическо-

го анализа текста.

Подзадачами второй очереди являются подзадачи, связанные с:

- определением структуры данных и информации для словарей;
- определением режима взаимодействия с пользователем (автоматический, полуавтоматический или диалоговый).

Лексико-грамматический анализ. Пусть L – язык отношений, которые представляют знания, V – множество грамматических характеристик, включая грамматические разряды естественно-го языка (ЕЯ), а D – область интерпретации.

Лексико-грамматический анализ приводит к конкретизации интерпретации $\varphi: V \rightarrow D$ и отношений $R_i \in L$. Интерпретация φ в данном случае представляет собой суперпозицию двух функций φ_1 и φ_2 , т.е. $\varphi(V) = \varphi_2(\varphi_1(V)) = \varphi_1 * \varphi_2(V)$, где $*$ обозначает суперпозицию функций. Функции φ_1 и φ_2 реализуют процесс синтаксического и семантического анализа предложений текста T , а отношения R_1 и R_2 – это синтаксические (правила языка, на котором написан текст T) и семантические ограничения.

Одним из дальнейших возможных уточнений является уточнение отображения φ_1 . Это отображение, в свою очередь, можно рассматривать как суперпозицию двух отображений, реализующих морфологический и синтаксический анализ предложений ЕЯТ и вместе с отображением φ_2 образующих целостную систему классического типа, схема которой показана на рис. 1 [8]. Возможная структура словарей, которые используются в приведенной схеме, и некоторое ее обоснование описаны в работах [9].

Информационная модель этапов лингвистического анализа. Архитектура современных знание-ориентированных информационных систем с естественно-языковым представлением и обработкой знаний включает онтологическую составляющую эксплицитно, которую в общем

виде можно интерпретировать как концептуальную базу знаний. Такая база знаний представляется в виде ориентированного графа, вершинами которого являются концепты, а дугами – множество отношений, связывающих между собой концепты. Другой важной особенностью указанной архитектуры является разделение и отдельная обработка семантики первой и второй степени [10], что в общем случае означает разделение внутриязыкового и внеязыкового (экстралингвистического) процессинга и переход к формально-логическому представлению исходного текста.

Указанные особенности архитектуры современных знание-ориентированных информационных систем трансформируют традиционную модель обработки ЕЯТ в формальную модель следующего вида [7]:

$$F = \langle T, W, SS^1, O, S^2, I \rangle,$$

где T – множество обрабатываемых ЕЯТ; W – множество словоформ, входящих в T ; SS^1 – множество синтактико-семантических структур первой степени, описывающих T ; O – множество онтологических структур, отображающих множества W и SS^1 в S^2 ; S^2 – множество семантических структур второй степени, описывающих множество сценариев T ; I – множество информационно-кодовых представлений S^2 .

Опишем объекты формальной модели. Множество T представляет совокупность ЕЯТ, характеризующихся стилями делового и научно-технического характера.

Цепочка $W \rightarrow SS^1$ в классическом понимании представляет грамматический анализ ЕЯТ. В отличие от традиционных линейного и сильно кодированного методов анализа, здесь использован смешанный метод анализа. Суть его состоит в том, что в лексикографической базе

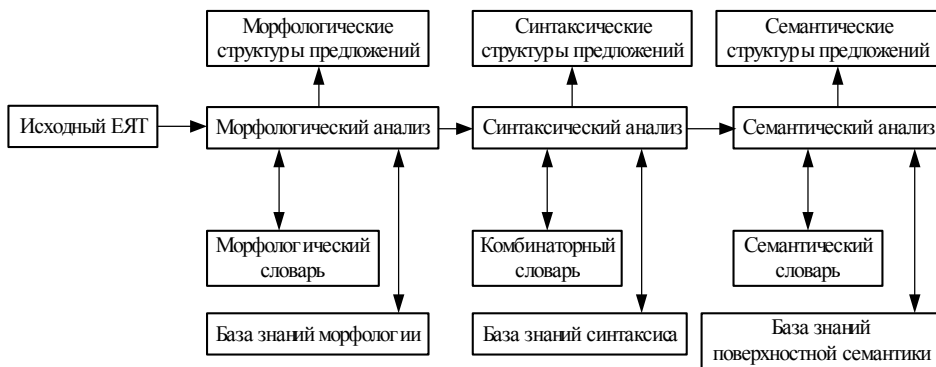


Рис. 1. Схема лингвистического анализа ЕЯТ классического типа

данных полное множество W представлено в таблицах двух типов: таблицах лексем с соответствующими морфологическими, синтаксическими и семантическими характеристиками и таблицах флексий для всех полнозначных изменяющихся частей речи. При этом алгоритмы формирования парадигмы лексем просты: в таблицах лексем указаны основы лексем и соответствующие коды для выбора записей из таблиц флексий. Нефлексийные изменения учитываются соответствующими алгоритмами.

Множество O онтологических структур в идеале представляет ЯОКМ.

Цепочки преобразования информации $T \rightarrow W \rightarrow SS^1$ и $O \rightarrow S^2 \rightarrow I$, по сути, представляют соответственно базовые процедуры анализа и понимания ЕЯТ, средствами интерпретации которых являются грамматический и семантический процессоры.

Практическая ценность получаемых результатов при обработке ЕЯТ, в основном, зависит от полноты интерпретационных моделей семантических структур ЕЯТ и их формального представления. Под полнотой понимается включение в модель как составной семантики первой ступени (или объектной составляющей), так и составной семантики второй ступени (или акторной составляющей). Такое распределение семантики хорошо согласовывается как с онтологической иерархией концептуальных категорий, так и со сложностью выполнения вычислительных процедур при компьютерной обработке ЕЯТ.

С точки зрения лингвистики, семантическая составляющая первой ступени описывается на уровне грамматики отдельных частей речи, в то время как составляющая второй ступени уже описывается синтаксическими конструкциями таких единиц синтаксиса, как предложение, абзац, параграф, раздел и текст. С точки зрения математической логики, если первую ступень можно описать (довольно условно) исчислением высказываний, то вторая ступень должна описываться исчислением предикатов с квантифицированными переменными.

Наибольшей полноты (и соответственно наибольшей степени сложности) приобретают модели, которые описывают ЕЯТ в целом. Такие модели описывают, в частности, некоторый сценарий, отображающий содержание ЕЯТ. В свою очередь, как ЕЯТ делится на синтаксические единицы, так и общий сценарий раскладывается на отдельные сценарии, ситуации и элементарные ситуации.

Описанное важное различие между объектной и акторной составляющими семантики, а также морфолого-синтаксическим анализом, в частности, в сложности их интерпретационных моделей, обусловила выделение для моделирования и интерпретации семантики отдельного функционального модуля – семантического процессора. Морфологический и синтаксический анализ при этом выполняется грамматическим процессором, а точнее отдельными его блоками (морфологического и синтаксического анализа). Он содержит также лингвистическую СУБД реляционного типа и синтаксическую базу знаний.

Архитектурная организация ЯОИС [11,12]. Архитектура ЯОИС, разработанная в соответствии с моделью (1) для предметной области обработки ЕЯТ, представлена на рис. 2. На нем приняты следующие обозначения: ЛБД – лексикографическая база данных; ЯОКМ – языково-онтологическая картина мира.

ЛБД представляет набор таблиц, соответствующих грамматическому словарю для каждой части речи ЕЯ, таблиц падежных окончаний для формирования словоформ лексемы, уникальных идентификаторов лексем ЕЯ и их синтаксических и семантических характеристик. Все лексические единицы в таблицах соответствующим образом проиндексированы и имеют одинаковое интерпретационное значение, как для грамматического, так и семантического процессора. Заметим, что функции ЛБД значительно расширены по сравнению с традиционными грамматическими словарями, и они эффективно реализуются аппаратными средствами.

ЯОКМ представляет лингвистическую онтологию, одну из центральных компонент ЯОИС и совместно с ЛБД представляет базу знаний лексики ЕЯ. ЯОКМ – это формализованная онтология, в которой аксиомы и определения входят в состав баз знаний синтаксиса и семантики модуля грамматического анализатора (на рисунке не показаны), а ограничения являются составной частью синтаксических и семантических характеристик ЛБД.

Грамматический анализатор – это компонента, реализующая процедуры графемного, морфологического и синтаксического анализа. Она взаимодействует с лексикографической базой данных, а результаты анализа (сформированные в виде итоговой морфологической таблицы текста и синтаксических деревьев предложений, входящих в текст) передаются на вход семантического анализатора.

Семантический анализатор – это компо-

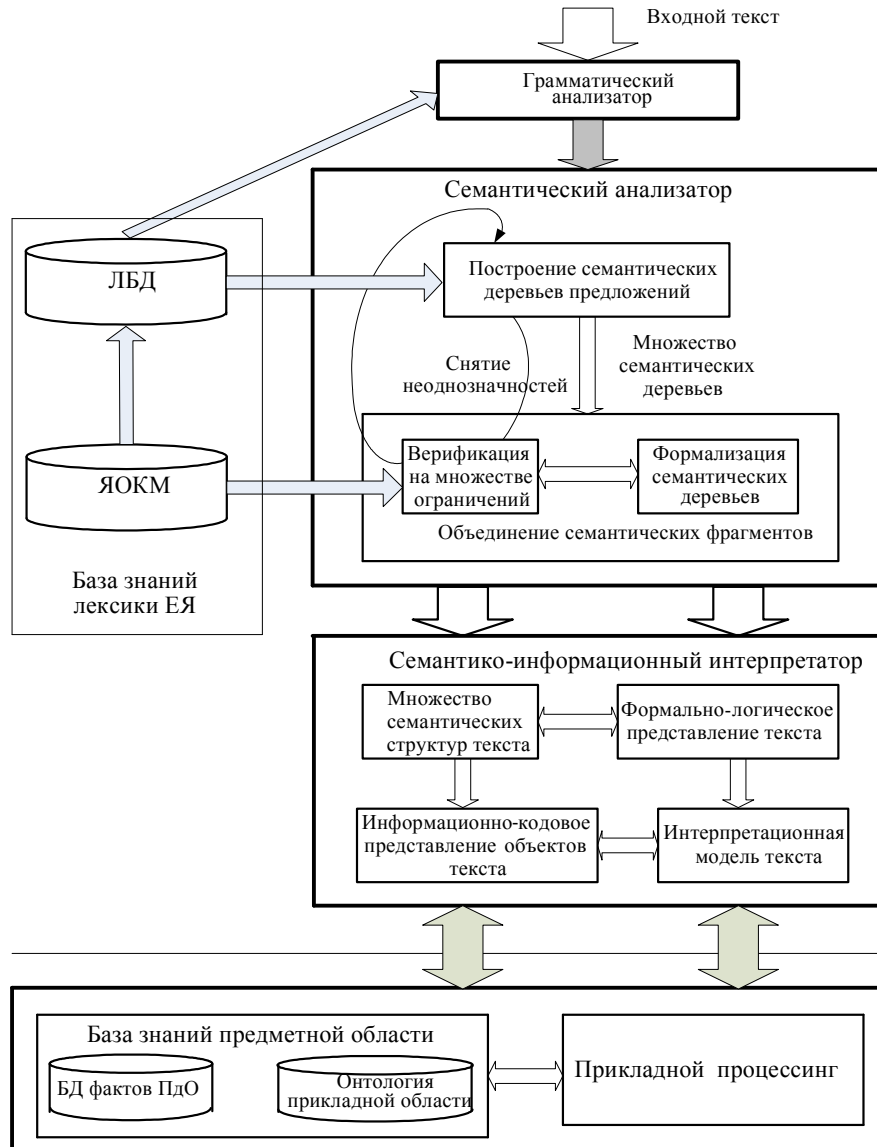


Рис. 2. Архитектура ЯОИС

нента, реализующая процедуры семантического анализа предложений текста, решения задачи грамматической и лексической неоднозначности и построения формально-логического представления предложений текста. При этом первые две процедуры могут выполняться итерационно. Семантический анализатор взаимодействует с ЛБД и ЯОКМ, а результаты анализа (сформированные деревья и формально-логические представления семантически связанных фрагментов текста) передаются на вход семантико-информационного интерпретатора.

Семантико-информационный интерпретатор реализует процедуры построения информационно-кодowego представления семантики тек-

ста и его интерпретационной модели (знание-ориентированной компоненты). Причем, если построение первой составляющей обеспечивает прикладной процессинг непосредственно входного текста (реферирование, классификацию, построение простой онтологии документа и др.), то в совокупности со второй составляющей обеспечивается прикладной процессинг для различных процедур обработки не полностью формализованных знаний (извлечение, интеграция, накопление знаний и др.).

Модули прикладного процессинга и базы знаний предметной области предназначены для решения конкретных задач пользователя. Причем для простых задач обработки ЕЯТ реализу-

ющие их алгоритмы могут войти в состав ЯОИС.

Выводы

Рассмотрен общий подход к проблеме анализа ЕЯТ, особенности построения лингвистических моделей и критерии понимания ЕЯТ, в результате чего предложена формальная постановка задачи анализа ЕЯТ, в которой выделены основные подзадачи, связанные с вычислением отношений типизации лексики ЕЯ на лексико-смысловом континууме и интерпретацией некоторого текста на заданной предметной модели. В контексте разработанной архитектуры подсистемы ЯОИС предложена формальная модель обработки ЕЯТ, для которой показано однозначное соответствие процессов обработки естественно-языковой информации и средств (архитектурно-структурных блоков) их реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Палагин А.В., Крытый С.Л., Петренко Н.Г. Знание-ориентированные информационные системы с обработкой естественно-языковых объектов: основы методологии и архитектурно-структурная организация. – УСиМ, 2009. – № 3. – С.42-55.
2. Боргест Н.М. Границы онтологии проектирования // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7. – № 1(23). – С.7-33. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33>
3. Palagin A.V. An Ontological Conception of Informatization of Scientific Investigations. *Cybern Syst Anal* 52. – 1-7 (2016). <https://doi.org/10.1007/s10559-016-9793-6>
4. Рыков В.В. Обработка нечисловой информации. Управление знаниями. – М.: МФТИ, 2007. – 156 с.
5. Демьянков В.З. Основы теории интерпретации и ее приложения в вычислительной лингвистике. – М.: Изд.-во Моск. ун-та, 1985. – 76 с.
6. Palagin A.V. Arrangement and functions of a “language” world picture in semantic interpretation of natural languages and messages // *International Journal Information Theories & Application*, 2000. – Vol. 7. – № 4 – P.155-164.
7. Палагин А.В., Крытый С.Л., Петренко Н.Г. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний // [Монография]. – Луганск: изд. ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с. – Available at: <http://www.aduis.com.ua/Monography.pdf>.
8. Петренко М.Г. Особенности разработки знания-ориентированного лингвистического процесора. – Комп'ютерні засоби, мережі та системи, 2006. – № 5. – С.18-22.
9. Леонтьева Н.Н. К теории автоматического понимания естественных текстов. Часть 2 // Семантические слова-ри: состав, структура, методика создания. – М.: МГУ, 2001. – 41 с.
10. Палагин О.В., Петренко М.Г. Архитектурно-онтологичні принципи розбудови інтелектуальних інформаційних систем. – Математичні машини і системи, 2006. – № 4. – С.15-20.
11. Палагин О.В., Петренко М.Г. Модель категоріального рівня мовно-онтологічної картини світу. – Математичні машини і системи, 2006. – № 3. – С.91-104.
12. Палагин А.В., Петренко Н.Г. К проектированию онтолого-управляемой информационной системы с обработкой естественно-языковых объектов. – Математические машины и системы, 2008. – № 2. – С.14-23.

Поступила в редакцию 05.04.2020

ДО ПИТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ ПРИРОДНОМОВНИХ ТЕКСТІВ

Палагин О.В., Петренко М.Г., Зеленцов Д.Г.

Розглянуто загальний підхід до проблеми аналізу природномовної інформації, який містить реалізацію низки інформаційних технологій, тим чи іншим чином пов'язаних з мовним моделюванням. Крім розробки зазначених інформаційних технологій, необхідно розробити формальну теорію комп'ютерної обробки знань, вилучених з природномовних текстів. Проаналізовано особливості побудови лингвістичних моделей і критерії розуміння природно-мовних текстів. При цьому виникає низка проблем. Перша проблема зводиться до проблеми аналізу текстової інформації, наданої на природній мові (морфологічний, синтаксичний, семантичний і логічний аналіз) з метою отримання знань. Друга проблема пов'язана з проектуванням системи пошуку, обробки та вилучення знань, розробки і побудови її архітектури, а також інструментарію для користувача. І третьою проблемою є розробка процедур інтеграції знань з кількох предметних областей для забезпечення ефективності здійснення досліджень міждисциплінарного і трансдисциплінарного характеру. Також необхідно приділити особливу увагу питанням використання вже напрацьованих теоретичних положень і практичних рішень. Запропонована формальна постановка задачі аналізу природномовних текстів, в якій виділені основні підзадачі, пов'язані з обчисленням відношень типізації лексики природної мови на лексико-смысловому континуумі та інтерпретацією деякого тексту на заданій предметній моделі. У контексті розробленої архітектури мовно-онтологічної інформаційної системи запропонована формальна модель обробки природно-мовних текстів, для якої показано однозначна відповідність процесів обробки природномовної інформації і засобів (архітектурних блоків) їх реалізації.

Ключові слова: природномовний текст, лингвістична модель, мовно-онтологічна інформаційна система, аналіз і розуміння природномовних текстів.

ON THE PROBLEM OF COMPUTER PROCESSING OF NATURAL LANGUAGE TEXTS

Palagin A.V.^a, Petrenko N.G.^a, Zelentsov D.G.^b

^a V.M. Glushkov Institute of Cybernetics, Kiev, Ukraine

^b Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The present paper deals with the general approach to the problem of analyzing natural language information, including the implementation of a number of information technologies related in one way or another to language modeling. In addition to the development of the aforementioned technologies, it is necessary to develop a formal theory of computer processing of knowledge extracted from natural language texts. The specific features of constructing linguistic models and the criteria for understanding natural language texts are analyzed. This raises a number of problems. The first problem comes down to the problem of analyzing textual information presented in natural language (morphological, syntactic, semantic and logical analysis) in order to extract knowledge. The second problem is associated with designing a system for searching, processing and extracting knowledge, developing and constructing its architecture, as well as tools for the user. The third problem is the development of procedures for the integration of knowledge from several subject areas to ensure the effectiveness of conducting studies of an interdisciplinary and transdisciplinary nature. It is also necessary to pay special attention to the use of already developed theoretical principles and practical solutions. A formal statement of the problem of the analysis of natural language texts is proposed, in which the main subtasks are identified, associated with the calculation of typing relationships of vocabulary of a natural language on a lexico-semantic continuum and the interpretation of some text on a given subject model. In the context of the developed architecture of the linguistic-ontological information system, a formal model for processing natural-language texts is proposed, for which an unambiguous correspondence of the processes of processing natural-language information and means (architectural blocks) of their implementation is shown.

Keywords: ELRE natural language text, linguistic model, language ontological information system, analysis and understanding of natural language texts.

