Міністерствоосвіти інауки
НаціональнаметалургійнаакадеміяУкраїни
Дніпровськийдержавнийтехнічнийуніверситет
ДніпровськийнаціональнийуніверситетіменіОлесяГончара
Національнийтехнічнийуніверситет«Дніпровськаполітехніка»
НаціональнийуніверситетзалізничноготранспортуіменіакадемікаВ. Лазаряна
Криворізькийнаціональнийуніверситет
Харківськийнаціональнийуніверситетрадіоелектроніки
Херсонськийнаціональнийтехнічнийуніверситет
ЧорноморськийдержавнийуніверситетіменіП. Могили
AaltoUniversity(УніверситетАалто,Фінляндія)
AkademiaGórniczo-Hutnicza,(Краківськагірничо-металургійна
академія ім. С. Сташіца, Польща)
PolitechnikaRzeszowska(Жешівськийтехнологічнийуніверситет,Польща)
SilesianUniversityofTechnology(Сілезькийтехнічнийуніверситет,Польща)
TallinnUniversityofTechnology(Таллінськийтехнологічнийуніверситет,Естонія)

ITMM 2021

МАТЕРІАЛИ
Міжнародної науково-технічної конференції
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ в
МЕТАЛУРГІЇ та МАШИНОБУДУВАННІ

MATERIALS
of Scientific and Technical International Conference
INFORMATION TECHNOLOGY IN
METALLURGY AND MACHINE ENGINEERING

16 – 18 березня 2021 року

м. Дніпро

УДК 004: 378: 519: 621:658:669:896: 347.77/78
ISSN-online 2708-0102

Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2021: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції (Дніпро, 16 – 18 березня 2021 р.) / Міністерство освіти і науки України, Національна металургійна академія України, Дніпропетровський національний університет імені О. Гончара, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна та ін. – Дніпро: НМетАУ, 2021. – 371 с.

Друкується за рішенням вченої ради НМЕТАУ від 22.01.2021 р., №1.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Голова:

Величко О.Г. – член-кореспондент НАНУ, д.т.н., професор, ректор НМетАУ (Дніпро, Україна)

Заступник голови:

Гнатушенко Вік.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Члени оргкомітету:

Гасик М.І. – д.т.н., професор, академік НАН України (Дніпро, Україна)
Пройдак Ю.С. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Камкіна Л.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Петренко О.М. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Власова Т.Є. – к.т.н., ст. науковий співробітник (Дніпро, Україна)
Губинський М.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Програмний комітет:

Алпатов А.П. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Архипов О.Є. – д.т.н., професор (Київ, Україна)
Бахрушин В.Є. – д.ф.-м.н., професор (Запоріжжя, Україна)
Бодянський Є.В. – д.т.н., професор (Харків, Україна)
Гасик М.М. – д.т.н., професор (Гельсінкі, Фінляндія)
Гнатушенко В.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Гожий О.П. – д.т.н., професор (Миколаїв, Україна)
Зеленцов Д.Г. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Зубов Д.А. – д.т.н., доцент (Охрід, Республіка Македонія)
Корсун В.І. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Купін А.І. – д.т.н., професор (Кривий Ріг, Україна)
Малайчук В.П. – д.т.н, професор (Дніпро, Україна)
Петленков Э. – к.т.н. (Таллінн, Естонія)
Рудакова Г.В. – д.т.н., професор (Херсон, Україна)
Светличний Д.С. – д.т.н., професор (Краків, Польща)
Селівьорстов В.Ю. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Сетлак Г. – д.т.н., професор (Жешів, Польща)
Скалозуб В.В. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)
Сладковський О.В. – д.т.н., професор (Сілезія, Польща)
Тогобицька Д.М. – д.т.н., професор (Дніпро, Україна)

Секретар оргкомітету: Селівьорстова Т.В. – к.т.н., доцент (Дніпро, Україна)

У збірник включені тези доповідей, які були представлені на Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні – ІТММ'2021».