REFERENCES

1. Palagin A.V., Kryvyj S.L., Petrenko N.G. *Znanie-orientovannye inphormatsionnye sistemy s obrabotkoy estestvenno-yazykovykh ob'ektov: osnovy metodologii i arhitekturno-strukturnaya organizatsiya* [Knowledge-oriented information systems with the processing of natural language objects: the fundamentals of methodology and architectural and structural organization], USiM, 2009, no. 3, pp.42-55. (in Russian).
2. Borgest N.M. *Graniitsy ontologii proektirovaniya* [The boundaries of the design ontology]. *Ontologiya proektirovaniya* [Design ontology], 2017, vol. 7, no. 1(23), pp.7-33. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33>. (in Russian).
3. Palagin A.V. An Ontological Conception of Informatization of Scientific Investigations. *Cybern Syst Anal* 52, 2016, 1-7. <https://doi.org/10.1007/s10559-016-9793-6>
4. Rykov V.V. *Obrabotka nechislovy inphormatsii. Upravlenie znaniyami* [Processing of non-numeric information. Knowledge management]. M.: MPhTI, 2007, 156 p. (in Russian).
5. Demyankov V.Z. *Osnovy teorii interpretatsii i ee prilozheniya v vychislitelnoy lingvistike* [Foundations of the theory of interpretation and its applications in computational linguistics]. M.: Izd.-vo Mosk. un-ta [Moscow University Publishing House], 1985, 76 p. (in Russian).
6. Palagin A.V. Arrangement and functions of a "language" world picture in semantic interpretation of natural languages and messages. *International Journal Information Theories & Application*, 2000, vol. 7, no. 4, pp.155-164.
7. Palagin A.V., Kryvyj S.L., Petrenko N.G. *Ontologicheskie metody i sredstva obrabotki predmetnykh znaniy* [Ontological methods and means of processing subject knowledge]. Lugansk: izd. VNU im. V. Dala [Lugansk: ed. VNU them. V. Dahl], 2012, 324 p. Available at: <http://www.aduis.com.ua/monography.pdf>. (in Russian).
8. Petrenko M.G. *Osoblyvosti rozrobky znannya-orientovanogo lingvistichnogo protsesora* [Features of the development of a knowledge-based linguistic processor]. *Komp'yuterni zasoby, merezhi ta systemy* [Computers and systems], 2006, no. 5, pp.18-22. (in Ukrainian).
9. Leont'eva N.N. *K teorii avtomaticheskogo ponimaniya estestvennykh tekstov. Chast 2* [Towards the theory of automatic understanding of natural texts. Part 2]. *Semanticheskie slovari: sostav, struktura, metodika sozdaniya* [Semantic dictionaries: composition, structure, method of creation]. M.: MGU, 2001, 41 p. (in Russian).
10. Palagin O.V., Petrenko M.G. *Arhitekturno-ontologichni pryntsyipy rozbudovy intelektualnykh inphormatsiynykh system* [Architectural and ontological principle of development of intellectual information systems] *Matematichni mashyny i systemy* [Mathematical machines and systems], 2006, no. 4, pp.15-20. (in Ukrainian).
11. Palagin O.V., Petrenko M.G. *Model kategorial'nogo rivnya movno-ontologichnoi kartyny svitu* [The model of the categorical level of the movable-ontological picture of the world]. *Matematichni mashyny i systemy* [Mathematical machines and systems], 2006, no. 3, pp.91-104. (in Ukrainian).
12. Palagin A.V., Petrenko N.G. *K proektirovaniyu ontologo-upravlyayemoy inphormatsionnoy sistemy s obrabotkoy estestvenno-yazykovykh ob'ektov* [On the design of an ontologically-controlled information system with the processing of natural language objects]. *Matematicheskie mashyny i systemy* [Mathematical machines and systems], 2008, no. 2, pp.14-23 (in Russian).

УДК 620.92

Підгородецький О.В., Тітова О.В., Кравець В.І.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНИХ ТРЕКІНГОВИХ СИСТЕМ З ДВОМА СТУПЕНЯМИ СВОБОДИ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

У статті порушено проблему підвищення продуктивності функціонування сонячних електростанцій. Ефективним шляхом збільшення потоку сонячної енергії на похилу площину фотоперетворювачів є впровадження систем, що здатні змінювати просторову орієнтацію сонячних модулів протягом світлового дня за вертикальною та горизонтальною траєкторією. Основну увагу в роботі акцентовано на визначенні кількісних показників прийдешньої сонячної енергії, при застосуванні орієнтованої у просторі та стаціонарної системи інсталяції фотомодулів. Обрана авторами методика розрахунку, дозволяє знайти інтенсивність сонячного випромінювання на поверхні площини спрямованій в будь-якому напрямку, для типового дня та за різних погодних умов. Порядком виконання розрахунку передбачено: визначення схилення Сонця до північної півкулі, часу сходу та заходу небесного світила для обраної місцевості, встановлення висоти Сонця і кута падіння сонячного випромінювання на поверхню площею 1 m^2 , орієнтовану під різними кутами до горизонтальної площини. Обчислення загальної сонячної інсоляції виконано шляхом інтегрування попередньо знайдених величин радіаційного балансу, за визначеної тривалості одного світлового дня. Подано порівняння інтенсивності надходження сонячної енергії на стаціонарну та орієнтовану площини, протягом одного року експлуатації. Встановлено, що найбільш сприятливий період часу для максимального використання потенціалу трекінгових систем визначається тривалістю світлового дня. Так, найбільша ефективність використання орієнтованої технології установки фотомодулів, стає доступною у весняний та літній періоди часу. Найменша продуктивність таких систем відносно стаціонарних спостерігається протягом зимової пори року, коли тривалість світлового дня є мінімальною, а тому, визначено доцільним змінювати режим роботи системи у відповідні проміжки часу. Виконані розрахунки дозволяють спрогнозувати економічний ефект від впровадження систем орієнтації сонячних фотомодулів з двома ступенями свободи, в залежності від робочих характеристик і вартості окремих систем.

Ключові слова: сонячна енергія, трекінг, фотоперетворювач, радіаційний баланс, випромінювання.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-46-50

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Протягом останніх десятиліть спостерігається збільшення населення та виробничих потужностей в усьому світі. Серед основних видів енергії, що забезпечують потреби людства, основні позиції на сьогоднішній день займають невідновлювальні джерела (нафта, газ, вугілля). Не виключенням у даному випадку є і енергетичний сектор України.

Основними недоліками використання викопних джерел енергії є їх негативний вплив на екологію навколишнього середовища, зміна клімату та обмежений характер. Крім того, варто відзначити геополітичну складову вартості традиційних джерел енергії. Так, політична нестабільність на території України, що досягла свого піка в 2014 році, девальвація гривні та початок віськового конфлікту на сході України, негативно позначилися на енергетичному сек-

торі держави.

Зазначені вище проблеми, викликали значний інтерес до стрімко зростаючого тренду впровадження альтернативних джерел енергії. Найбільш швидкозростаючою відновлювальною технологією видобутку електроенергії є сонячна енергія, яка володіє низкою переваг: легке поєднанням з традиційними джерелами, гнучкість інсталяції, екологічність у роботі та мінімальна необхідність в обслуговуванні. Окрім цього, широке розповсюдження сонячної енергетики на території України зумовлено сприятливим правовим полем і високим рівнем інсоляції.

Густина потужності сонячного випромінювання, яке надходить на поверхню землі складає близько 1300 Вт/м^2 . Однак, в електроенергію перетворюється лише частина випромінювання, що визначається коефіцієнтом корисної дії фотоперетворювачів. Серед основних факторів впливаючих на роботу сонячних панелей [1], виділяються ступінь освітлення та просторове розташування панелей.

Застосування динамічних пристроїв – сонячних трекерів, дозволяє значно підвищити кількість продукованої електроенергії, шляхом перпендикулярної орієнтації площини фотоперетворювача відносно сонячних променів. За ступенем свободи, розрізняють трекари з однією віссю обертання (як правило азимутальною) та двома (азимутальною і зенітною).

Найпродуктивнішими з точки зору збільшення обсягів виробництва електроенергії є трекінгові установки з двома ступенями свободи. Ефективність роботи сонячної електростанції після впровадження даної технології збільшується від 25% [2–3] та залежить від низки факторів – погодні умови, місце експлуатації та безумовно вартість системи, оскільки даний різновид установок володіє складнішим конструктивним виконанням порівняно з одновісними та стаціонарними сонячними станціями.

Близько 27% експлуатованих у світі сонячних електростанцій обладнані системами стеження за Сонцем [4], проте на сьогодні дана технологія збільшення коефіцієнта корисної дії сонячних систем не отримала широкого розповсюдження на території нашої країни.

Постановка задачі

Задачею дослідження є визначення показників річної ефективності роботи трекінгової системи з двома ступенями свободи, розташованої на території України.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для розрахунку показників ефективності

роботи системи орієнтації сонячних фотомодулів, використовується методика [5], яка дозволяє обчислити погодинний потік загальної сонячної радіації, що падає на поверхню площини під будь-яким кутом до горизонту і орієнтовану в будь-якому напрямку.

Розрахунок інтенсивності сонячного світла, що надходить на похилу площину, відбувається за допомогою схеми, зображеної на рис. 1.

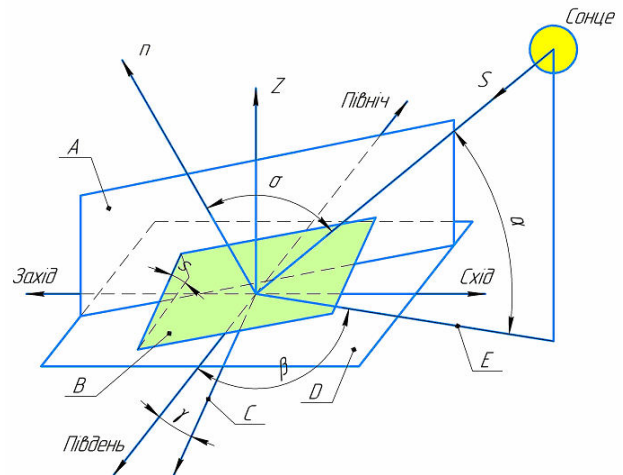


Рис. 1. Діаграма визначення сонячного випромінювання для орієнтованої площини

На рис. 1 наведено наступні позначення: А – вертикальна площина; В – похила площина фотоперетворювача; С – горизонтальна проекція нормалі на похилу площину; D – горизонтальна площина; E – горизонтальна проекція сонячного світла; Z – нормаль до горизонтальної площини; n – нормаль до похилої площини; S – пряме сонячне світло; α – сонячна висота; β – кут азимуту сонячної енергії; γ – кут азимуту площини; σ – кут падіння прямого сонячного випромінювання; s – кут нахилу площини.

При обчисленні загальної сонячної радіації (Q_{inc}) враховується три компоненти радіаційного балансу [5]:

$$Q_{inc} = S_{inc} + D_{inc} + R_{inc}, \quad (1)$$

де S_{inc} – пряме сонячне випромінювання на похилу поверхню, Вт/м^2 ; D_{inc} – дифузна сонячна енергія, Вт/м^2 ; R_{inc} – випромінювання відбите від поверхні Землі, Вт/м^2 .

Пряме сонячне випромінювання, що надходить на земну поверхню, залежить від випро-

мінювання в ортогональній площині та кута падіння:

$$S_{\text{inc}} = S_{\text{ort}} + \cos(\sigma), \quad (2)$$

де S_{ort} – пряме сонячне випромінювання, яке падає в ортогонально орієнтованій площині до променів Сонця, Вт/м².

Сонячне випромінювання ортогональної площини розраховується за формулою

$$S_{\text{ort}} = \frac{S_0 \cdot \sin(\alpha)}{\sin(\alpha) + c}, \quad (3)$$

де S_0 – сонячна постійна, що дорівнює інтенсивності сонячної інсоляції для обраного регіону, Вт/м²; c – безрозмірний коефіцієнт, характеризуючий ступінь прозорості атмосфери.

У випадку стаціонарно встановленого фотоперетворювача, падіння сонячного світла під різними кутами до його площини визначається:

$$\begin{aligned} \cos(\sigma) = & \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \cos(s) - \\ & - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \sin(s) \cdot \cos(\gamma) + \\ & + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(s) \cdot \cos(\omega) + \\ & + \cos(\delta) \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(s) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(\omega) + \\ & + \cos(\delta) \cdot \sin(s) \cdot \sin(\gamma) \cdot \sin(\omega), \end{aligned} \quad (4)$$

де φ – географічна широта, рад; δ – схилення сонця, рад; γ – кут азимута площини, рад; ω – годинний кут, рад; s – кут нахилу площини, рад.

Дифузне сонячне випромінювання, що надходить на поверхню модуля, визначається за формулою

$$D_{\text{inc}} = D_{\text{hor}} \cdot (0,55 + 0,434 \cdot \cos(\sigma) + 0,313 \cdot (\cos(\sigma))^2), \quad (5)$$

де D_{hor} – потік дифузного сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню, Вт/м².

Оскільки відбита сонячна радіація від поверхні землі, що падає на похилу площину незначна, вона не має суттєвого впливу на загальну кількість енергії Сонця прийдешньої на планету. Таким чином, використовуючи наведені вище формули, можна обчислити загальну сонячну радіацію, що надходить на поверхню Землі:

$$Q_{\text{inc}}(\varphi, \omega, \gamma, s, N) = (S_{\text{inc}}(\varphi, \omega, \gamma, s, N) + D_{\text{inc}}(\varphi, \omega, s, N)). \quad (6)$$

Загальна питома енергія, що падає на поверхню фотомодуля площею 1 м², дорівнює:

$$\int_{\omega_1}^{\omega_2} Q_{\text{inc}}(\omega) \cdot \frac{24}{2 \cdot \pi} \cdot d\omega, \quad (7)$$

де ω_1, ω_2 – годинний кут, пов'язаний з моментом початку і закінчення радіаційного процесу відповідно, рад.

Таким чином, використовуючи вищеописану методику, розраховується рівень питомої інсоляції для типового дня за різних погодних умов. Характеристики хмарності визначаються на основі баз даних метеорологічних спостережень.

В якості географічних координат умовного розташування трекінгової системи та стаціонарно встановлених фотомодулів, визначено південну частину обласного центру Дніпропетровської області. Точні географічні координати місцезнаходження: 48,37 градусів північної широти та 35,04 градусів східної довготи. Варіант стаціонарного розташування сонячних панелей передбачає їх орієнтацію на південь, з фіксованим кутом нахилу у 45 градусів. Ступінь траєкторії руху трекінгової системи має кути переміщення 200 та 90 градусів за азимутальним і зенітним напрямками відповідно.

Показники ефективності надходження сонячного випромінювання на стаціонарну та дво-вісну сонячні системи визначені з допомогою високорівневої мови програмування Python, використовуючи модулі для візуалізації (Matplotlib) та розрахунків (SciPy).

На рис. 2 зображено порівняльну характеристику роботи стаціонарної та трекінгової системи протягом одного року експлуатації.

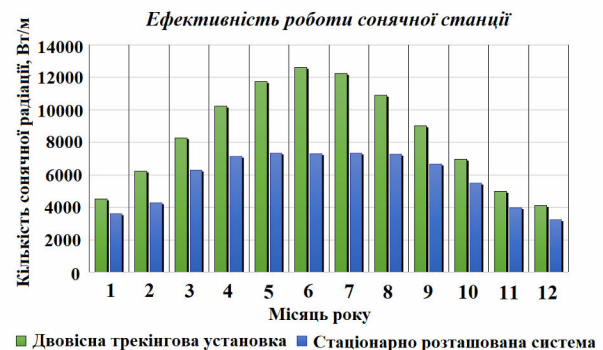


Рис. 2. Характеристика роботи сонячних систем протягом одного року експлуатації

Відповідно до наведених графіків, продуктивність трекінгової установки з двома ступенями свободи є найбільшою, протягом періоду часу з квітня по вересень. Виробництво електроенергії досягає свого піку у червні (рис. 3), коли фотомодулі, розташовані на трекінговій системі, здатні генерувати на 72,03% більше

енергії, аніж стаціонарно встановлені фотоперетворювачі.

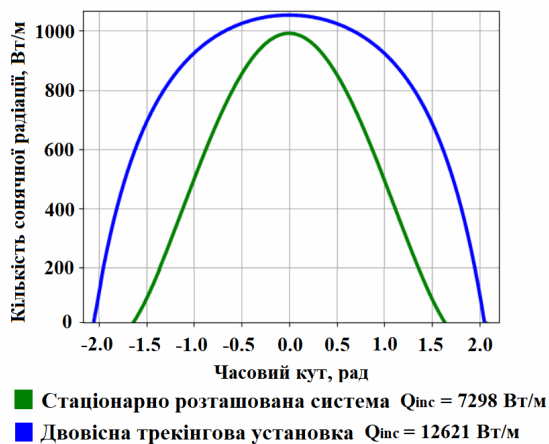


Рис. 3. Надходження сонячної енергії на 1 м^2 орієнтованого та стаціонарно встановленого фотоперетворювача протягом 15 червня

Найменш оптимальним періодом для експлуатації орієнтованої системи з точки зору її ефективності є зимовий період часу. У грудні кількість сонячної енергії, поглинутої поверхнею фотомодулів трекінгової установки, збільшується лише на 26,11% відносно стаціонарної системи (рис. 4).

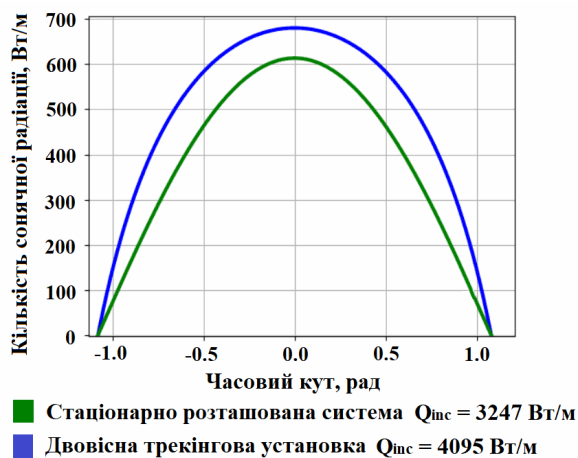


Рис. 4. Надходження сонячної енергії на 1 м^2 орієнтованого та стаціонарно встановленого фотоперетворювача протягом 15 грудня

З вище представлених рисунків видно, що в період скорочення тривалості сонячного дня, відбувається часткове нівелювання переваги орієнтованої системи, сприймати поверхнею фо-

томодулів більшу кількість сонячного випромінювання на початку та закінченні світлового дня.

Таким чином, враховуючи низьке положення Сонця над горизонтом та коротку тривалість світлої пори доби протягом зимового періоду, для оптимізації співвідношення «ефективність роботи – енерговитрати» трекінгової системи, слід розглянути часткове обмеження амплітуди роботи установки за двома площинами.

Загальна питома енергія, що надходить на площину 1 м^2 стаціонарно встановленого фотоперетворювача протягом одного року експлуатації, становить 69937 Вт. Застосування трекінгової системи з двома ступенями свободи дозволяє збільшити кількість поглинутої сонячної енергії до 101815 Вт.

Відтак, ефективність роботи сонячної станції розташованої в південній частині м. Дніпро з застосуванням трекінгової технології збільшується в середньорічній перспективі на 45%.

Висновки

В результаті здійсненого дослідження визначено ефективність роботи фотоперетворювача, розташованого на орієнтованій в двох площинах та стаціонарній конструкції, протягом одного року експлуатації. Отримані дані дозволяють спрогнозувати економічну доцільність від застосування трекінгової системи з двома ступенями свободи, розташованої на території Дніпропетровської області.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Vidyandandan K.V. An overview of factors affecting the performance of solar PV systems. Energy Scan House J Corp Plan NTPC Ltd New Delhi. – 2017. – № 27. – P.2-8.
2. Розробка системи стеження за рухом сонця для підвищення ККД сонячних електростанцій. / Я.А. Кулик, Б.П. Книш, М.В. Шкуран, О.В. Черноволик. – Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. Сер.: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – № 20. – С.19-24.
3. Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Performance of Photovoltaic Power Plants. / S. Bazyari, R. Keypour, S. Farhangi, A. Ghaedi, K. Bazyari. – A Journal of Power and Energy Engineering. – 2014. – № 2. – P.718-728. <https://doi.org/10.4236/jpee.2014.24096>
4. Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount. / S. Deepthi, A. Ponni, R. Ranjitha, R. Dhanabal. // International Journal of Engineering Science and Innovative Technology. – 2013. – Vol.2, Issue 2. – P.425-430.

5. Balzhinimaev B. Usage of solar trackers in PV systems. Poster 2017 Conference. – Prague, Czech Republic. – 2017. – P.1-6.

Надійшла до редакції 13.01.2020

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ ТРЕКИНГОВЫХ СИСТЕМ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Подгородецкий А.В., Титова Е.В., Кравец В.И.

В статье затронута проблема повышения производительности функционирования солнечных электростанций. Эффективным путем увеличения потока солнечной энергии на наклонную плоскость фотопреобразователей является внедрение систем, которые способны менять пространственную ориентацию солнечных модулей в течение светового дня в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Основное внимание в работе акцентировано на определении количественных показателей падающей солнечной энергии при применении ориентированной в пространстве и стационарной системы установки фотомодулей. Выбранная авторами методика расчета позволяет найти интенсивность солнечного излучения на поверхности плоскости направленной в любом направлении для типичного дня и при разных погодных условиях. Порядком проведения расчета предусмотрено: определение склонения Солнца к северному полушарию, времени рассвета и заката небесного светила для выбранной местности, установление высоты Солнца и угла падения солнечного излучения на поверхность площадью 1 м^2 , ориентированную под разными углами к горизонтальной плоскости. Вычисления общей солнечной инсоляции выполнено путем интегрирования найденных величин радиационного баланса, по определенной продолжительности одного светового дня. Представлено сравнение интенсивности поступления солнечной энергии на стационарную и ориентированную плоскости в течение одного года эксплуатации. Установлено, что наиболее благоприятный период времени для максимального использования потенциала трекинговых систем определяется продолжительностью светового дня. Так, наибольшая эффективность использования ориентированной технологии установки фотомодулей становится доступной в весенний и летний периоды времени. Наименьшая производительность таких систем относительно стационарных наблюдается в течение зимнего времени года, когда продолжительность светового дня минимальна, а потому, определено целесообразным изменять режим работы системы в соответствующие промежутки времени. Проведенные расчеты позволяют спрогнозировать экономический эффект от внедрения систем ориентации солнечных фотомодулей с двумя степенями свободы в зависимости от рабочих характеристик и стоимости отдельных систем.

Ключевые слова: солнечная энергия, трекинг, фотопреобразователь, радиационный баланс, излучение.

EFFICIENCY OF USING SOLAR TRACKING SYSTEMS WITH TWO DEGREES OF FREEDOM

Pidhorodetskiy O.V., Titova O.V., Kravets V.I.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The article touches upon the problem of increasing the efficiency of the functioning of solar power plants. An effective way to increase the flow of solar energy to the inclined plane of photo converters is the introduction of systems that are able to change the spatial orientation of solar modules during daylight hours in the vertical and horizontal planes. The work focuses on determining the quantitative indicators of incident solar energy when using a space-oriented and stationary installation system of photo modules. The calculation method chosen by the authors allows finding the intensity of solar radiation on the surface of a plane oriented in any direction, for a typical day and under different weather conditions. The calculation procedure is built for: determining the declination of the Sun to the northern hemisphere, the time of sunrise and sunset of the celestial body for the selected area, establishing the height of the Sun and the angle of incidence of solar radiation on a surface of 1 m^2 , oriented at different angles to the horizontal plane. Calculation of total solar insolation is performed by integrating the found values of the radiation balance over a specific duration of daylight. A comparison of the intensity of the supply of solar energy to a stationary and oriented plane during one year of operation is presented. It has been established that the most favourable period of time for maximum use of the potential of tracking systems is determined by the length of daylight hours. So, the highest efficiency of using oriented technology for installing photomodels becomes available in spring and summer. The lowest efficiency of such systems relative to stationary counterparts is observed during the winter season, when the daylight hours are minimal, and therefore, the change of the mode of operation of the system at appropriate intervals is required. The calculations allow predicting the economic effect of the introduction of orientation systems for solar photomodels with two degrees of freedom, depending on the performance and cost of individual systems.

Keywords: solar energy, tracking, photovoltaic converter, radiation balance, radiation.

REFERENCES

1. Vidyandandan K. V. An overview of factors affecting the performance of solar PV systems. Energy Scan House J Corp Plan NTPC Ltd New Delhi, 2017, no. 27, pp.2-8.
2. Rozrobka systemy stezhennja za rukom soncja dlja pidvyshhennja KKD sonjachnyh elektrostancij. Ja.A. Kulyk, B.P. Knysh, M.V. Shkuran, O.V. Chernovolyk [Development of the solar tracking system to increase the efficiency of solar power plants]. *Visnyk NTU «HPI». Serija «Mehaniko-tehnologichni systemy ta komplekсы»* [Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes]. 2017, no. 20, pp.19-24. (in Ukrainian).
3. A Study on the Effects of Solar Tracking Systems on the Performance of Photovoltaic Power Plants. S. Bazyari, R. Keypour, S. Farhangi, A. Ghaedi, K. Bazyari. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2014, no. 2, pp.718-728. <https://doi.org/10.4236/jpee.2014.24096>
4. Comparison of Efficiencies of Single-Axis Tracking System and Dual-Axis Tracking System with Fixed Mount. S. Deepthi, A. Ponnai, R. Ranjitha, R. Dhanabal. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 2013, vol.2, Issue 2, pp.425-430.
5. Balzhinimaev B. Usage of solar trackers in PV systems. Poster 2017 Conference, 2017, pp.1-6.

УДК 621.774. 38

*Рахманов С.Р.^а, Гуляев Ю.Г.^а, Зданевич С.В.^б***ДИНАМИКА МЕХАНИЗМА УДЕРЖАНИЯ ОПРАВКИ ПРОШИВНОГО СТАНА ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТА**^а НПП «Восток Плюс», г. Днепр, Украина^б Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр, Украина

Приведены результаты вибродиагностики центрователя механизма удержания оправки прошивного стана №1 трубопрокатного агрегата (ТПА) 350. Установлено, что виброускорение рычага опорного ролика центрователя механизма удержания оправки при прокатке гильзы $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20 достигает 5...12 м/с²; а частота колебаний верхнего ролика, при этом, равна 33,3 Гц. Представлены результаты толщинометрии гильзы после прошивного стана №1 ТПА 350 при прокатке гильзы $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20, что указывают на характерное влияние динамики стержня механизма удержания оправки. Изложена методика расчета энергосиловых параметров при реализации технологического процесса получения гильз заданных размеров на прошивном стане. Определена величина осевого сопротивления оправки потока прошиваемого металла с учетом ее калибровки. Разработана уточненная методика построения динамической модели стержня механизма удержания оправки прошивного стана с учетом параметров калибровки оправки. Составлено дифференциальное уравнение движения стержня оправки для выбранной динамической модели механической системы прошивного стана ТПА. Уточнены динамические характеристики механической системы, что служит исходным материалом для решения задач анализа состояния виброактивности стержня оправки прошивного стана ТПА. Для снижения уровня виброактивности стержня рекомендовано выбрать рациональные калибровки оправок и назначить режимы прокатки гильз моделированием динамики механической системы на соответствующих этапах проектирования технологических процессов. Предложена схема модернизации выходной стороны прошивного стана ТПА 350, путем перевода привода опорных узлов центрователей стержневой системы на пропорциональную гидравлику.

Ключевые слова: прошивной стан, вибродиагностика, толщинометрия, прошивка, гильза, разностенность, энергосиловые параметры, калибровка, оправка, виброактивность, динамика, механизм удержания оправки.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-51-63

Введение

Пути интенсификации технологического процесса производства и повышения качества труб указывают на совершенствование конструкции прошивных станов трубопрокатных агрегатов (ТПА). Очевидно, получение научно обоснованных предложений по модернизации оборудования прошивных станов и совершенствование технологического процесса производства труб возможно на основе установления влияния различных параметров и технологических особенностей на поведение механической сис-

темы и качество готовой продукции.

Трубопрокатные агрегаты с автоматическими станами являются лидерами по производству горячекатаных бесшовных труб. Современные требования к точности горячекатаных труб предполагают $\pm 5\%$ по толщине стенки и $\pm 0,5\%$ по диаметру. Одним из факторов определяющих разностенность гильз, является виброактивность стержня механизма удержания оправки, что определяется условия формирования силовых параметров очага деформации и функционирования механизмов прошивного стана ТПА (рис. 1).

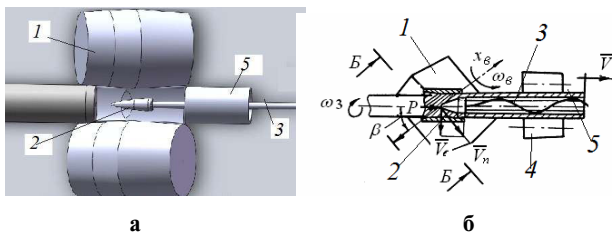


Рис. 1. Визуализированная схема процесса прошивки трубной заготовки (а) и силовая схема функционирования механизма удержания оправки прошивного стана (б): 1 – валок; 2 – оправка; 3 – стержень; 4 – центрователь стержня оправки; 5 – гильза

Поэтому разработка алгоритма расчета силовых параметров процесса прошивки гильзы с учетом параметров технологического инструмента, формирующих динамическую устойчивость функционирования стержневой системы механизма удержания оправки, безусловно, актуальны.

Следовательно, вышеизложенное требует рассмотрение уточненной математической модели прошивного стана ТПА, которая адекватно отражает реальные процессы, происходящие в исходной механической системе.

Результаты вибродиагностики центрователя № 3 механизма удержания оправки прошивного стана № 1 ТПА 350 при прокатке гильзы – $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20 представлены на рис. 2.

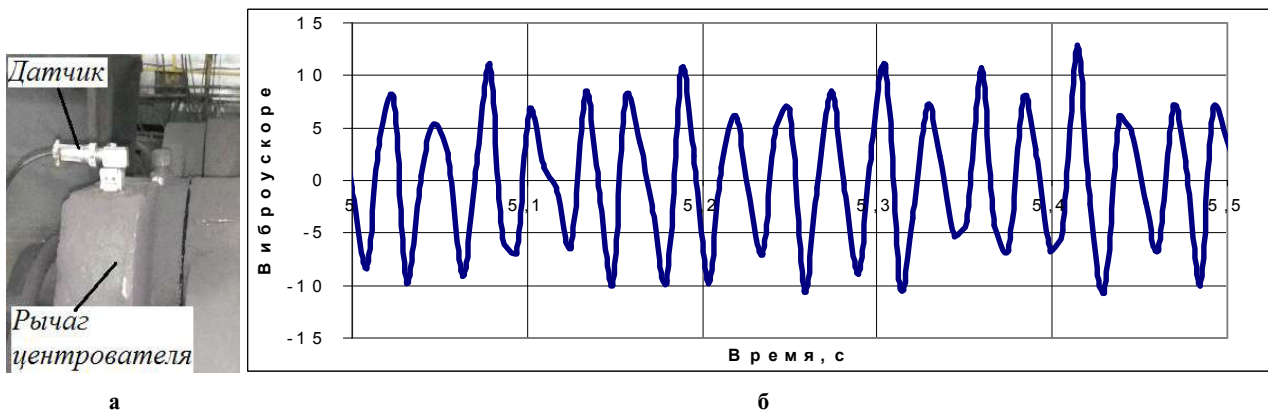


Рис. 2. Место установки датчика вибрации (а) и результаты вибродиагностики центрователя №3 механизма удержания оправки прошивного стана №1 ТПА 350 (б) (размер гильзы – $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20)

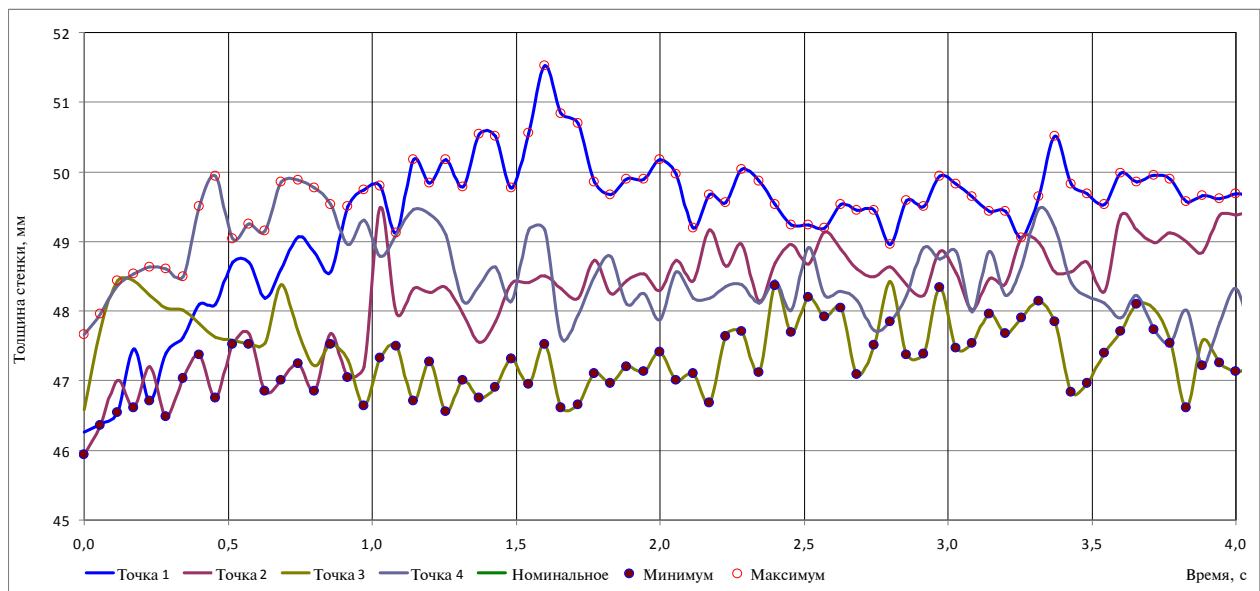


Рис. 3. Результаты толщинометрии гильзы после прошивного стана № 1 ТПА 350 (размер гильзы – $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20)

Из рис. 2 видно, что виброускорение рычага центрователя № 3 механизма удержания оправки прошивного стана № 1 составляет $a=5...12$ м/с²; а ее частота колебаний равна 33,3 Гц).

Для установления взаимосвязи между параметрами гильзы после прошивного стана № 1 ТПА 350 рассмотрим результаты толщинометрии гильзы (размер гильзы – $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20) (рис. 3).

Анализ параметров вибродиагностики центроватей механизма удержания оправки и результаты толщинометрии гильзы после прошивного стана № 1 указывают на тесную взаимосвязь факторов, определяющих разностенность гильз и колебания стержня механизма удержания оправки.

Постановка задачи

Объектом исследования является механизм удержания оправки прошивных и раскатных станов ТПА [1]. В работе [2] приведены исследования напряженно-деформированного состояния станины автоматического стана ТПА 350. При реализации технологических процессов производства труб на прошивных станах в стержне, удерживающем оправку, возникают значительные по величине и изменяющиеся во времени динамические нагрузки. Это обуславливает отклонение формы стержня от прямолинейной, что значительно усиливает виброактивность стержневой системы и отрицательно воздействует на процесс прокатки. Влияние во времени массы трубной заготовки, перемещающейся в процессе прошивки вдоль стержня, значительно усложняет динамические процессы на прошивном стане ТПА. Виброактивность стержневой системы в ходе реализации требуемых технологических процессов эквивалентно передаются на оправку. Это приводит к неконтролируемому пережеванию оправки в пережиме рабочих валков, увеличению уровня разностенности гильз и в конечном итоге к ухудшению качества прокатываемых труб.

Цель работы

Создание алгоритма расчета силовых параметров процесса прошивки гильзы с учетом параметров технологического инструмента, формирующих динамическую устойчивость функционирования стержневой системы механизма удержания оправки. Исследование динамики механической системы «стержневая система – трубная заготовка» с учетом энергосиловых параметров очага деформации, что позволит оценить динамическое состояние стержневой сис-

темы с оправкой в течение всего технологического процесса прокатки труб и на этой основе решить задачу по модернизации выходной стороны прошивных станов ТПА.

Разработка алгоритма расчета силовых параметров процесса прошивки гильзы с учетом влияния параметров технологического инструмента имеет практическую ценность. Расчет энергосиловых параметров любого технологического процесса, в том числе и процесса получения гильз методом прошивки на прошивном стане, является обязательным как при проектировании нового, так и при изменении технологических параметров работы существующего оборудования. Для этих целей используют математическое моделирование процесса. Очевидно, что используемая математическая модель должна максимально достоверно описывать все физические особенности исследуемого объекта.

Анализ последних исследований и публикаций

В работе проведен анализ существующих математических моделей для расчета энергосиловых параметров процесса прошивки. В результате проделанной работы был сделан вывод о том, что современный уровень развития вычислительной техники позволяет анализировать процесс прошивки с учетом факторов, которые в ранее известных математических моделях либо существенно упрощались, либо, вообще, не принимались во внимание. Разработанная математическая модель процесса прошивки отличается от ранее известных моделей [1,3–4] по следующим основным параметрам.

Отличие первое. В известных математических моделях процесса поперечно-винтовой прокатки используют следующий алгоритм проведения вычислений: определяют значения параметров процесса (частные обжатия по стенке, ширина зоны контакта металла с валком, скорость и степень деформации, сопротивление деформации, удельное нормальное давление на контакте металла с валком и др.) в узловых точках очага деформации (как правило, – перед носком оправки, в пережиме валков и в конце конуса раскатки [3,4], или только в пережиме валков [5]); усредняют полученные значения по длине очага деформации; по усредненным значениям параметров рассчитывают основные энергосиловые характеристики процесса прошивки (полное давление металла на валки, момент и мощность прокатки, давление металла на линейки, осевое давление на оправку и пр.).

В разработанной модели параметры процесса прошивки трубной заготовки определя-

ются не дискретно в нескольких узловых точках очага деформации, а непрерывно как функции положения рассматриваемого сечения очага деформации относительно оси прокатки x . Так, например, текущая по длине очага деформации величина удельного нормального давления металла на валок p_x определяется в соответствии с формулой

$$p_x = n_x K_{fx}, \quad (1)$$

где n_x – текущее по длине очага деформации значение коэффициента напряженного состояния (методика определения величины коэффициента подпора n_x изложена в [4,6–8]); K_{fx} – текущее по длине очага значение сопротивления деформации; x – индекс, указывающий на то, что соответствующая величина определена как переменная по длине очага деформации (является функцией координаты X).

Схема к определению величины частной деформации по стенке Δs_x при прошивке трубной заготовки представлена на рис. 4.

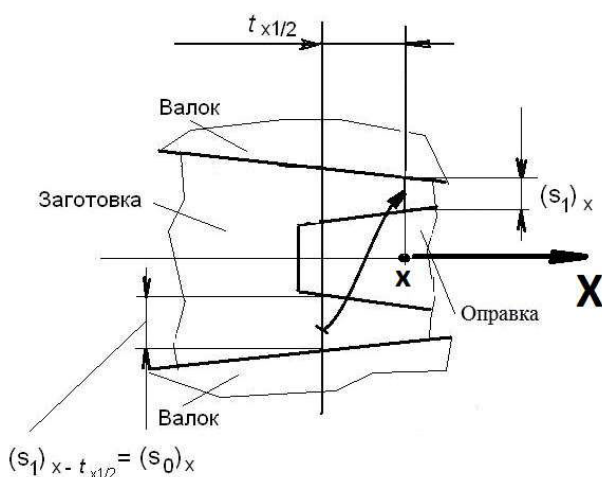


Рис. 4. Схема к определению величины частной деформации по стенке Δs_x

Расчетным путем установлены значения изменения по длине очага деформации величин K_{fx} и p_x , полученные при реализации разработанной математической модели.

Отличие второе. В известных математических моделях при определении частных деформаций по стенке $\Delta s_x = (s_0)_x - (s_1)_x$ (здесь $(s_0)_x$, $(s_1)_x$ – соответственно толщина стенки заготовки до и после деформации в данном диаметральной сечении с координатой x) принимают, что ве-

личина $(s_0)_x$ равна величине $(s_1)_{x-t/2}$ в диаметральной сечении, отстоящем от рассматриваемого на величину $t_{x1/2}$, равную половине шага t_x подачи геликоидального движения заготовки в рассматриваемом сечении. Иными словами, в известных математических моделях при определении обжатия в данном диаметральной сечении изменением вытяжки в пределах участка, длина которого равна половине шага подачи t_x пренебрегают. На самом же деле, при определении величины $(s_1)_{x-t/2}$ следует искать диаметральной сечении, отстоящее от рассматриваемого на величину половины шага подачи, не в рассматриваемом сечении с координатой x , а в сечении с координатой $x-t_{x1/2}$ (рис. 4).