Режим доступу: https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/itmm

© Національна металургійна академія України,
ІВК «Системні технології», 2021

СЕКЦІЯ 1

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ І СИНТЕЗ ПРОЦЕСІВ У МЕТАЛУРГІЇ ТА МАШИНОБУДУВАННІ

SECTION 1

SYSTEM ANALYSIS AND SYNTHESIS OF PROCESSES IN METALLURGY AND MACHINE-BUILDING

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.001

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШОРСТКОСТІ НА ВЛАСТИВОСТІ СТАЛІ AISI 316L МЕТОДОМ РЕЄСТРАЦІЇ МАКРОЛОКАЛІЗАЦІЙНИХ ПОЛІВ

Аджамський С.В.[1,2], Кононенко Г.А. к.т.н. [2,3], Подольський Р.В.[2,3]

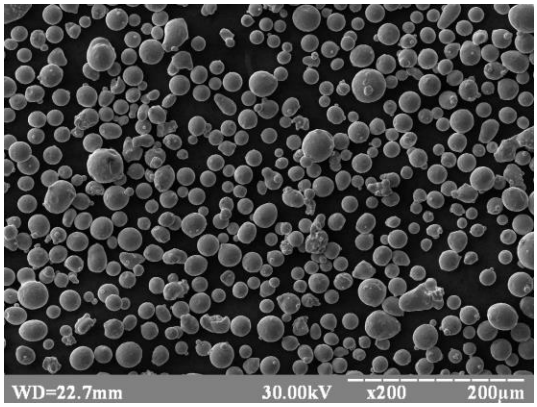
[1] Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, Україна, Дніпро
[2] LLC «Additive Laser Technology of Ukraine», Україна, Дніпро, info@alt-print.com
[3] Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Дніпро

Селективне лазерне плавлення - один із сучасних методів виготовлення деталей і вузлів складної геометрії, які складно або неможливо відтворити в умовах традиційного виробництва. Технологія вибіркового лазерного плавлення дозволяє в кілька разів скоротити час і кількість технологічних операцій, а число необхідного основного обладнання, чисельність якого вимірюється в десятках - зменшити до декількох одиниць. У виробництві машинобудівної техніки особливе місце займають складні технологічні процеси, які застосовуються при виготовленні високонавантажених вузлів пневмо-гідравлічної системи з жароміцних сплавів.

Процес руйнування є заключною стадією поведінки металу під навантаженням, а опір, який метал надає розвитку цьому процесу, в значній мірі визначає його конструкційну міцність. До числа найбільш загальних видів руйнування відноситься в'язке і крихке руйнування металів. В'язке руйнування, якому передує значна пластична деформація, є більш характерним для металів, ніж крихке.

Дослідження проводились на зразках виготовлених з порошкового матеріалу нержавіючої сталі AISI 316L мартенситного класу. Друк зразків проводився на 3D принтері Alfa-280 виробництва компанії ТОВ «АЛТ Україна» [1]. Матеріалом, використаним в цьому дослідженні, була нержавіюча сталь 316L з розміром частинок від 10 до 45 мкм. Хімічний склад порошку 316L в % по масі: Cr=17,79; Ni=12,63; Mo=2,35; Mn=0,78; Si=0,64; C=0,016. Випробування для визначення механічних властивостей проводили відповідно до ISO 6892 на випробувальній машині INSTRON при стабільній швидкості ходової траверси 2 мм/с. Контроль шорсткості робочої поверхні проводився за допомогою прибору BioBase.

Вихідний матеріал був досліджений за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106 (рис. 1, а) для визначення форми і розмірів частинок. На рис. 1, б наведено результати аналізу.



а) б)

Рисунок1 - Частинкивихідногоматеріалу316L при збільшенні 200 (а) та результати гранулометричногоаналізу(б)

Робоча зона зразка на розтягування складалась з двох областей: область шорсткості 5 мкм, яка склала 80% робочої зони та 20% області шорсткість, якої склала 17 мкм. Зона підвищеної шорсткості знаходиться у центрі робочої зони зразка (рис. 2).

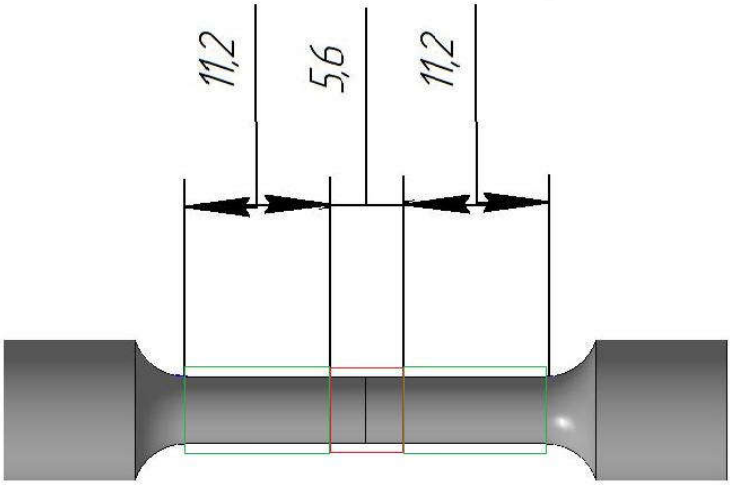
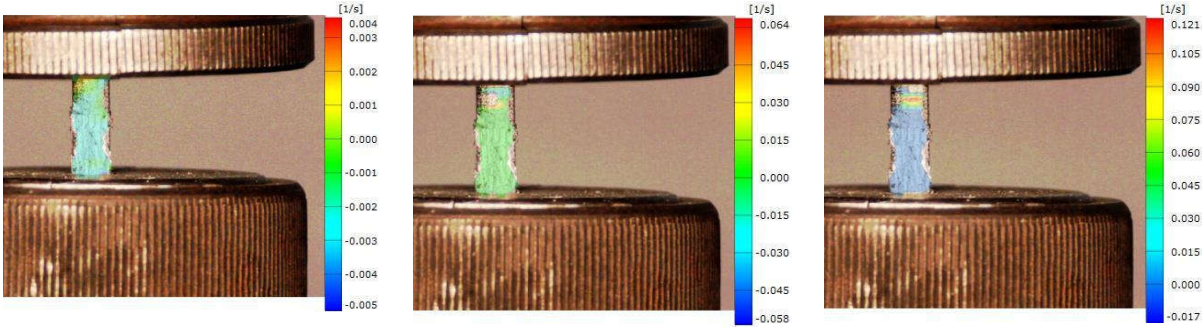


Рисунок 2 – Модельзразкадлявипробувань нарозтягування:
зелена область – шорсткість 5 мкм, червона зона – шорсткість 17 мкм

Одновісне розтягування проводилось при кімнатній температурі, реєстрація полей макролокальних переміщень фіксувалось методом DIC (digital image correlation) одночасно з розтягуванням. Дослідження мікроструктури проводилась на оптичному мікроскопі CarlZeiss AxioVert 200M mat.

Під час випробувань на розтягування була проведена фіксація діаграми цифрового зображення збільшення довжини (рис. 3, 4). Металографічні дослідження показали, що щільність зразка складає 99,83%, структура зразків являє собою мартенситну структуру равновісних побудованих треків (рис. 5). З мікроструктурних досліджень робочої зони в області розриву було встановлено, що руйнування починалось з поверхні зразків через різну шорсткість.



10секунд 1хвилина 2хвилини30секунд

Рисунок3 - Макролокалізаційніполяцифровогозображеннязбільшеннядовжини

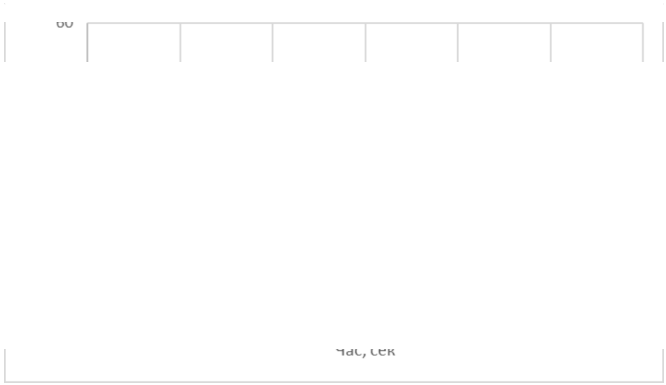


Рисунок4 – Діаграмапластичностіцифровогозображення: червонаточка – 10секунд, зеленаточка – 1хвилина, помаранчеваточка – 2хвилини30секунд