Величина $t_{x1/2}$ определяется как корень интегрального уравнения

$$t_{x1/2} - \frac{\pi d_g \tan \alpha}{2 t_{x1/2} \mu_\Sigma} \cdot \frac{\eta_0}{\eta_t} \cdot \int_{(x-t_{x1/2})}^x \mu_x dx = 0, \quad (2)$$

где d_g – диаметр прокатываемой гильзы; α – угол подачи; η_0 , η_t – коэффициенты осевого и тангенциального скольжения на выходе из очага деформации; μ_Σ , μ_x – суммарная и текущая по длине очага деформации вытяжка.

Величина частной абсолютной деформации по стенке определится из выражения

$$\Delta s_x = (s_1)_x - (s_1)_{x-t/2}. \quad (3)$$

На основании аналогичных рассуждений сделан вывод о том, что радиус образующей наружной поверхности заготовки $(r_0)_x$, входящей в зону деформации в сечении с координатой x , – это радиус образующей внешней поверхности заготовки r_1 , сформировавшийся в результате контакта заготовки с линейкой в сечении, отстоящем от рассматриваемого сечения на расстояние четверти шага подачи против направления прокатки. Т.е. $(r_0)_x = (\xi)_{x-t/4} \cdot (r_1)_{x-t/4}$ (здесь $\xi_{x-t/4}$, $(r_1)_{x-t/4}$ – коэффициент овализации и половина расстояния между поверхностями валков в сечении, отстоящем от рассматриваемого сечения на расстояние четверти шага подачи $t_{x-t/4}$, т.е. в сечении с координатой $x-t_{x1/4}$). Величина частной абсолютной деформации по радиусу определится из выражения

$$\Delta r_x = (\xi)_{x-t/4} \cdot (r_1)_{x-t/4} - (r_1)_x, \quad (4)$$

где $(r_1)_x$ – радиус заготовки в сечении с координатой x .

Отличие третье. Тот факт, что параметры прокатки в разработанной модели определяются как функции положения диаметрального сечения очага деформации относительно оси прокатки X, позволил вычислять энергосиловые параметры процесса в “интегральной” форме. Так, например, известна формула для определения момента прокатки [9].

$$M = Pb\psi' \left(1 + \frac{D_B}{d_3} \right), \quad (5)$$

где P – полное давление металла на валок; b – средняя по длине очага деформации ширина контакта металла с валком; $\psi' = 0,4...0,5$ – коэффициент, характеризующий положение равнодействующей по ширине контактной поверхности; d_3, D_B – соответственно средние по длине очага деформации значения диаметра заготовки и диаметра валка.

В разработанной модели та же формула для определения момента прокатки приобретает вид:

$$M = \psi' \cdot \int_0^L p_x b_x^2 \left(1 + \frac{D_{Bx}}{d_{3x}} \right) dx, \quad (6)$$

где L – длина очага деформации.

Разработанная модель состоит из трех блоков: расчета геометрических параметров; расчета деформационных параметров; расчета энергосиловых параметров процесса.

Первый блок включает в себя расчет всех геометрических параметров процесса (длины зон деформации, расстояние между осями валков, расстояние между поверхностями валков и оправки и пр.).

Схема к определению геометрических па-

раметров очага деформации прошивного стана с бочкообразными валками приведена на рис. 5. Все геометрические параметры представлены как функции от текущей координаты x, совпадающей с осью прокатки X.

Второй блок включает в себя расчет частных деформаций по стенке Δs_x и радиусу Δr_x заготовки, определение ширины контакта металла с валком b_x , суммарной относительной деформации $\epsilon_{\Sigma x}$, скорости деформации u_x , коэффициента n_x и сопротивления деформации K_{fx} . Величину $\epsilon_{\Sigma x}$ определяют по формуле

$$\epsilon_{\Sigma x} = \frac{\Delta s_x}{(s_1)_x + \Delta s_x} + \frac{2 \cdot \Delta r_x - \Delta s_x}{2 \cdot (r_0)_x - [(s_1)_x + \Delta s_x]}. \quad (7)$$

Скорость деформации определяют по формуле

$$u_x = \frac{\epsilon_{\Sigma x} \omega_B}{\psi_x}, \quad (8)$$

где ω_B – угловая скорость вращения валка; ψ_x – угол контакта металла с валком.

Сопротивление деформации K_f рассчитывают по формулам [5].

При $\epsilon_x \leq \epsilon_0$

$$K_{fx} = \left[n_1 (1 + \epsilon_x^{n_2}) \right]^{(\epsilon_x - \epsilon_0)} m_1 u_x^{(m_2 + m_3 t^0)} \exp(m_4 t^0);$$

при $\epsilon_x > \epsilon_0$

$$K_{fx} = m_1 u_x^{(m_2 + m_3 t^0)} \exp(m_4 t^0) [1 + m_5 (\epsilon_x - \epsilon_0)],$$

где $n_1, n_2, m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, \epsilon_0$ – эмпирические коэффициенты, величина которых зависит от реологических характеристик материала, подвер-

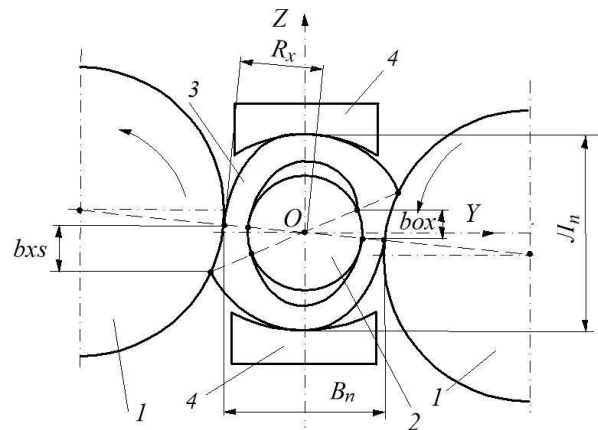
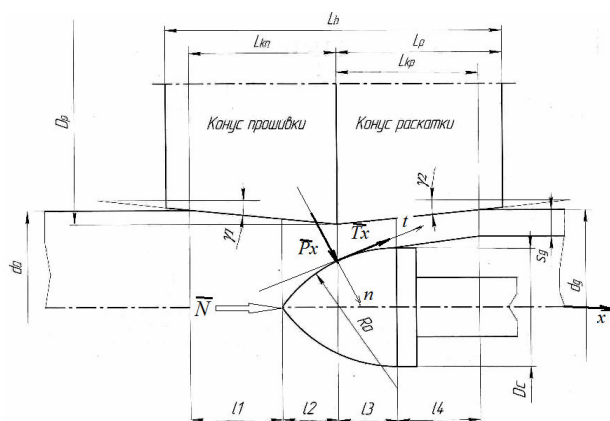


Рис. 5. Схема к определению геометрических параметров очага деформации прошивного стана с бочкообразными валками: 1 – валок; 2 – оправка; 3 – заготовка; 4 – линейка; 5 – стержень

гающего деформации.

Третий блок включает расчет энергосиловых параметров прокатки (удельное нормальное давление p_x , полное давление металла на валок P , момент прокатки M , мощность прокатки W , удельная работа деформации $A_{уд}$). Величину p_x рассчитывают по формуле (1). Величину P определяют по формуле

$$P = \int_0^{x_3} b_{xs} p_x dx + \int_{x_3}^{x_4} \frac{2s_g^2 K_{fx}}{2(r_1)_x - s_g} dx, \quad (9)$$

где b_{xs} – ширина зоны обжатия заготовки по стенке; s_g – толщина стенки гильзы; x_3, x_4 – координаты точек окончания обжатия по стенке и подъема гильзы по диаметру соответственно.

Момент прокатки на одном валке определяют в виде суммы моментов

$$M = M_s + M_r + M_0, \quad (10)$$

где M_s, M_r, M_0 – моменты, обусловленные обжатием заготовки по стенке, обжатием заготовки по радиусу и осевым сопротивлением оправки в потоке металла соответственно.

Полная мощность процесса прошивки трубной заготовки прокатки определяется по формуле

$$W = a M \omega_B, \quad (11)$$

где a – число валков в клети прошивного стана.

Удельную работу деформации определяют по формуле

$$A_{уд} = \frac{4W}{\pi d_0^2 V_0 \gamma_{уд}}, \quad (12)$$

где d_0 – диаметр заготовки; V_0 – осевая скорость заготовки на входе в очаг деформации; $\gamma_{уд}$ – плотность материала трубной заготовки.

Определяем статическую составляющую силы N_0 , действующую на стержневую систему

механизма удержания оправки вдоль оси прошивки. Она определяется в виде:

$$N_0 = \int_{x_1}^{x_3} p_{ox} b_{ox} \left(\sin \left[\arctan \left(\frac{d\rho_{ox}}{dx} \right) \right] + f_0 \cos \left[\arctan \left(\frac{d\rho_{ox}}{dx} \right) \right] \right) dx, \quad (13)$$

где f_0 – коэффициент трения на контакте гильзы и оправки; x_1 – координата носка оправки; p_{ox} – закон распределения средних нормальных контактных напряжений по длине оправки; b_{ox} – ширина контакта металла с оправкой; ρ_{ox} – закон изменения радиуса оправки вдоль оси прокатки.

Далее переходим к исследованию динамики механизма удержания оправки прошивного стана ТПА во взаимосвязи с параметрами прошиваемой трубной заготовки и оправки.

Обобщенная схема механизма удержания оправки прошивного стана ТПА приведена на рис. 6.

В рамках принятой динамической модели стержневой системы прошивного стана ТПА расчетной схемой системы является шарнирно опертый по концам стержень постоянного сечения. Стержень оправки установлен на опорах (роликах центрователей), вращается с угловой скоростью ω вокруг оси прокатки и подвергается воздействию осевого (продольного) усилия прошивки трубной заготовки $N(t)$.

При этом на стержень надвигается с постоянной скоростью прокатки $V\bar{q}$ равномерно распределенная нагрузка прокатываемой гильзы интенсивности \bar{q} и погонной массы m_q (рис. 7).

Метод решения задачи

Для построения математической модели динамической системы воспользуемся дифференциальным уравнением колебаний вращаю-

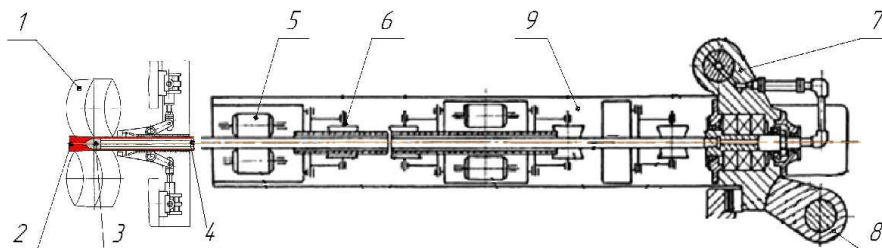


Рис. 6. Обобщенная схема механизма удержания оправки прошивного стана ТПА: 1 – валок; 2 – заготовка; 3 – оправка; 4 – стержень; 5 – центрователь; 6 – выдающие ролики; 7 – упорная головка; 8 – замок упора; 9 – стол выходной

щегося стержня на упругом основании центрователей [3]:

$$m \frac{\partial^2 u_y}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left[EI \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + f \left(\frac{\partial^3 u_y}{\partial x^2 \partial t} + \omega \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} \right) \right] + k \frac{\partial u_y}{\partial t} + cu_y = m\omega^2 [e_1 \cos(\omega t) - e_2 \sin(\omega t)], \quad (14)$$

где EI, m – соответственно изгибная жесткость стержня и его погонная масса; u_y, u_z – перемещения вдоль осей y и z; c, k – коэффициенты упругого основания центрователей, зависящие от перемещения и скорости соответственно; f – коэффициент, учитывающий внутреннее трение в процессе колебания всей механической системы; $e_1(x), e_2(x)$ – эксцентриситеты, характеризующие неуравновешенность масс стержня в соответствующих плоскостях.

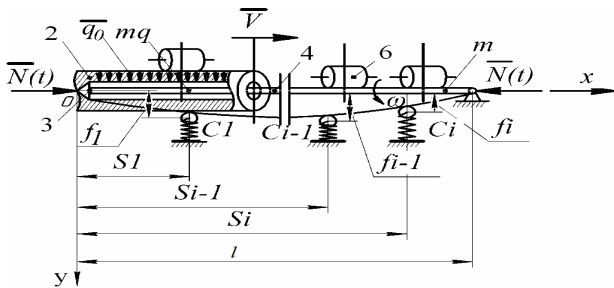


Рис. 7. Расчетная схема стержневой системы механизма удержания оправки прошивного стана ТПА

Предполагая, что внутреннее трение отсутствует, и неуравновешенность лежит в одной плоскости $e_1(x)=e(x)$, приходим к уравнению следующего вида согласно [3]:

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + cu = m\omega^2 e(x) \sin(\omega t). \quad (15)$$

Заменив конечным числом податливых опор центрователей выходной стороны прошивного стана ТПА, упругое основание механической системы запишем так:

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + \sum_{i=1}^n c_i u \delta(x - x_{oi}) = m\omega^2 e(x) \sin(\omega t), \quad (16)$$

где $d(x-x_{oi})$ – дельта-функция Дирака.

Принимая во внимание, что данная функция обладает следующим фильтрующим свой-

ством [6]

$$\int_a^b f(x) \delta(x - \zeta) dx = f(\zeta); \quad [a < \zeta < b], \quad (17)$$

с учетом гармонического закона изменения продольной составляющей усилия прокатки гильзы $N(t)=N_0+N_1 \cos(\omega t)$, согласно [1] и интенсивности воздействия прошиваемой трубы $\bar{q}(x, t)$ дифференциальное уравнение (3) примет вид:

$$m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + N(t) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \sum_{i=1}^n c_i u \delta(x - x_{oi}) - q(x, t) = m\omega^2 e(x) \sin(\omega t), \quad (18)$$

где $q(x, t)$ – интенсивность воздействия прокатываемой гильзы (распределенная нагрузка), обладающая определенной массой, может быть определена согласно [10,11]

$$q(x, t) = q_0 - m_q \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2V \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} \right) \Big|_{x=vt}, \quad (19)$$

где q_0, m_q – соответственно интенсивность и погонная масса прокатываемой гильзы (трубы); V – скорость прокатки трубы в осевом направлении; $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; V^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}; 2V \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t}$ – учитывают соответственно относительное, переносное и кориолисово ускорения прокатываемой гильзы.

В первом приближении примем эксцентриситет (смещение оси стержня по отношению оси прокатки гильзы) в виде:

$$e(x) = u = f(t) \sin(\pi x / \ell). \quad (20)$$

Тогда с учетом этого уравнение (5) формируем в виде оператора:

$$L(u) = m \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + N(t) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \sum_{i=1}^n c_i u \delta(x - x_{oi}) - q(x, t) - m\omega^2 f(t) \sin(\pi x / \ell) \sin(\omega t) = 0. \quad (21)$$

Для решения применяем процедуру Бубнова-Галеркина:

$$\int_0^{\ell} L(u) \sin(\pi x / \ell) dx = 0. \quad (22)$$

После подстановки (8) в (9) и некоторых очевидных преобразований окончательно имеем:

$$\begin{aligned} & \frac{d^2 f(t)}{dt^2} \left[1 + \frac{m_q}{2\pi m} \left(2\pi \frac{Vt}{\ell} - \sin \left(2\pi \frac{Vt}{\ell} \right) \right) \right] + \\ & + \frac{df(t)}{dt} \frac{V m_q}{m \ell} \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{Vt}{\ell} \right) \right) + \\ & + f(t) \left[\frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^4 + \frac{2}{m \ell} \sum_{i=1}^n c_i \sin^2 \left(\frac{\pi x_{oi}}{\ell} \right) - \right. \\ & - \frac{1}{m} (N_0 + N_1 \cos(\omega t)) \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^2 - \\ & \left. - \frac{m_q}{m} \frac{V^2}{\ell^2} \pi \left(2\pi \frac{Vt}{\ell} - \sin \left(2\pi \frac{Vt}{\ell} \right) - \omega^2 \sin(\omega t) \right) \right] = \\ & = \frac{2q_0}{m\pi} \left(1 - \cos \left(\pi \frac{Vt}{\ell} \right) \right). \quad (23) \end{aligned}$$

Для обезразмеривания слагаемых в дифференциальное уравнение (22) введем новые переменные:

$$\zeta = \frac{Vt}{\ell}, \quad \mu = \frac{m_q}{m}; \quad m\ell = M; \quad \frac{d^2 f}{d\zeta^2} = \ddot{f}, \quad \zeta \in [0; 1].$$

После определенных преобразований получаем:

$$\begin{aligned} & \ddot{f} a_0(\zeta) + \dot{f} \mu a_1(\zeta) + f \Omega_0^2 \left(\frac{\ell}{V} \right)^2 [b - b_1(\zeta)] = \\ & = \frac{2q_0}{m\pi} \left(\frac{\ell}{V} \right)^2 a_1(\zeta), \quad (24) \end{aligned}$$

$$\text{где } a_0(\zeta) = 1 + \frac{\mu}{2\pi} (2\pi\zeta - \sin(2\pi\zeta));$$

$$a_1(\zeta) = 1 - \cos(2\pi\zeta);$$

$$b = 1 + \frac{2}{M\Omega_0^2} \sum_{i=1}^n c_i \sin^2 \left(\frac{\pi x_{oi}}{\ell} \right) - \frac{N_0 \pi^2}{M\ell\Omega_0^2};$$

$$a(\zeta) = 2\pi\zeta - \sin(2\pi\zeta);$$

$$\begin{aligned} b(\zeta) &= \frac{\pi^2}{M\ell\Omega_0^2} N_1 \cos \left(v \frac{\ell}{V} \zeta \right) + \\ &+ \frac{\mu}{\Omega_0^2} \left(\frac{V}{\ell} \right)^2 \pi^2 a(\zeta) + \frac{\omega^2}{\Omega_0^2} \sin \left(\omega \frac{\ell}{V} \zeta \right), \end{aligned}$$

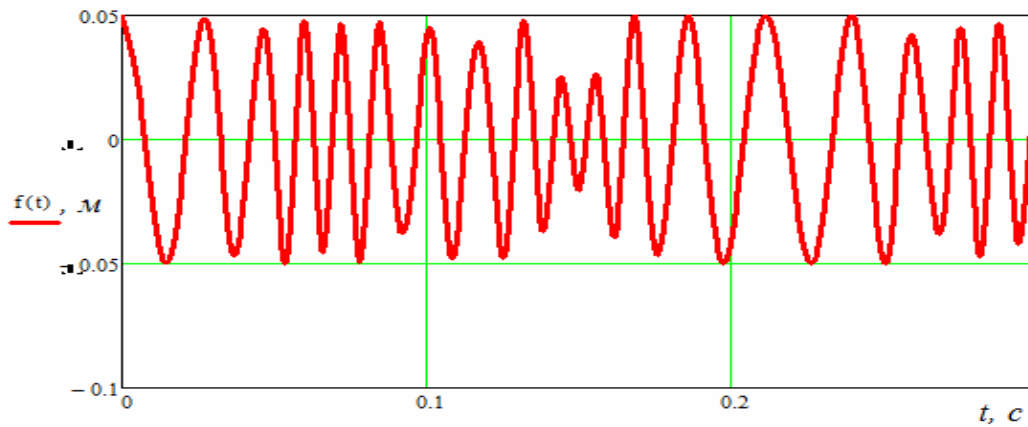
где $\Omega_0^2 = \frac{EI}{m} \left(\frac{\pi}{\ell} \right)^4$ – квадрат частоты свободных

колебаний стержня оправки по первой форме.

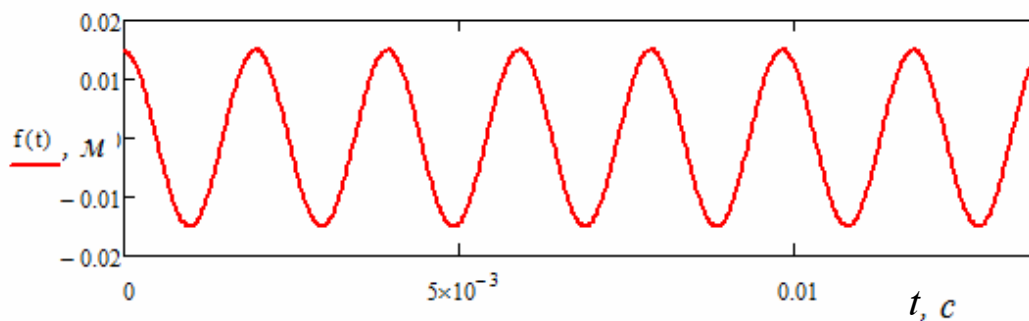
Выполним расчет на базе математической модели задачи о вынужденных колебаниях оправки со стержнем для прошивного стана № 2 ТПА 350. Для этого воспользуемся следующими исходными данными: $l=11,3$ м; $N_1=70000$ Н; $N_0=790000$ Н; $v=31,4$ л/с; $x=0,35$ м/с; $m=120$ кг/м; $m_q=80$ кг/м; $c_1=16 \cdot 10^6$ Н/м; $c_2=14 \cdot 10^6$ Н/м; $c_3=18 \cdot 10^6$ Н/м; $c_4=18 \cdot 10^6$ Н/м; $c_5=18 \cdot 10^6$ Н/м; $c_6=18 \cdot 10^6$ Н/м; $t \in [0, 16]$ с. Результаты численного анализа дифференциального уравнения (22) колебаний стержня механизма ее удержания при прокатке гильз диаметром $\varnothing 282 \times 50$ мм, материал – сталь 20 на прошивном стане № 2 ТПА 350 с учетом калибровки оправки представлены на рисунке 8.

Динамические прогибы стержневой системы, для различных режимов прокатываемых гильз на прошивном стане № 2 ТПА 350 приведенные на рис. 8, показывают на крайне неудовлетворительные условия функционирования стержня оправки. Данные, полученные для выбранной динамической модели механической системы, согласуются с результатами многочисленных экспериментальных исследований прошивного стана ТПА 350 [1, 3, 12].

Разработка предложений по модернизации оборудования выходной стороны прошивных станков и совершенствование технологии производства труб становятся возможными на основе установления влияния параметров стержневой системы и технологических особенностей процесса производства труб на поведение динамической модели системы. Характерная динамика стержня механизма удержания оправки представлена на рис. 8. Вынужденные колебания механической системы учитывают влияние скорости прошивки, соотношения масс системы, усилия прошивки с учетом калибровки оправки, интенсивности воздействия прокатываемой гильзы, частоты вращения стержня и жесткости опорных узлов центрователей на динамическое



a



б

Рис. 8. Вынужденные колебания оправки со стержнем по направлению оси прокатки на прошивном стане № 2 ТПА 350 (размер гильзы – $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20) с учетом калибровки оправок; (а) – оправка стандартной калибровки (центрователи с пневмоприводом); (б) – оправка рациональной калибровки (центрователи с пропорциональным гидроприводом)

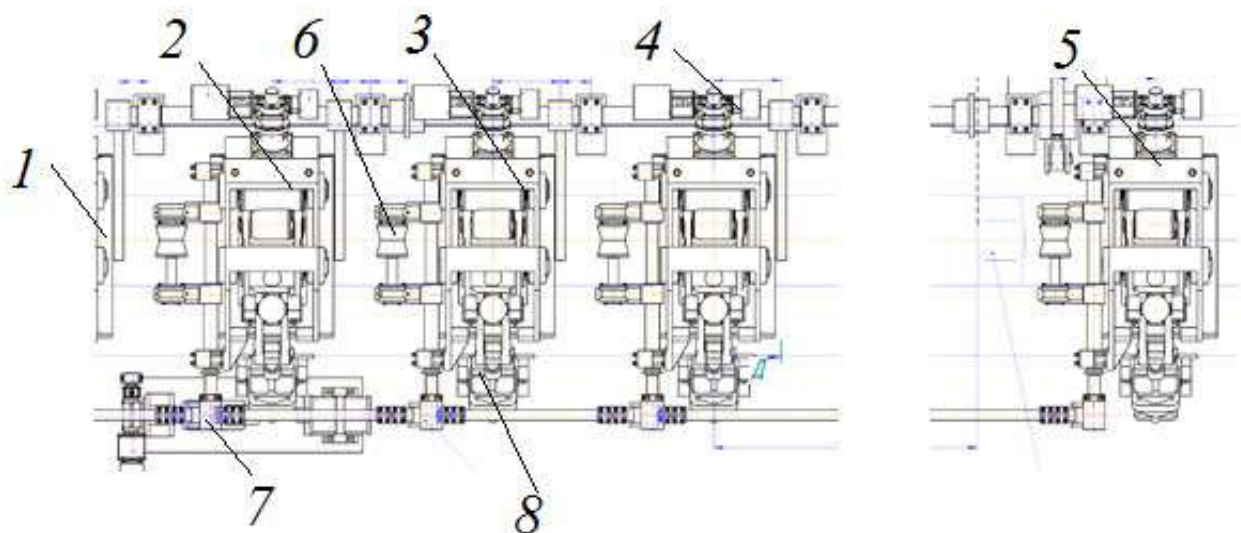
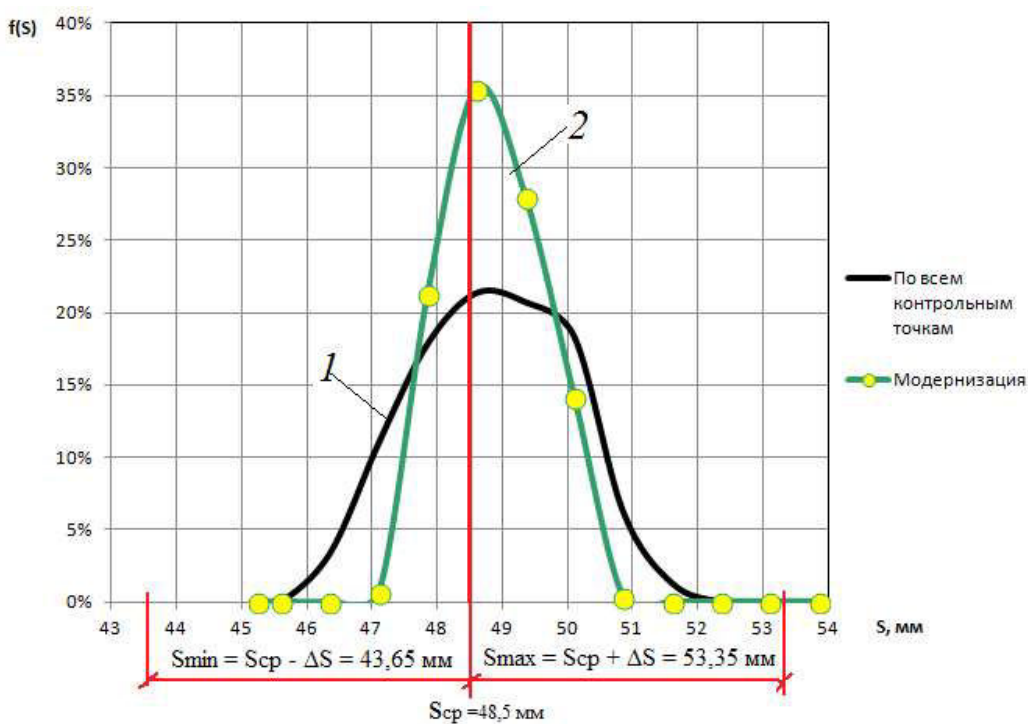
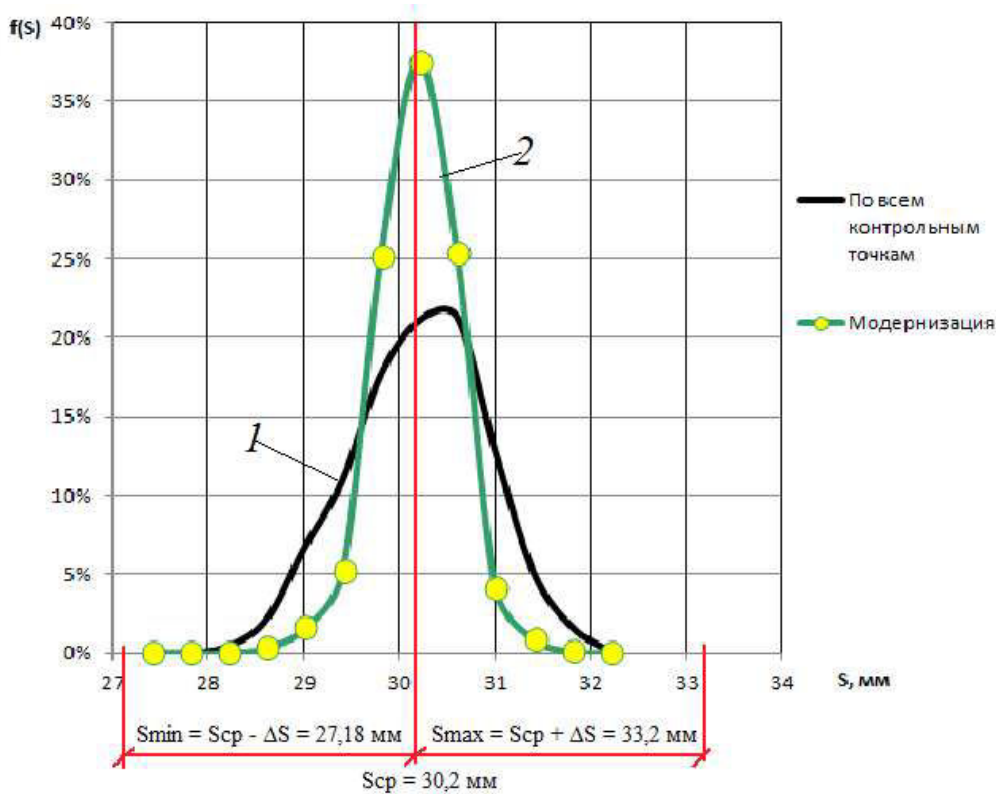


Рис. 9. Модернизированный механизм удержания оправки ПС № 2 ТПА 350 на базе центрователей открытого типа с автоматизированным пропорциональным гидроприводом: 1 – рабочая клеть; 2, 3, 4, 5 – центрователи с гидроприводом; 6 – выдающие ролики; 7 – привод выдающих роликов; 8 – гидроцилиндр роликов



а



б

Рис. 10. Результаты стенкометрии гильз с учетом модернизации механизма удержания оправки для прошивного стана №1 и №2 ТПА 350 до (1) и после модернизации (2): (а) – закон распределения значений толщины стенки гильзы $\varnothing 282 \times 50 \text{ мм}$ после прошивного стана № 1; (б) – закон распределения значений толщины стенки гильзы $\varnothing 327 \times 29 \text{ мм}$ после прошивного стана № 2

поведение стержневой системы механизма удержания оправки.

Модернизированные механизмы удержания оправки для прошивного стана №2 ТПА 350 с шестью центрователями открытого типа с удлиненными роликами $L=300-350$ мм с автоматизированным гидроприводом (применена пропорциональная гидравлика) приведены на рис. 9.

Закон распределения значений толщины стенки гильзы $\varnothing 282 \times 50$ мм прошивного стана № 1 и закон распределения значений толщины стенки гильзы $\varnothing 327 \times 29$ мм прошивного стана № 2 с учетом схемы модернизации механизма удержания оправки станом ТПА 350 представлен на рис. 10.

Результаты стенкометрии гильз с учетом модернизации механизма удержания оправки для прошивного стана № 1 и № 2 ТПА 350 показывают, что реализация устойчивых технологических процессов возможна выбором рациональных параметров динамической модели механической системы, режимов эксплуатации, рациональной калибровкой технологического инструмента и модернизацией центрователей механизма удержания оправки соответствующих станом ТПА.

Плотность распределения стенки на рис. 10 указывает на высокую эффективность модернизации выходной стороны прошивных станом ТПА 350. При этом необходимо отметить, что оценка виброактивности сложной механической системы проводится моделированием динамических процессов, что позволяет отказаться от дорогостоящих экспериментальных исследований прошивных станом ТПА 350.

Выводы

1. Приведены результаты вибродиагностики центрователя №3 механизма удержания оправки прошивного стана № 1 ТПА 350 при прокатке гильзы $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20. Виброускорение рычага опорного ролика центрователя № 3 механизма удержания оправки достигает $5 \dots 12$ м/с²; а частота колебаний ролика, при этом, равна 33, 3 Гц. Результаты толщинометрии гильзы после прошивного стана № 1 ТПА 350 при прокатке гильзы $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20 и вибродиагностики центрователей механизма удержания оправки указывают на тесную взаимосвязь динамики механизма удержания оправки.

2. Разработан алгоритм расчета силовых параметров процесса прошивки трубной заготовки на прошивном стане ТПА с учетом параметров калибровки оправок, формирующих динамическую устойчивость стержневой системы

механизма ее удержания.

3. Изложена методика построения динамической и математической моделей стержня механизма удержания оправки прошивного стана с учетом калибровки оправки.

3. Получено дифференциальное уравнение движения стержня оправки для выбранной динамической модели механической системы прошивного стана ТПА.

4. Уточнена динамика механической системы, что служит исходным материалом для решения задач анализа состояния виброактивности механизма удержания оправки прошивных станом ТПА 350 на процессы прокатки труб.

5. Для снижения уровня виброактивности стержня рекомендовано выбрать и назначить рациональные калибровки оправок и режимы прокатки гильз моделированием динамики системы на соответствующих этапах проектирования технологических процессов.

6. Предложена схема модернизации механизма удержания оправки прошивного стана № 2 ТПА 350 с шестью центрователями открытого типа с удлиненными роликами $L=300-350$ мм с автоматизированным гидроприводом на базе пропорциональной гидравлики. Показано эффективность модернизации выходной стороны прошивных станом ТПА 350.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Оклей Л.Н.* Качество горячекатаных труб. – М.: Металлургия, 1986. – 144 с.
2. Исследование напряженно-деформированного состояния рабочей клетки автоматического стана ТПА 350 с применением информационных технологий / И.П. Хацкелян, В.В. Поворотный, В.Т. Вышинский, С.Р. Рахманов // Компьютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. – 2019. – № 2(6). – С.83-90.
<https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-83-90>
3. *Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.М.* Теория трубного производства: Учебник. – М.: Металлургия, 1991. – 424 с.
4. Обработка металлов давлением: Учебник / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин, С.В. Самусев. – М.: Издательский дом МИСиС, 2008. – 960 с.
5. *Шевакин Ю.Ф., Глейберг А.З.* Производство труб: Учебник. – М.: Металлургия, 1968. – 440 с.
6. *Гуляев Ю.Г., Николаенко Ю.М.* Технологічні процеси обробки металів тиском. Частина I: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ, НМетАУ, 2011. – 44 с.
7. *Целиков А.И.* Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1983. – 333 с.

8. Прошивка в косовальковых станах / А.П. Чекмарев, Я.Л. Ваткин, М.И. Ханин и др. – М.: Металлургия, 1972. – 264 с.

9. Данченко В.М., Гринкевич В.О., Головкин О.М. Теорія процесів обробки металів тиском: Підручник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с.

10. Светлицкий В.А. Задачи и примеры по теории колебаний: Учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ, 1994. – Ч.1. – 308 с., ил. ISBN № 5-7038-0893-6.

11. Кучма Т.К., Моргаевский А.Б. Расчет пластин на подвижные нагрузки // Труды VII Всесоюзной конференции по теории пластин и оболочек – М.: Наука, 1970. – С.346-350.

12. Рахманов С.Р., Тополов В.Л. Экспериментальное исследование виброактивности станов винтовой прокатки труб трубопрокатного агрегата // Вибрация в технике и технологиях. – 2011. – № 2(62). – С.91-96.

Поступила в редакцию 14.09.2020

ДИНАМІКА МЕХАНІЗМУ УТРИМАННЯ ОПРАВКИ ПРОШИВНОГО СТАНУ ТРУБОПРОКАТНОГО АГРЕГАТУ

Рахманов С.Р., Гуляев Ю.Г., Зданевич С.В.

Наведено результати вібродіагностики центрователя механізму утримання оправки прошивного стану №1 трубопрокатного агрегату (ТПА) 350. Встановлено, що віброприскорення важеля опорного ролика центрователя механізму утримання оправки при прокатуванні гільзи $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20 досягає $5 \dots 12 \text{ м/с}^2$; а частота коливань верхнього ролика, при цьому, дорівнює 33,3 Гц. Надані результати товщинометрії гільзи після прошивного стану №1 ТПА 350 при прокатці гільзи $\varnothing 282 \times 50$ мм, сталь 20, що вказують на характерний вплив динаміки стержня механізму утримання оправки. Викладено методику розрахунку енергосилових параметрів при реалізації технологічного процесу утримання гільз заданих розмірів на прошивному стані. Визначено величину осевого опору оправлення потоку прошиваного металу з урахуванням її калібрування. Розроблено уточнену методику побудови динамічної моделі стержня механізму утримання оправки прошивного стану з урахуванням параметрів калібрування оправки. Складено диференціальне рівняння руху стержня оправки для обраної динамічної моделі механічної системи прошивного стану ТПА. Уточнено динамічні характеристики механічної системи, що слугують вихідним матеріалом для вирішення задач аналізу стану віброактивності стержня оправки прошивного стану ТПА. Для зниження рівня віброактивності стержня рекомендовано вибрати раціональні калібрування оправок і призначити режими прокатки гільз моделюванням динаміки механічної системи на відповідних етапах проектування технологічних процесів. Запропоновано схему модернізації вихідної сторони прошивного стану ТПА 350, шляхом перекладу приводу опорних вузлів центрователів стержневої системи на пропорційну гідравліку.

Ключові слова: прошивний стан, вібродіагностика, товщинометрія, прошивання, гільза, різностінність, енергосилові параметри, калібрування, оправлення, віброактивність, динаміка, механізм утримання оправки.

THE DYNAMICS OF THE CENTREING MECHANISM OF PIERCING MILL MANDREL OF THE PIPE-ROLLING PLANT

Rakhmanov S.R.^a, Gulyaev Yu.G.^a, Zdanovich S.V.^b

^a Scientific and Production Enterprise «Vostok Plus», Dnipro, Ukraine

^b National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

The paper presents the results of the vibrodiagnostics of a centering machine mechanism for holding piercing mill mandrel N1 of the pipe-rolling plant (PRP) 350. In the paper, it is established that vibration acceleration of a bearing roller lever of the centering machine mechanism for holding piercing mill mandrel during milling of an $\varnothing 282 \times 50$ mm shell, steel 20 reaches $5 \dots 12 \text{ m/s}^2$, and of the upper roller's vibration frequency is 33.3 Hz. The paper presents the results of the thickness measuring of the $\varnothing 282 \times 50$ shell, steel 20 after using the piercing mill N1 350. The results shows the distinctive influence of the dynamics of the milling holding mechanism rod. The system is put forth for calculating the energy-power parameters during the realization of the technical process for making shells of the required specifications in a piercing mill. The paper establishes the value of the milling axial resistance to the flow of the milled metal (taking the calibration values into account). The paper presents a refined system for making a dynamic model for the piercing mill holding mechanism rod with the milling calibration parameters taken fully included. A differential equation for the milling rod movement is made, specifically for the dynamic model of the PRP piercing mill mechanical system. The dynamic values of the mechanical system are refined, which is used as a starting point for solving the tasks dealing with the analysis of the PRP piercing mill milling rod's vibroactivity state. In order to decrease rod vibroactivity levels, the paper recommends choosing rational milling calibration and to set the shell milling modes using mechanical system dynamics modelling during the corresponding stages of the design of technological processes. The paper proposes a scheme for modernization of the PRP 350 piercing mill exit side by switching the centering machine rod system holding bridges gear to proportional hydraulics.