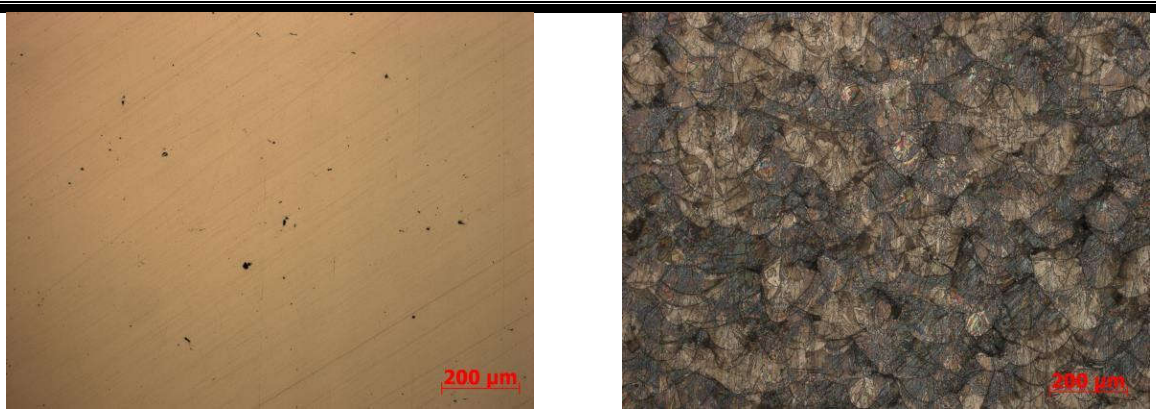


Рисунок 5 – Мікроструктура зразка зі сталі AISI 316L нарозтягування вобластіруйнування

Висновки

1. Показано, що утяжка та розрив під час випробувань з послідуючим розривом утворилась в області переходу з шорсткості 17 мкм до 5 мкм зі сторони нерухомої частини.

Література

1. Аджамский С. В., Кононенко А. А., Подольский Р. В. Симуляция влияниястаточных напряженийипараметровSLM-технологиинаформированиеобластиграницизделия из жаропрочного никелевого сплава INCONEL 718. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (17-19 марта 2020, Днепр), Днепр, 2020, С. 4–6. DOI: https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001.

INVESTIGATION OF PLASTIC PROPERTIES OF AISI 316L STEEL BY METHOD OF REGISTRATION OF MACROLOCALIZATION FIELDS

Adjamsky Sergey, Kononenko Ganna, Podolskyi Rostislav

Abstract. Selective laser melting is one of the modern methods of manufacturing parts in the production of machine-building equipment, a special place is occupied by complex technological processes used in the manufacture of high-load units of pneumatic-hydraulic system from heat-resistant alloys. The studies were performed on samples made of powder material AISI 316L stainless steel martensite class. Tests to determine the mechanical properties were performed in accordance with ISO 6892 on an INSTRON test machine. The control of the surface roughness was performed using a BioBase device. From microstructural

analysis and testing the method of registration of macrolocalization fields of the working zone samples, it was found that the destruction began from the surface of the samples from the microconcentrators due to different roughness.

Keywords: selective laser melting, roughness, mechanical properties, porosity, AISI 316.

References

1. Adzhamskij S. V., Kononenko A. A., Podol'skij R. V. (2020). Simuljacija vlijanija ostatochnyh naprjazhenij i parametrov SLM-tehnologii na formirovanie oblasti granic izdelija iz zharoprochnogo nikelevogo splava inconel 718. Materialimizhnarodnoï naukovo-tehnichnoï konferencii «Informacijni tehnologiï v metalurgiï ta mashinobuduvanni» (17-19 marta 2020, Dnepr), Dnepr, S. 4–6 [in Russian]. DOI: https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001

ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГОМОГЕНІЗАЦІЇ СТАЛІ ПРИ ФІНІШНОМУ ЛЕГУВАННІ У ВИЛИВНИЦІ

Андрюхін Р.П.[1], Молчанов Л.С.[2] к.т.н., Синегін Є.В.[1] к.т.н., доц.

[1]Національна металургійна академія України
[2]Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАНУ

Основною задачею введення легуючих матеріалів у виливницю під час розливання є утворення нових фаз (карбідних, нітридних, карбонітридних) та структурних компонентів, які підвищують або надають металу спеціальних властивостей. Їх введення у розплав найчастіше здійснюють у формі порошкового дроту або високолегованого сталевого дробу [1,2]. Одним з різновидів технологій їх використання є мікролегування, під яким розуміють введення у металевий розплав невеликої до 1 кг/т кількості легуючих елементів для змінення властивостей сплаву. Специфіку операції мікролегування чавуну і сталі детально розглянуто авторами робіт [3,4,5,6].

Раніше проводилися дослідження тільки по дослідженню видалення неметалевих включень з розплаву у виливниці [7] в цій статті автори вивчали вплив параметрів розливання на видалення неметалевих включень у виливниці, також вивчалося формування неметалевих включень при розливанні через оголення дзеркала металу в виливниці [8], дослідження по розподіленню неметалевих включень в залежності від їх розміру [9], а вивчення видалення методом гомогенізації в самій виливниці вивчено не було.

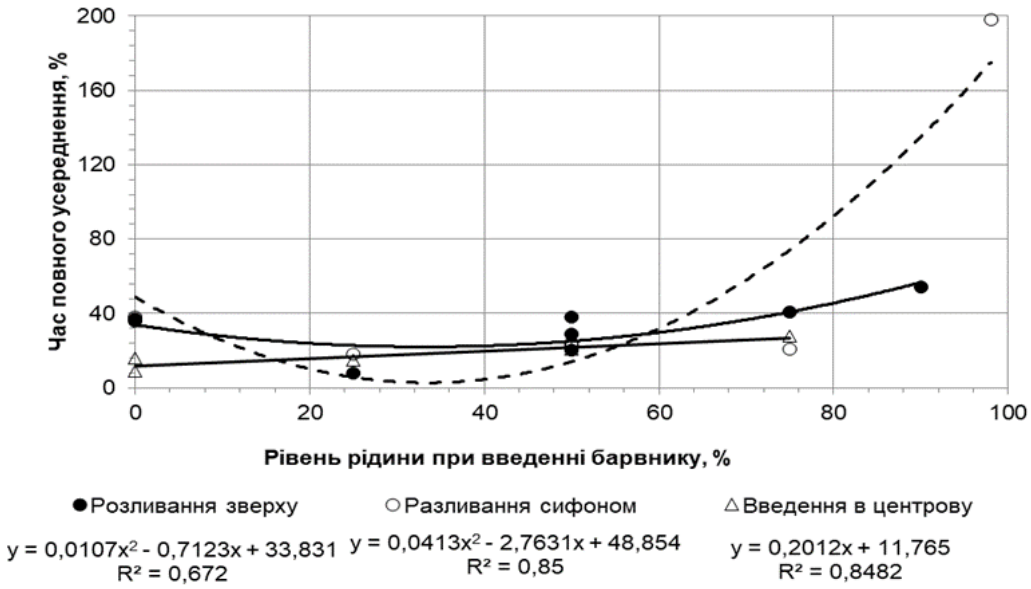
Важливим показником реалізації запропонованої технології є легування сталі у виливниці для отримання сталі певної марки в малих об'ємах.

Метою дослідження визначити раціональне місце введення легуючих в об’єм розплаву і спосіб розливання, для найкращого розчинення.

Установка складалася з моделі виливниці у масштабі 1:3,5 з сифонною та верхньою розливками, над виливницею була проведена трубка, що імітує модель розливного стакану сталерозливного ковша, для подачі води зверху, яку можна було перемістити для розливки зверху або сифоном. Для імітування розчинення легуючої добавки у сталі використали ультрафіолетовий барвник Losa glow (мальтодекстрин, рибофлавін). Для підсвічування барвника з обох боків виливниці були встановлені ультрафіолетові лампи, потужністю 40 Вт і з довжиною хвилі 365 Нм кожна. Зйомка здійснювалась на камеру з роздільною

здатністю 1280×720, яка була встановлена на штатив. В ході кожного експерименту змінювалося місце введення барвника (центр, 50% радіусу і під стінку виливниці) і момент введення (25%, 50%, 75%, 98% висоти наповнення виливниці). Було проведено три серії дослідів з різним способом розливки та введення барвника: 1) розливання зверху з введенням барвника у виливницю; 2) розливання сифоном з введенням барвника у виливницю; 3) розливання сифоном з введенням барвника у центрову. Після проведення експериментів, за відзнятими відео, визначали час гомогенізації від моменту введення барвника. За час повної гомогенізації приймали момент рівномірного забарвлення усього об'єму рідини.