Keywords: piercing mill, vibration diagnostics, thickness measurement, piercing, sleeve, difference in wall thickness, energy-power parameters, calibration, mandrel, vibroactivity, dynamics, mandrel retention mechanism.

REFERENCES

- Oklej L.N. *Kachestvo gorjachekatanyh trub* [Quality of hot-rolled pipes]. Moscow, Metallurgia, 1986, 144 p. (in Russian).
- Hackeljan I.P., Povortnij V.V., Vyshinskij V.T., Rakhmanov S.R. *Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostojaniya rabochej kleti avtomaticheskogo stana TPA 350 s primeneniem informacionnyh tehnologij* [Study of the stress-strain state of the working stand of the automatic mill PRP 350 using information technologies]. *Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization*, 2019, no. 2 (6), pp. 83-90.
<https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-83-90>. (in Russian).
- Potapov I.N., Kolikov A.P., Drujan V.M. *Teorija trubnogo proizvodstva: Uchebnik* [Theory of pipe production: a textbook]. Moscow, Metallurgia, 1991, 424 p. (in Russian).
- Romancev B.A., Goncharuk A.V., Vavilkin N.M., Samusev S.V. *Obrabotka metallov davleniem: Uchebnik* [Processing of metals with pressure: a textbook]. Moscow, MISIS Publishing House, 2008, 960 p. (in Russian).

5. Shevakin Ju.F., Glejberg A.Z. Proizvodstvo trub: Uchebnik [Pipe production: a textbook]. Moscow, Metallurgia, 1968, 440 p. (in Russian).

6. Guljajev Ju.G., Nikolajenko Ju.M. Tehnologichni procesy obrobky metaliv tyskom. Chastyna I: Navchal'nij posibnik [Technological processes for processing metals with pressure. Part I: A studybook]. Dnipropetrovsk, NMetAU, 2011, 44 p. (in Ukrainian).

7. Tselikov A.I. et al. Teorija prokatki [Theory of rolling]. Moscow, Metallurgia, 1983, 333 p. (in Russian).

8. Chekmarev A.P., Vatkin Ja.L., Hanin M.I. Proshivka v kosovalkovykh stanah [Firmware in cross-roll mills]. Moscow, Metallurgia, 1972, 264 p. (in Russian).

9. Danchenko V.M., Grynkevych V.O., Golovko O.M. Teorija procesiv obrobky metaliv tyskom: Pidruchnyk [Theory of processes of processing metals with pressure: a textbook]. Dnipropetrovsk, Porogy, 2008, 370 p. (in Ukrainian).

10. Svetlickij V.A. Zadachi i primery po teorii kolebanij: Uchebnoe posobie [Vibration theory problems and examples: a studybook]. Moscow, MGTU Publishing House, 1994, 308 p. (in Russian).

11. Kuchma T.K., Morgaevskij A.B. *Raschet plastin na podvizhnye nagruzki* [Calculation of plates for movable loads]. Trudy VII Vsesojuznoj konferencii po teorii plastin i obolochek [Proceedings of the VII All-Union conference on the theory of plates and shells]. Moscow, Nauka, 1970, pp. 346-350.

12. Rahmanov S.R., Topolov V.L. Jeksperimental'noe issledovanie vibroaktivnosti stanov vintovoj prokatki trub truboprokatnogo agregata [Experimental study of vibroactivity of screw-rolling mills of pipes of a pipe-rolling unit]. *Vibracija v tehnike i tehnologijah* [Vibration in engineering and technologies], no. 2 (62), 2011, pp. 91-96.

UDC 004.4

Trubnikov S.V., Denysiuk O.R.

IMPLEMENTATION OF A HELPER PROGRAM FOR COMICS CREATION USING TEXT PROCESSING METHODS

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The paper discusses the development of a helper program «TypesetHelper», designed to facilitate the process of creating and translating comics. An analysis of functions of translation in modern society shows that translation, currently, is primarily a means of enabling communication between people who speak different languages. This applies, among other things, to such a specific niche as the translation of graphic novels, comics and manga. In the modern world, comics have become an integral part of popular culture, but in Ukraine, the culture of reading and translating comics is only at the stage of active formation. The purpose of this work is to create software that would facilitate the process of work with the inclusion of translated text in corresponding cleared illustrations. It is demonstrated that the existing software, including both general-purpose graphic editors like Adobe Photoshop and specialized programs for automatic recognition and translation of comics and manga, has disadvantages with respect to the problem being solved and can not be considered as a complete analogue of the software being developed. The functions that the program should perform include opening an image file, placing a text in a selected area, centering a text relative to a cloud, creating text layout, creating correct word division using automatic hyphenation methods, saving the image to a file. An analysis of possible methods of text layout when filling text clouds of various forms is given. The paper consider software design using the Unified Modeling Language (Use Case diagram, State Diagram, User Activity diagram) and its development using the C# programming language. Illustrations of the program operation process are given, which demonstrate its interface and examples of text division and layout using the selected methods. The developed helper program has practical value and can be used in comics and manga publishing houses, or for amateur translation.

Keywords: text processing, comics, text layout, UML, C#.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-64-69

Problem statement

The 21st century sets new challenges in the information space of mankind. Because of mass media, the role of translation in the life of mankind is steadily increasing [1]. Today, translation relations cover almost all spheres of human activity. The movement of information flows knows no boundaries, no time, no space. The infinite diversity of the modern world is transmitted through the media in the views and interpretations of numerous participants in the international information process, like journalists, correspondents, commentators, cameramen. Therefore, the importance of translation activities is constantly growing, and at the same time, new translation problems also appear. The aggravation

of language problems dictates the search for new solutions [2]. If earlier translation activity was considered only in connection with the translation of fiction, today translations of texts of a special nature, like informational, economic, legal or technical, began to occupy more and more important place in terms of volume and social significance. At the moment, specialists in highly specialized subjects, such as technical, medical, economic, and many others, are widely popular in translation activities.

To date, the requirements not only for translation and its quality, but also for the translators themselves have increased as much. In the modern world, there is a very large number of translation types: oral interpretation, written translation, machine

translation, as well as a huge number of divisions for each of these types of translation. A modern translator must have a number of qualities, such as responsibility, an objective assessment of their knowledge and capabilities, and a sense of language. No less important is the ability of a translator to choose the right vocabulary and to recode the text in the right way. For this purpose, in most cases, special translation programs such as Trados or thematic dictionaries become helpful.

Currently, the main function of translation is informative or communicative, so translation is a means to ensure the possibility of communication between people who speak different languages. This applies, among other things, to such a specific niche as the translation of graphic novels, comics and manga. In the modern world, comics have become an integral part of popular culture and have gained popularity in a variety of age and social groups, at the same time, in Ukraine, the culture of reading comics is at the stage of active formation. Globalization and the establishment of a close dialogue between cultures have determined the growing interest to the problem of translating comics into Ukrainian.

Analysis of recent research and publications

At the moment, there is quite a lot of software that allows its users to process and create translations of manga, comics, the main ones in use are Adobe Photoshop and Paint.

Adobe Photoshop is mainly designed for editing digital photos and creating bitmap graphics. Special features of Adobe Photoshop include great variety of tools for creating and processing bitmap images, high quality processing of graphic images. However, the disadvantages of the approach based on the use of general-purpose image editors, such as Photoshop, include the fact that all the necessary actions for typesetting (filling in the text on the image) are carried out manually. A typesetter must, first of all, select a zone, then insert a text, lay it out manually, then select another tool and move the text so that it is centered. All operations are performed at the discretion of the user, often with errors. Automation of some processes, such as word division, text layout, text centring, will improve both the speed of translation and its quality, given that a user still has the ability to make additional adjustments, if necessary, in manual mode. Creation of software with such features will greatly facilitate the process of translating manga and other types of comics for a user.

The Mantra software, developed by students and staff of the University of Tokyo, specializes in

translating from Japanese (the original) into five other languages, including Korean, French, English, and so on. The advantage of this program is that it detects areas with text automatically using convolutional neural networks, clears these areas, and inserts the translated text in the desired location (cloud) [2–3]. However, there are also significant disadvantages, namely: the program can not recognize a text if it has a background, only single font is used, often a size of resulted text is larger than a cloud itself, so a word does not fit into necessary boundaries, the word division is not carried out, so the layout itself does not exist, in some cases, two languages are superimposed in one cloud. In addition, despite the significant development of machine translation tools over the past decades, the quality of fully automated translation is still significantly inferior to the quality of human translation [4].

Formulation of the objectives of the paper

The objective of this work is to create the software «TypesetHelper». As the name suggests, it should help fill in the text in the clouds during the translation of manga and comics. Creating a proper layout (placing text relative to the cloud) is the main task of development.

The functions that need to be implemented include:

- opening an image file;
- placing text into a selected area;
- centering text relative to a cloud;
- creating the layout of a text;
- creating correct word hyphenation;
- saving the image to a file.

The correct word division mechanism should present variants of splitting the word with all possible hyphenations, after which the necessary word length will be selected, and the rest will be transferred to the next line [5].

Outline of the main research material

When developing the software, four methods of text layout were proposed and compared.

The first proposed method consisted of determining the length of a string based on the full width of user-selected area. Its main drawback was incorrect division of words, transferred part of the word became too short, or too long. The second method was based on calculation of the length of each line as a specified percentage of the entire length of the text in pixels. As in the previous case, because of the uniqueness of the division of each word, it is impossible to find a string length that coincides with the ways of dividing the word, proposed by the word division algorithm. The third method involved counting a number of transfers and distributing them

in rows according to the layout principles. The advantage of this method over others is the fact that it is possible to select a transferred part of the word more accurately, disadvantage is the fact that spaces between words destroy the layout, as they are not considered when defining the text size. The fourth and last of the proposed layout methods involved filling each line with a certain number of syllables, the advantage is the ability to accurately calculate the required number of syllables for a particular line, the disadvantage is that the length of the line may be greater than the width of the selected area. This disadvantage can be eliminated by automatically reducing the font size. The layout in this case has a better look compared to the other methods proposed above. During the development, based on the analysis of all the proposed methods, the fourth method of layout was chosen.

When designing the software, UML diagrams shown in figures 1–3 were created. Figure 1 shows a Use Case diagram that includes main actions of a user.

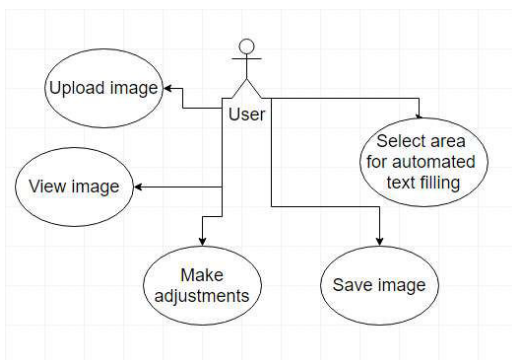


Fig. 1. Use Case diagram

The user first needs to upload an image, to check how the image looks in full size, user’s optional actions include: making adjustments to the program settings, updating already created scripts, replacing, deleting them, or adding new ones. In the process of applying text to an image, the user can select the desired area, enter a text that they want to fill this area with, and get an automated result according to the selected settings. On a last step, the user must save their actions, namely save the updated image in one of the types: png, jpg, bmp.

The State diagram is shown in fig. 2. It includes four main states: program startup, initialization, running the program, and saving all data. First, the user starts the program, then initialization occurs so that the system can use scripts and fonts. During operation, the user can access the functions of the program, described above, after completion of working process, all activity is saved to a specific file.

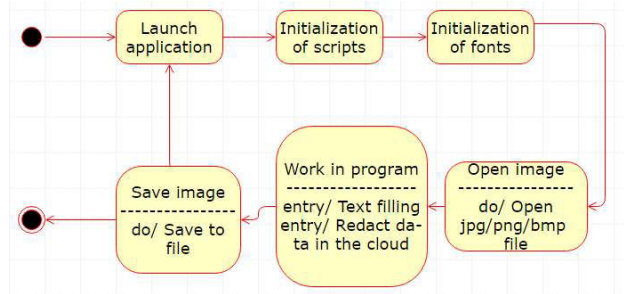


Fig. 2. General State diagram

Figure 3 shows the Activity diagram. The program has only one actor, which is the user, so everyone has the opportunity to use it.

The user selects a necessary action using the main form, optionally selects other functionality, if the work is completed, exits the program.

Figure 4 shows the result of program operation. In the program header, the user can change the font, its size and style, frame color, interface language. In the right panel, the user can edit scripts, select the necessary action, like centering, and a certain type of layout. This panel also contains a text field that allows the user to get the available options for division of an entered word. The text color is selected below. The next component is a field for entering and editing

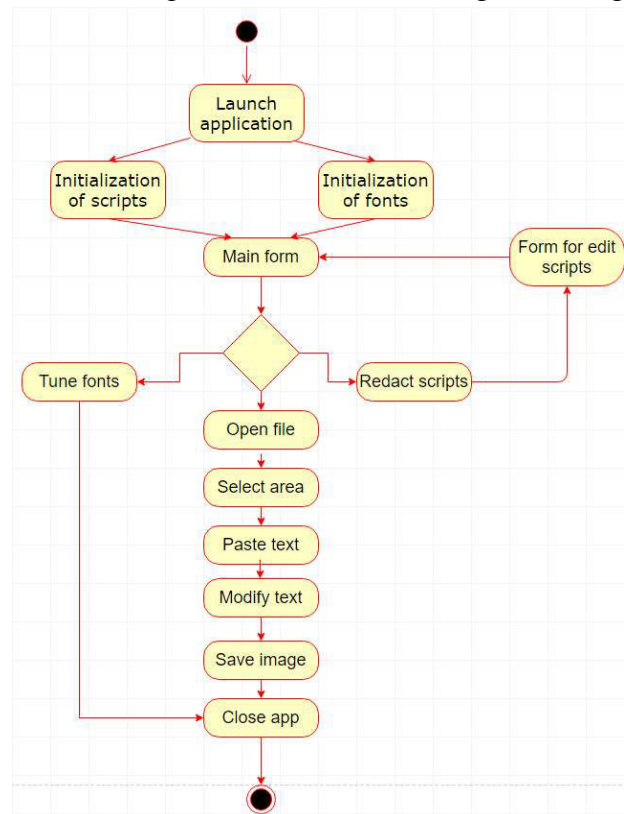


Fig. 3. Activity diagram for the user

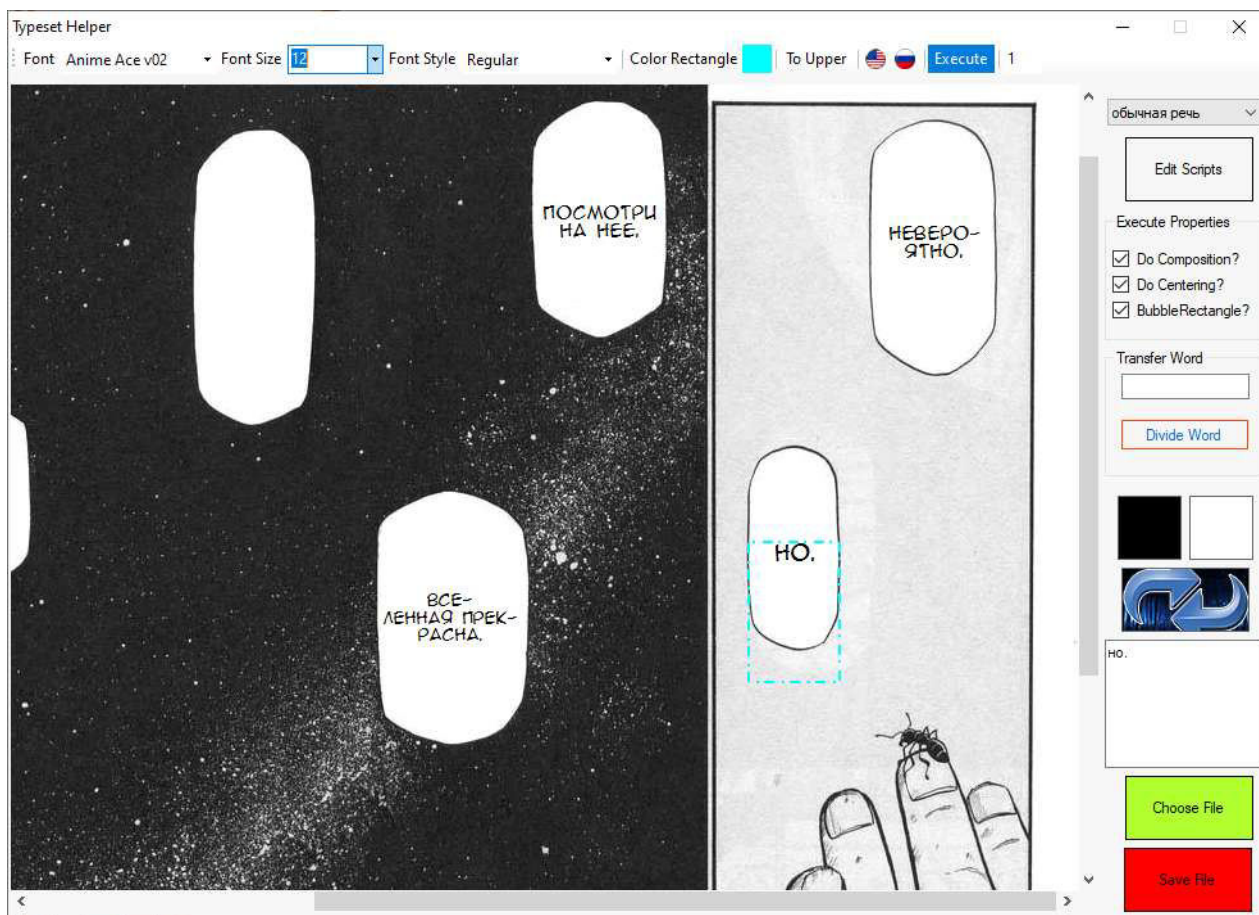


Fig. 4. General view of text-filled clouds in the English interface

text. The last program control elements are buttons for opening and saving images.

All the user needs to do is upload an image, select a fill zone, insert a text in a special field and click the «Execute» button. The program does not guarantee the best version of the layout, it only offers one of the options to which adjustments can be made at a request of the user.

Conclusions

As noted in the paper, there is a growing attention to the translation of multimedia texts nowadays. The number of translations of comics into other languages grows as well. At the same time, amateur translation in this field has a much larger scale than professional translation, which affects the quality of translations. The developed software allows its users to automate some stages of the translation process, which makes it possible to make the translation process faster and better. The analysis of various methods of text layout when filling text clouds is carried out, and the best of them is selected. The work is of practical significance and can be used in comics and manga publishing houses.

REFERENCES

1. Sands R. Talking With The Master of Manga: Author Frederik Schodt on translation, Tezuka, and life as a Tokyo teenager // Electric Ant Zine. – 2009. – № 1. – C.8-24.
2. Sketch-based manga retrieval using manga109 dataset / Y. Matsui, K. Ito, Y. Aramaki, T. Yamasaki., K. Aizawa // Multimedia Tools and Applications. – 2017. – T.76. – №. 20. – C.21811-21838. <https://doi.org/10.1007/s11042-016-4020-z>
3. Manga109 dataset and creation of metadata. A. Fujimoto, T. Ogawa, K. Yamamoto, Y. Matsui, T. Yamasaki // Proceedings of the 1st International Workshop on coMics ANalysis, Processing and Understanding. – 2016. – C.2-6.
4. Kituku B., Muchemi L., Nganga W. A review on machine translation approaches // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. – 2016. – T.1. – №. 1. – C.182-190. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v1.i1.pp182-190>
5. Sojka P., Sojka O. Towards Universal Hyphenation Patterns // RASLAN 2019 Recent Advances in Slavonic Natural Language Processing. – 2019. – C.63-68.

Received 10.01.2020

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОГРАМИ-ПОМІЧНИКА ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОМІКСІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТЕКСТУ

Трубников С.В., Денисюк О.Р.

У статті розглядається розробка програми-помічника *TypesetHelper*, призначеної для полегшення процесу створення та перекладу коміксів. Аналіз функцій перекладу в сучасному суспільстві демонструє, що переклад являє собою перш за все засіб забезпечити можливість комунікації між людьми, що говорять на різних мовах. Це стосується, поміж іншого, такої специфічної ніші, як переклад графічних романів, коміксів і манги. У сучасному світі комікс став невід'ємною частиною масової культури, проте в Україні культура читання та перекладу коміксів знаходиться тільки на стадії активного формування. Метою даної роботи є створення програмного забезпечення, що повинне полегшувати роботу з включенням перекладеного тексту до відповідних очищених ілюстрацій. Демонструється, що існуюче програмне забезпечення, включаючи як графічні редактори загального призначення, так і спеціалізовані програми для автоматичного розпізнавання та перекладу коміксів та манги, мають недоліки стосовно вирішуваної задачі і не можуть розглядатися як повний аналог програмного забезпечення, що розробляється. Функції, які повинна виконувати програма: відкриття файлу зображення, розміщення тексту у вибрану зону, центрування тексту щодо хмари, компонування тексту, коректне перенесення слова з використанням методів автоматичної розстановки переносів, збереження зображення до файлу. Наведено аналіз можливих методів компонування тексту при заповненні текстових хмар різної форми. Розглядається проектування програмного забезпечення за допомогою мови *Unified Modeling Language* (діаграма прецедентів, діаграма станів, діаграма діяльності користувача) та його розробка з використанням мови програмування *C#*. Наведено ілюстрації роботи програми, які демонструють її інтерфейс та приклади перенесення та компонування тексту за допомогою обраних методів. Дана програма-помічник має практичне значення та може бути використана у видавництвах коміксів і манги, або для аматорського перекладу.

Keywords: text processing, comics, text layout, UML, C#.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ-ПОМОЩНИКА ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМИКСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА

Трубников С.В., Денисюк О.Р.

В статье рассматривается разработка программы-помощника *TypesetHelper*, предназначенной для облегчения процесса создания и перевода комиксов. Анализ функций перевода в современном обществе показывает, что перевод представляет собой прежде всего средство обеспечения возможности коммуникации между людьми, говорящими на разных языках. Это касается, среди прочего, такой специфической ниши, как перевод графических романов, комиксов и манги. В современном мире комикс стал неотъемлемой частью массовой культуры, однако в Украине культура чтения и перевода комиксов находится только на стадии активного формирования. Целью данной работы является создание программного обеспечения, которое должно облегчать работу с включением переведенного текста в соответствующие очищенные иллюстрации. Демонстрируется, что существующее программное обеспечение, включая как графические редакторы общего назначения, так и специализированные программы для автоматического распознавания и перевода комиксов и манги, имеют недостатки относительно решаемой задачи и не могут рассматриваться как полный аналог разрабатываемого программного обеспечения. Функции, которые должна выполнять программа включают: открытие файла изображения, размещение текста в выбранную зону, центрирование текста относительно облака, компоновка текста, корректный перенос слова с использованием методов автоматической расстановки переносов, сохранение изображения в файл. Приведен анализ возможных методов компоновки текста при заполнении текстовых облаков различной формы. Рассматривается проектирование программного обеспечения с помощью языка *Unified Modeling Language* (диаграмма прецедентов, диаграмма состояний, диаграмма деятельности пользователя) и его разработка с использованием языка программирования *C#*. Приведены иллюстрации работы программы, демонстрирующие ее интерфейс и примеры переноса и компоновки текста с помощью выбранных методов. Данная программа-помощник имеет практическое значение и может быть использована в издательствах комиксов и манги, а также для любительского перевода.

Keywords: text processing, comics, text layout, UML, C#.

IMPLEMENTATION OF A HELPER PROGRAM FOR COMICS CREATION USING TEXT PROCESSING METHODS

Trubnikov S.V., Denysiuk O.R.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The paper discusses the development of a helper program «TypesetHelper», designed to facilitate the process of creating and translating comics. An analysis of functions of translation in modern society shows that translation, currently, is primarily a means of enabling communication between people who speak different languages. This applies, among other things, to such a specific niche as the translation of graphic novels, comics and manga. In the modern world, comics have become an integral part of popular culture, but in Ukraine, the culture of reading and translating comics is only at the stage of active formation. The purpose of this work is to create software that would facilitate the process of work with the inclusion of translated text in corresponding cleared illustrations. It is demonstrated that the existing software, including both general-purpose graphic editors like Adobe Photoshop and specialized programs for automatic recognition and translation of comics and manga, has disadvantages with respect to the problem being solved and can not be considered as a complete analogue of the software being developed. The functions that the program should perform include opening an image file, placing a text in a selected area, centering a text relative to a cloud, creating text layout, creating correct word division using automatic hyphenation methods, saving the image to a file. An analysis of possible methods of text layout when filling text clouds of various forms is given. The paper consider software design using the Unified Modeling Language (Use Case diagram, State Diagram, User Activity diagram) and its development using the C# programming language. Illustrations of the program operation process are given, which demonstrate its interface and examples of text division and layout using the selected methods. The developed helper program has practical value and can be used in comics and manga publishing houses, or for amateur translation.

Keywords: text processing, comics, text layout, UML, C#.

REFERENCES

1. Sands R. Talking With The Master of Manga: Author Frederik Schodt on translation, Tezuka, and life as a Tokyo teenager. Electric Ant Zine, 2009. issue 1, pp.8-24.
2. Sketch-based manga retrieval using manga109 dataset. Y. Matsui, K. Ito, Y. Aramaki, T. Yamasaki, K. Aizawa. Multi-media Tools and Applications, 2017, vol.76, issue 20, pp.21811-21838. <https://doi.org/10.1007/s11042-016-4020-z>
3. Manga109 dataset and creation of metadata. A. Fujimoto, T. Ogawa, K. Yamamoto, Y. Matsui, T. Yamasaki. Proceedings of the 1st International Workshop on coMics ANalysis, Processing and Understanding., 2016, pp.2-6.
4. Kituku B., Muchemi L., Nganga W. A review on machine translation approaches. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2016, vol.1, issue 1, pp.182-190. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v1.i1.pp182-190>
5. Sojka P., Sojka O. Towards Universal Hyphenation Patterns. RASLAN 2019 Recent Advances in Slavonic Natural Language Processing, 2019, pp.63-68.

УДК [621.314.6+621.375.4]:681.586.788:620.1.051

Шульгін О.Л., Лосіхін Д.А.

ЗАСТОСУВАННЯ ДВОПІВПЕРІОДНОГО ПІДСИЛЮЮЧОГО ВИПРЯМЛЯЧА НАПРУГИ БЕЗ ДІОДІВ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ У АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ВИПРОБУВАНЬ НА РОЗРИВНІЙ МАШИНІ

ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна

У статті розглянуто проблему перетворення вимірювального сигналу диференційного трансформаторного перетворювача універсальних випробувальних машин для подальшої обробки мікропроцесорним контролером. Для автоматизації процесу випробувань необхідно збирати, обробляти та передавати вимірювані дані до автоматизованого робочого місця за допомогою мікропроцесорного контролера. Через те, що зазвичай на вторинних обмотках диференційних трансформаторних перетворювачів утворюється змінна напруга дуже малої величини, такий вимірювальний сигнал неможливо обробити за допомогою сучасних мікропроцесорних контролерів без перетворення. Оскільки аналого-цифровий перетворювач мікропроцесорного контролера не може працювати зі змінною напругою, виникає необхідність випрямлення та підсилення вимірювального сигналу. Для низької напруги (менше 0,6 В) використання звичайних резисторно-діодних випрямлячів стає неможливим і з'являється необхідність застосування інших способів випрямлення змінного електричного струму. Запропоновано використання двопівперіодних активних випрямлячів без діодів на операційних підсилювачах для перетворення вимірювального сигналу диференційних трансформаторних перетворювачів, розглянуто основні недоліки діодних випрямлячів і переваги випрямлячів на операційних підсилювачах. Найбільшою перевагою випрямляча, запропонованого для використання у автоматизованій системі випробувань, є здатність одночасно випрямляти та підсилювати вимірювальний сигнал з необхідною точністю, що дозволяє обробити його за допомогою більшості сучасних мікропроцесорних контролерів. Вперше було розроблено автоматизовану систему випробувань на розривній машині з використанням двопівперіодного активного випрямляча напруги на операційних підсилювачах без використання діодів. Схема, наведена в статті, дозволяє перетворити сигнал диференційного трансформаторного перетворювача для подальшого оброблення за допомогою мікроконтролерної платформи Arduino. Активний двопівперіодний підсилюючий випрямляч напруги без діодів на операційних підсилювачах може бути використаний для модернізації випробувальної або вимірювальної техніки, що містить диференційний трансформаторний перетворювач вимірювального сигналу. Розроблену схему випрямляча було застосовано для автоматизації процесу випробувань на розривній машині моделі P-0,5.

Ключові слова: диференційний трансформаторний перетворювач, операційний підсилювач, випрямляч, перетворювач вимірювального сигналу, розривна машина, автоматизована система випробувань.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-1-7-70-74

Постановка проблеми

Під час проектування й розрахунків на міцність, жорсткість і стійкість елементів механізмів, машин і споруд треба знати властивості матеріалів. Тому матеріали випробують на розтягання, стискання, зсув, кручення, згинання та твердість. Одним з основних видів випробувань матеріалів є випробування на розтяган-

ня, оскільки при цьому виявляються найважливіші їх властивості. Для випробувань на розтягання використовують розривні машини, що дають змогу в процесі випробування визначити зусилля та відповідні до них деформації зразка. На основі даних, отриманих в результаті випробування, будують діаграму розтягання. Характер діаграми залежить від властивостей випробуваного матеріалу [1]. Для вимірювання значення сили, прикладеної до зразка у розривних машинах використовуються маятникові, торсіонні або електричні силовимірювачі. Маятниковий силовимірювач визначає силу, прикладену до зразка за кутом відхилення маятника, торсіонний – за кутом закручення торсіону, електричний – за електричним опором тензодатчика [2]. Найбільш поширеними з них є маятникові та торсіонні силовимірювачі. Для перетворення значення кута відхилення маятника або кута закручення торсіону в електричний сигнал зазвичай застосовують диференційні трансформаторні перетворювачі. Щоб визначити значення сили, прикладеної до зразка, необхідно точно виміряти значення напруги на одній з вихідних обмоток диференційного трансформаторного перетворювача розривної машини. Відомо, що на виході трансформатора завжди змінний електричний струм, а більшість програмованих логічних контролерів можуть працювати тільки з постійним струмом. Тому необхідно застосувати випрямляч змінного струму, щоб мати можливість обробки вимірювального сигналу за допомогою мікропроцесорного контролера. Дослідним шляхом було визначено, що значення вихідної напруги диференційного трансформаторного перетворювача розривної машини P-0,5 змінюється в діапазоні приблизно від 370 до 800 мВ. Для випрямлення змінного струму такої малої напруги неможливо використовувати діоди. Звичайні резисторно-діодні випрямлячі незадовільно працюють при випрямленні напруг, менших за 0,6 В для кремнієвих та 0,4 В для германієвих діодів, оскільки неможливо виключити вплив прямого падіння напруги на діоді. Навіть діоди Шотки, що мають невеликий опір і високу швидкодію, не зможуть випрямити таку малу напругу з невеликою похибкою. Нелінійність вольт-амперної характеристики діодів є найбільшим недоліком випрямлячів на діодах, що не дозволяє використовувати такі схеми для вимірювальної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для точного вимірювання змінної напруги малої величини, коли використання діодів стає

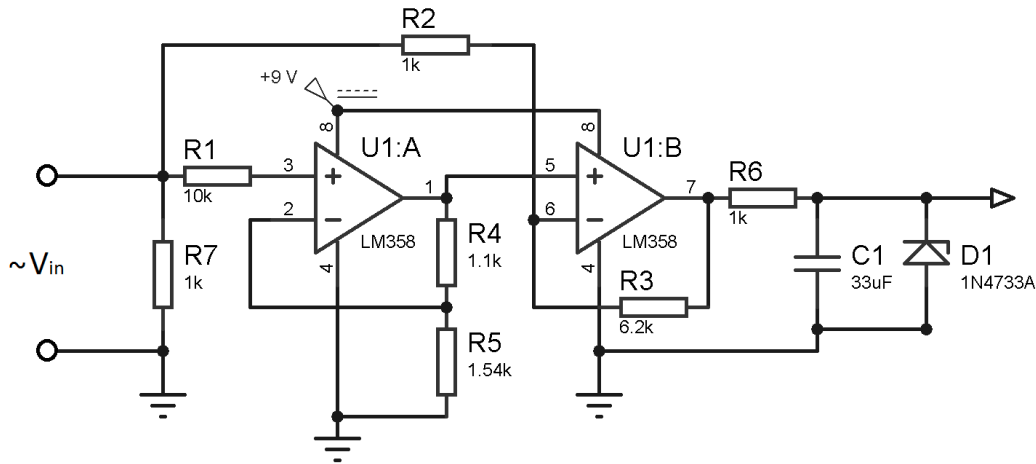
неможливим, використовують випрямлячі на операційних підсилювачах [3–7]. Застосування операційних підсилювачів дозволяє в значній мірі послабити вплив реальних характеристик діодів. У багатьох вимірювальних схемах необхідно виділення або складових тільки однієї полярності (однопівперіодне випрямлення), або визначення абсолютного значення сигналу (двопівперіодне випрямлення). У вимірювальній техніці найчастіше використовують саме двопівперіодне випрямлення. Більшість існуючих схем випрямлячів напруги на основі операційних підсилювачів містять у своїй схемі діоди [3–7]. Такі схеми є найбільш відомими та широко застосовуються у вимірювальній техніці. Але випрямляч на основі операційних підсилювачів може працювати і без діодів [8]. Такі схеми не отримали широкого застосування і раніше не використовувалися у випробувальній техніці. Вперше двопівперіодний активний випрямляч без діодів застосовано для перетворення вимірювального сигналу диференційного трансформаторного датчика розривної машини для подальшого оброблення мікропроцесорним контролером.

Постановка завдання

Задача автоматизації процесу випробувань матеріалів на розтягання полягає в тому, що вимірювальні сигнали з розривної машини мають передаватися до автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора, де автоматично має будуватись діаграма розтягання та відображатись інші вимірювані параметри, такі як температура навколишнього середовища та швидкість розтягання. Для вимірювання значення сили, прикладеної до зразка необхідно точно виміряти значення напруги на вторинній обмотці диференційного трансформаторного датчика. Оскільки вимірювальний сигнал диференційного трансформаторного датчика розривної машини має малу величину його необхідно випрямляти та підсилити за допомогою схеми на основі операційних підсилювачів. Для обробки вимірювального сигналу може бути застосовано мікроконтролерну платформу Arduino.

Виклад основного матеріалу дослідження

Для вирішення проблеми випрямлення та підсилення вимірювального сигналу диференційного трансформаторного датчика розривної машини було застосовано двопівперіодний підсилюючий випрямляч на операційних підсилювачах без використання діодів. Для такого випрямляча необхідно застосувати два операційних підсилювача. Придатною для цього є мікросхема LM358, оскільки вона є найбільш



Принципова схема двопівперіодного підсилюючого випрямляча без діодів на операційних підсилювачах.

поширеною та недорогою мікросхемою, що складається з двох операційних підсилювачів, а також відрізняється низьким енергоспоживанням, можливістю працювати в схемах з однополярним живленням від 3 до 32 Вольт та наявністю захисту від короткого замикання. Коефіцієнт підсилення встановлюється дільниками напруги. Розроблену схему випрямляча напруги для диференційного трансформаторного перетворювача універсальної розривної машини наведено на рисунку.

Для нормальної роботи схема має живитися від напруги $9 \div 32$ В, оскільки максимально можливе значення напруги на виході операційного підсилювача LM358 на 1,5 В менше за напругу живлення. Отже, при використанні напруги живлення 9 В, максимально можлива напруга на виході підсилювача буде дорівнювати 7,5 В. На схемі до V_{in} приєднується вихідна обмотка диференційного трансформаторного датчика. Резистор R1 має бути номіналом не менше 10 кОм. Резистор R7 номіналом 1 кОм необхідний для того, щоб за відсутності сигналу на вихідній обмотці диференційного трансформаторного датчика, на виході підсилювача не було максимально можливої напруги (близько 7,5 В при напрузі живлення підсилювача 9 В), яка може сприйматися мікропроцесорним контролером як надвисоке значення вимірюваної величини. Резистори R2 та R3 визначають коефіцієнт підсилення (K) за формулою 1 [8]. Номінали резисторів R4 та R5 обирають виходячи з виразу 2 [8]:

$$K = \frac{R3}{R2}, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт підсилення; R2, R3 – опори резисторів дільника другого підсилювача.

$$\frac{R4}{R5} = \frac{K-1}{K+1}, \quad (2)$$

де R4, R5 – опори резисторів дільника першого підсилювача.

У випадку, наведеному на рисунку, коефіцієнт підсилення дорівнює 6,2, тобто випрямлена напруга на виході підсилювача буде у 6,2 разів більша, ніж змінна на вході. На виході другого операційного підсилювача встановлено RC-фільтр для згладжування можливих пульсацій. Після RC-фільтра встановлено стабілітрон з номінальною напругою 5,1 В для того, щоб у випадку виходу з ладу схеми або значного перевищення максимально допустимого навантаження розривної машини, не пошкодити аналоговий вхід плати Arduino.

Висновки

Для обробки вимірювального сигналу малої (менше 0,6 В) змінної напруги можна використовувати двопівперіодний активний випрямляч на операційних підсилювачах без діодів, який дозволяє випрямляти та підсилувати вимірювальний сигнал для подальшого оброблення за допомогою мікропроцесорного контролеру. До схеми випрямляча, розглянутого у [8], було додано RC-фільтр для зменшення пульсацій вихідного сигналу та стабілітрон для можливості безпечної взаємодії з мікроконтролерною платформою Arduino. Розроблену схему було застосовано для розробки автоматизованої системи випробувань на розривній машині P-0,5.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Писаренко Г.С., Квітка О.Л., Уманський Е.С. Опір матеріалів: Підручник / За ред. Г.С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004. – 655 с. іл. – ISBN 966-642-056-2.
2. Испытательная техника: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. Клюева В.В.. – М.: Машиностроение, 1982. – Кн. 2. – 1982. – 560 с.
3. Джонс М.Х. Электроника – практический курс. – М.: Техносфера, 2006. – 512 с. ISBN 5-94836-086-5.
4. Шустов М.А. Схемотехника. 500 устройств на аналоговых микросхемах. – СПб.: Наука и Техника, 2013. – 352 с. ISBN 978-5-94387-809-1.
5. Bruce Carter, Ron Mancini. Op Amps for Everyone – Elsevier Inc., 2017. – 484 p. – ISBN 978-0-12-811648-7.
6. James M. Fiore. Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application – James M. Fiore via dissidents, Utica NY, USA, 2019 – 3 edition – 589 p.
7. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с. ISBN 5-74120-074-9
8. Anthony H. Smith. Двухполупериодный активный выпрямитель без диодов [Электронный ресурс]: / Anthony H. Smith // Журнал РадиоЛоцман – Электрон. дані. Режим доступу: <https://www.glocman.ru/shem/schematics.html?di=56324> – Назва з екрана. – Дата публікації 12.08.2009. – Дата перегляду 21.05.2019.
9. Машина разрывная модели P-0,5. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Иваново 1975.: Завод измерительных приборов (ЗИП).

Надійшла в редакцію 08.11.2019

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУХПОЛУПЕРИОДНОГО УСИЛИВАЮЩЕГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ БЕЗ ДИОДОВ НА ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЯХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ИСПЫТАНИЙ НА РАЗРЫВНОЙ МАШИНЕ

Шульгин А.Л., Лосихин Д.А.

В статье рассмотрена проблема преобразования измерительного сигнала дифференциального трансформаторного преобразователя универсальных испытательных машин для дальнейшей обработки микропроцессорным контроллером. Для автоматизации процесса испытаний необходимо собирать, обрабатывать и передавать измеряемые данные на автоматизированное рабочее место с помощью микропроцессорного контроллера. Так как обычно на вторичных обмотках дифференциальных трансформаторных преобразователей образуется переменное напряжение очень малой величины, такой измерительный сигнал невозможно обработать с помощью современных микропроцессорных контроллеров без преобразования. Поскольку аналого-цифровой преобразователь микропроцессорного контроллера не может работать с переменным напряжением, возникает необходимость выпрямления и усиления измерительного сигнала. Для низкого напряжения (менее 0,6 В) использование обычных резисторно-диодных выпрямителей становится невозможным и возникает необходимость применения других способов выпрямления переменного электрического тока. Предложено использование двухполупериодных активных выпрямителей без диодов на операционных усилителях для преобразования измерительного сигнала дифференциальных трансформаторных преобразователей, рассмотрены основные недостатки диодных выпрямителей и преимущества выпрямителей на операционных усилителях. Наибольшим преимуществом выпрямителя, предложенного для использования в автоматизированной системе испытаний, является способность одновременно выпрямлять и усиливать измерительный сигнал с необходимой точностью, что позволяет обработать его с помощью большинства современных микропроцессорных контроллеров. Впервые разработана автоматизированная система испытаний на разрывной машине с использованием двухполупериодного активного выпрямителя напряжения на операционных усилителях без использования диодов. Схема, приведенная в статье, позволяет преобразовать сигнал дифференциального трансформаторного преобразователя для дальнейшей обработки с помощью микроконтроллерной платформы Arduino. Активный двухполупериодный усиливающий выпрямитель напряжения без диодов на операционных усилителях может быть использован для модернизации испытательной или измерительной техники, содержащей дифференциальный трансформаторный преобразователь измерительного сигнала. Разработанная схема выпрямителя была применена для автоматизации процесса испытаний на разрывной машине модели P-0,5.

Ключевые слова: дифференциальный трансформаторный преобразователь, операционный усилитель, выпрямитель, преобразователь измерительного сигнала, разрывная машина, автоматизированная система испытаний.

THE USE OF A FULL-WAVE AMPLIFYING RECTIFIER WITHOUT DIODES ON OPERATIONAL AMPLIFIERS IN AN AUTOMATED TESTING SYSTEM ON A TENSILE TESTING MACHINE

Shulhin A.L., Losikhin D.A.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The article discusses the problem of transformation of measuring signal of differential transformer converter of universal testing machines for further processing by microprocessor controller. In order to automate the testing process, it is necessary to collect, process and transmit the measured data to an automated workplace using a microprocessor controller. Due to the fact that usually the secondary windings of the differential transformer converters produce an alternating voltage of very small magnitude, such a measurement signal cannot be processed with the help of modern microprocessor controllers without conversion. Since the analog-to-digital converter of the microprocessor controller cannot operate with alternating voltage, it becomes necessary to rectify and amplify the measuring signal. For low voltages (less than 0.6 V), the use of conventional resistor-diode rectifiers becomes impossible and there is a need for other methods of rectifying alternating current. It is proposed to use full-wave active rectifiers without diodes on operational amplifiers for conversion of the measuring signal of differential transformer converters, the main disadvantages of diode rectifiers and advantages of rectifiers on operational amplifiers are considered. The biggest advantage of a rectifier proposed for use in an automated testing system is the ability to simultaneously rectify and amplify the measurement signal with the required precision, allowing it to be processed by most modern microprocessor controllers. For the first time, an automated testing system on a tensile machine was developed using an active full-wave voltage rectifier on operational amplifiers without the use of diodes. The circuit shown in the article makes it possible to convert the signal of a differential transformer converter for further processing using the Arduino microcontroller platform. An amplifying active full-wave voltage rectifier without diodes on operational amplifiers can be used to modernize testing or measurement equipment containing a differential transformer transducer of a measuring signal. The developed electrical circuit of the rectifier was applied to automate the process of testing on the breaking machine of model P-0.5.

Keywords: differential transformer converter, operational amplifier, rectifier, measuring signal converter, tensile testing machine, automated test system.

REFERENCES

1. Pysarenko H.S., Kvitka O.L., Umanskyi E.S. *Opir materialiv: Pidruchnyk* [Strength of materials: Tutorial]. Kyiv, Vyscha shc., 2004, 655 p. (in Ukrainian).
2. Klyuev V.V. *Ispytatel'naya tekhnika: Spravochnik. V 2-h Kn.* [Test equipment: Directory. In 2 books]. Moscow, Mashinostroenie, 1982, vol. 2, 560 p. (in Russian).
3. Jones M.H. *Elektronika – prakticheskij kurs*. [A practical introduction to electronic circuits]. Moscow, Tekhnosfera, 2006, 512 p. ISBN 5-94836-086-5 (in Russian).
4. Shustov M.A. *Skhemitekhnika. 500 ustrojstv na analogovyh mikroskhemah*. [Shustov M. A. 500 devices on analog microcircuits]. Saint-Petersburg, Nauka i Tekhnika, 2013, 352 p. ISBN 978-5-94387-809-1 (in Russian).
5. Bruce Carter, Ron Mancini. *Op Amps for Everyone*, Elsevier Inc., 2017, 484 p. ISBN 978-0-12-811648-7.
6. James M. Fiore. *Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application*, James M. Fiore via disidents, Utica NY, USA, 2019, 3 edition, 589 p.
7. Volovich G.I. *Skhemitekhnika analogovyh i analogo-cifrovyyh elektronnyh ustrojstv*. [Circuitry of analog and analog-to-digital electronic devices]. Moscow, Publishing House «Dodeca-XXI», 2005, 528 p. ISBN 5-74120-074-9 (in Russian).
8. Antony H. Smith. *Dvuhpoluperiodnyj aktivnyj vypyramitel bez diodov* [Full-Wave Active Rectifier Requires No Diodes] Available at: <https://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=56324> (Accessed 21 May 2019). (in Russian).
9. *Mashina razryvnaya modeli R-0,5. Tekhnicheskoe opisaniye i instrukciya po ekspluatatsii*. [Tensile machine model R-0.5. Technical description and instruction manual]. Ivanovo, Zavod izmeritelnyh priborov (ZIP), 1975, 38 p. (in Russian).

Андреанов И.

ПАМЯТИ ЛЕОНИДА ИСААКОВИЧА МАНЕВИЧА (02.04.1938–20.08.2020)

Институт общей механики, RWTH Ахенский университет Темплерграбен, г.Аахен, Германия



Мировая наука понесла невосполнимую утрату – 20 Августа 2020 года, после тяжёлой и продолжительной болезни скончался доктор технических наук, профессор Леонид Исаакович Маневич, всемирно известный учёный в области механики деформируемого твёрдого тела, математического моделирования динамических процессов и физики материалов.

Л.И. Маневич родился 2 апреля 1938 г. в Могилёве. Среднее и высшее образование получил в Днепропетровске. После окончания в 1959 г. механико-математического факультета Днепропетровского университета работал в Конструкторском бюро «Южное» и одновременно учился в заочной аспирантуре под руководством проф. Ю.А. Шевлякова. В 1961 году защитил кандидатскую диссертацию по устойчивости оболочек и перешел на работу в Днепропетровский университет доцентом кафедры прикладной теории упругости, которую возглавлял профессор В.И. Моссаковский. В 1970 г. защитил докторскую диссертацию, посвящённую

асимптотическим и групповым методам в механике деформируемого твёрдого тела, и был избран профессором той же кафедры. С 1976 г., после переезда в Москву, работал старшим научным сотрудником, а затем заведующим сектором физики и механики полимеров Института химической физики АН СССР. С 1984 г. одновременно работал профессором кафедры физики полимеров МФТИ.

В первый период научной деятельности Л.И. Маневича – в течение 15 лет – её главными направлениями были асимптотический анализ проблем теории упругости анизотропных сред, прочности и устойчивости анизотропных и подкреплённых пластин и оболочек, моделирование и исследование нормальных колебаний в существенно нелинейных системах. При этом асимптотические идеи были не просто средством анализа сложных задач, они стали краеугольным камнем всего научного мировоззрения, ключом к пониманию различных явлений и физических теорий. Именно на этих идеях, способствующих развитию физической и инженерной интуиции, новых методов математического моделирования, Л.И. Маневич воспитал много учеников и создал в Днепропетровске целую научную школу.

Особенностями подхода Л.И. Маневича были использование новых, часто нетривиальных, параметров асимптотического интегрирования и сочетание асимптотического подхода с методами теории групп, что позволило не только расширить возможности асимптотического анализа, но и осмыслить его с более общих позиций.

Развитые в этот период идеи и методы оказались весьма полезными и эффективными и в следующем периоде научной деятельности Л.И. Маневича, связанном преимущественно с решением задач механики и физики полимеров и композиционных материалов. В то же время они были органично объединены с рядом новых идей и подходов, возникших в нелинейной физике, в частности, нелинейной теории волн. Именно сочетание асимптотической идеологии и достижений нелинейной физики позволило Л.И. Маневичу решить ряд сложных проблем механики полимеров и композиционных материалов.

В последующие годы научная деятельность Л.И. Маневича была связана преимущественно с проблемами механики и физики полимеров и композитов, математического моделирования их поведения. Развитые в днепропетровский период идеи и методы были органично объединены с новыми идеями и подходами, возникшими в нелинейной физике. Он разработал общую асимптотическую теорию деформирования и разрушения сильно анизотропных композитов. Была развита теория структурных дефектов и нелинейных возбуждений в полимерных кристаллах, предсказан и исследован на новых математических моделях солитонный механизм распространения химических реакций и структурных переходов на атомном уровне в молекулярных и полимерных кристаллах, выявлен солитонный механизм механодеструкции полимерных цепей и др.

В последние 15 лет Л.И. Маневич интенсивно работал над общими проблемами нелинейной динамики, исследованиями локализованных нелинейных нормальных мод и солитонов в осцилляторных цепях сложной структуры и в энергетически невырожденных квазиодномерных моделях, а также линейной и нелинейной динамики углеродных нанотрубок. Развита единая концепция описания нелинейных нормальных мод и локализованных колебательно-волновых возмущений («солитонов огибающей»), основанная на комплексной форме уравнений движения. Впервые была смоделирована и исследована нелинейная динамика макромолекулярных цепей, образующих полимерные кристаллы, которые имеют зигзагообразную или спиральную форму, и аналитически и численно изучены локализованные нелинейные возбуждения с колебательной степенью свободы (бризеры).

В общей динамике нелинейных систем им была введена концепция предельных фазовых траекторий, соответствующих максимально возможному при заданных условиях энергообмену между кластерами частиц («эффективными частицами»), и показана её эффективность, в частности, в теории гашения колебаний и теории синхронизации.

Научные результаты Л.И. Маневича отражены в 20 монографиях, в том числе опубликованных в издательствах Wiley (США), Springer (ФРГ) и Kluwer (Голландия), и примерно в 400 статьях. Он многократно выступал в качестве приглашенного докладчика на российских и международных симпозиумах и конференциях, а также на семинарах ведущих университетов мира.

В течение многих лет Л.И. Маневич являлся профессором кафедры физики полимеров МФТИ, где читал оригинальные спецкурсы по механике полимеров и композитов и руководил научной работой дипломников и аспирантов.

Под руководством Л.И. Маневича было защищено 35 кандидатских диссертаций, а 12 его учеников стали докторами наук. Пять раз он удостоивался звания «Соросовский профессор». Награжден Каргинской премией РАН за выдающуюся работу в области физики полимеров.

Трудно поверить, что так внезапно прервалась столь творческая и продуктивная жизнь. Леонид Исаакович был всегда на подъеме и в постоянном развитии, продуктивно работая вплоть до последних дней. Неутомимый труженик, он сумел сформировать себя в специалиста уникальной квалификации. Его необыкновенно широкая эрудиция, высочайший профессионализм и оригинальное видение проблем позволяли ему постоянно находить новые пути для генерации перспективных идей и концепций, нашедших воплощение в его многочисленных и высококвалифицированных публикациях, получивших широкое международное признание.

Потеря столь выдающегося специалиста, крупного учёного и обаятельного человека невосполнима. Его труды представляют собой фундаментальный вклад в нелинейную динамику, механику, физику материалов, теорию математического моделирования и продолжают его продуктивную жизнь. Блестящий педагогический талант позволил Леониду Исааковичу воспитать плеяду талантливых учеников и последователей, вносящих свой собственный заметный вклад.

Его замечательные человеческие качества: тактичность, интеллигентность, скромность надолго останутся в памяти всех, знавших его.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

АНДРІАНОВ Ігор – д-р. фіз.-мат. наук, професор, Інститут загальної механіки, RWTH Ахенський університет Темплерграбен, (м. Аахен, Німеччина);
ORCID ID: 0000-0001-6419-5423

БАРТАШЕВСЬКА Юлія Миколаївна – канд. екон. наук, доцент, завідувачка кафедри інформаційних технологій ВНЗ «Університет імені Альфреда Нобеля» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-0300-0693

ГУЛЯЄВ Юрій Геннадійович – д-р. техн. наук, професор, науково-виробнича фірма «Восток-Плюс» (м. Дніпро, Україна)

ДЕНИСЮК Ольга Ростиславівна – канд. техн. наук, доцент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-9818-5298

ЗДАНЕВИЧ Сергій Володимирович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної механіки та опору матеріалів Національної металургійної академії України (м. Дніпро, Україна)

ЗЕЛЕНЦОВ Дмитро Гегемонович – д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-5785-9858

КОСАРЄВ Вячеслав Михайлович – канд. техн. наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій ВНЗ «Університет імені Альфреда Нобеля» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-7578-1679

КОСОЛАП Анатолій Іванович – д-р. фіз.-мат. наук, професор, завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

КРАВЕЦЬ Василь Іванович – канд. техн. наук, доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна).

ЛОСІХІН Дмитро Анатолійович – ст. викл. кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-6325-7263

ОЛЕВСЬКА Юлія Борисівна – канд. фіз.-мат. наук, доцент, доцент кафедри вищої математики ДВНЗ Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-0235-1360

ОЛЕВСЬКИЙ Віктор Ісаакович – д-р. техн. наук, доцент, завідувач кафедри вищої математики ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0003-3824-1013

ОЛЕВСЬКИЙ Олександр Вікторович – студент кафедри радіофізики, електроніки і наноматеріалів ДВНЗ «Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара» (м. Дніпро, Україна);
ORCID ID: 0000-0002-0245-7106

ПАЛАГІН Олександр Васильович – академік НАНУ, д-р. техн. наук, професор, заступник директора Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (м. Київ, Україна)

ПЕТРЕНКО Микола Григорович – д-р. техн. наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України (м. Київ, Україна);

ORCID ID: 0000-0001-6440-0706

ПІДГОРОДЕЦЬКИЙ Олександр Васильович – студент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

РАХМАНОВ Сулейман Рахманович – канд. техн. наук, директор науково-виробничої фірми «Восток-Плюс» (м. Дніпро, Україна)

ТИМЧИЙ Катерина Іванівна – канд. с.-г. наук, асистент кафедри біотехнології ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна);

ORCID ID: 0000-0003-4141-6224

ПІТОВА Олена Василівна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ТРУБНИКОВ Сергій Васильович – студент кафедри інформаційних систем ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ШУЛЬГІН Олексій Леонідович – студент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро, Україна)

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК		ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ		NAME INDEX	
АНДРІАНОВ І.	75	АНДРИАНОВ И.	75	ANDRIANOV I.	75
БАРТАШЕВСЬКА Ю.М.	3	БАРТАШЕВСКАЯ Ю.Н.	3	BARTASHEVSKAYA Yu.N.	3
ГУЛЯЄВ Ю.Г.	51	ГУЛЯЕВ Ю.Г.	51	GULYAEV Yu.G.	51
ДЕНИСЮК О.Р.	64	ДЕНИСЮК О.Р.	64	DENYSIUK O.R.	64
ЗДАНЕВИЧ С.В.	51	ЗДАНЕВИЧ С.В.	51	ZDANEVICH S.V.	51
ЗЕЛЕНЦОВ Д.Г.	37	ЗЕЛЕНЦОВ Д.Г.	37	ZELENTSOV D.G.	37
КОСАРЕВ В.М.	10	КОСАРЕВ В.М.	10	KOSARIEV V.M.	10
КОСОЛАП А.І.	20	КОСОЛАП А.И.	20	KOSOLAP A.I.	20
КРАВЕЦЬ В.І.	46	КРАВЕЦ В.И.	46	KRAVETS V.I.	46
ЛОСІХІН Д.А.	70	ЛОСИХИН Д.А.	70	LOSIKHIN D.A.	70
ОЛЕВСЬКА Ю.Б.	29	ОЛЕВСКАЯ Ю.Б.	29	OLEVSKA Yu.B.	29
ОЛЕВСЬКИЙ В.І.	29	ОЛЕВСКИЙ В.И.	29	OLEVSKYI V.I.	29
ОЛЕВСЬКИЙ О.В.	29	ОЛЕВСКИЙ А.В.	29	OLEVSKYI O.V.	29
ПАЛАГІН О.В.	37	ПАЛАГИН А.В.	37	PALAGIN A.V.	37
ПЕТРЕНКО М.Г.	37	ПЕТРЕНКО Н.Г.	37	PETRENKO M.G.	37
ПІДГОРОДЕЦЬКИЙ О.В.	46	ПОДГОРОДЕЦКИЙ А.В.	46	PIDHORODETSKIY O.V.	46
РАХМАНОВ С.Р.	51	РАХМАНОВ С.Р.	51	RAKHMANOV S.R.	51
ТИМЧИЙ К.І.	29	ТЫМЧИЙ Е.И.	29	TIMCHY K.I.	29
ТІТОВА О.В.	46	ТИТОВА Е.В.	46	TITOVA E.V.	46
ТРУБНИКОВ С.В.	64	ТРУБНИКОВ С.В.	64	TRUBNIKOV S.V.	64
ШУЛЬГІН О.Л.	70	ШУЛЬГИН А.Л.	70	SHULHIN A.L.	70

Науковий журнал «Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація» («Computer Modeling: Analysis, Control, Optimization») приймає до розгляду наукові статті, а також оглядові роботи, які стосуються теоретичних та прикладних питань з комп'ютерних наук, комп'ютерної інженерії, прикладної математики, прикладної механіки, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

Науковий журнал зареєстровано та індексується:

у вітчизняних та міжнародних базах даних:

Index Copernicus (Польща), Ulrich's Periodicals Directory (США), OCLC WorldCat (США), Crossref (США), Національна бібліотека України імені В.І. Вернадського (Україна), Бібліометрика української науки (Україна), ResearchBib (Японія), CiteFactor (USA);

у наукових електронних бібліотеках:

«Elektronische Zeitschriftenbibliothek, EZB (Electronic Journals Library)» (Німеччина), University Library of Regensburg (Німеччина), «Bibliotheksverbund Bayern (BVB)» (Німеччина), «Universitätsbibliothek der TUM» (Німеччина), «Koninklijke Bibliotheek» (Нідерланди);

проіндексований пошуковими системами:

RefSeek, Bing, Microsoft Academic, Google Scholar.

Зареєстровано профіль журналу у бібліографічних посиланнях служби Google Scholar.

Всім статтям з 2018 року присвоюється індекс DOI (Crossref).



ДВНЗ
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
м. ДНІПРО