За результатами проведених експериментів було побудовано графік залежності часу повного усереднення від рівня рідини при введенні барвнику для кожної з трьох серії дослідів.



Рисунок– Залежність часу повного усереднення від рівня рідини при введенні барвника

По графіку було проаналізовано, що усереднення барвнику більш ефективно при меншому рівню рідини в виливниці, адже перемішування відбувається завдяки потокам рідини в виливниці, чим вищій рівень рідини у виливниці, тим потоки перемішування слабші. На графіку спостерігається мінімізація часу усереднення при оптимальному рівні рідини. Для розливання зверху та сифоном з додаванням барвника у виливницю оптимальний рівень

складає 33%. При введенні барвника у центрову відбувається незначне прямо пропорційне збільшення часу повного усереднення зі збільшенням рівня рідини у виливниці. Серед проаналізованих способів розливання сталі найефективнішим з погляду гомогенізації легуючої добавки є розливання сифоном. На рисунку 3-5 зображено кадри з забарвленням рідини на різних етапах наповнення виливниці при введенні барвника на рівні 25% від висоти виливниці.

Література

1. Васильева М.Г. Суспензионное легирование углеродистой стали марганцем / М.Г. Васильева // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 52-56.

2. Зайденберг А.М. Микролегирование высокопрочного чугуна в процессе суспензионного модифицирования / А.М. Зайденберг, Л.А. Солнцев // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 113-116.

3. Ефимов В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В.А. Ефимов,В.С. Эльдарханов.– М.:Металлургия, 1995. – 272 с.

4. Гольдштейн Я.Е. Проблемы модифицирования стали / Я.Е. Гольдштейн,В.Г. Мизин// Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 168-181.

5. Зайденберг А.М. Микролегирование высокопрочного чугуна в процессе суспензионного модифицирования / А.М. Зайденберг, Л.А. Солнцев // Литьё с применением инокуляторов. – К.: Институт проблем литья АН УССР, 1981. – С. 113-116.

6. Троцан А.И. Теория и практика микролегирования с учётом межкристаллитной внутренней адсорбции / А.И. Троцан, И.Л. Бродецкий, А.И. Иценко. – К.: «КИМ». – 2009. – 272 с.

7. Modeling of the Floating of Non-metallic Inclusions when Pouring Steel into a Mold in Top Casting / R.P. Andriukhin., I. Mamuzic, L.S. Molchanov, Y.V. Synehin // Journal of EngineeringSciences. – 2020. - № Volume 7 (2). – P. 22-26.

8. An Experimental and Numerical Study of the Free Surface in an Uphill Teeming Ingot Casting Process / J. Yin, S. Guo, M. Ersson, P. G. Jönsson // FULL PAPER. – 2020. DOI: 10.1002/srin.201900609

9. Model for Inclusion Precipitation Kinetics During Solidification of Steel Applications in MnS and TiN Inclusions / Q. Shu, V.V. Visuri, T. Alatarvas, T. Fabritius // Metallurgical and MaterialsTransactionsb. – 2020.

DOI:10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.002

ДОСЛІДЖЕННЯ ГАРЯЧОЇ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ЛАБОРАТОРНИХ ОСЬОВИХ ПЛАВОК

Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Дьоміна К. Г.,
Подольський Р.В., Сафронова О.А.

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр

За рахунок підвищення вантажності вагонів підвищується фактичне навантаження на вісь, а збільшення швидкості веде до зростання динамічного впливу колії та рухомого складу, а також числа зміни циклів напружень в одиницю часу, що викликає підвищення напружень в деталях вагонів і локомотивів, а також рейкового шляху. Все це визначає необхідність збільшення міцності та службової надійності вузлів і деталей рухомого складу [1, 2].

У зв'язку з швидким скороченням строків освоєння виробів у виробництві велике значення має використання електронної та розрахункової техніки. Тому провідні фірми застосовують гнучкі виробничі системи, які базуються на автоматизації всього життєвого цикла виробів [3]. Моделювання дозволяє суттєво скоротити витрати часу та матеріальних ресурсів при освоєнні нових видів продукції або вдосконаленні технології виробництва. Найпоширенішими програмами для моделювання процесів у металі при деформаційній та термічній обробці є такі: QForm, модуль Magics [4] програми Materialise, ANSYS, SOLIDWORKS.

Дослідженням впливу режимів деформації на пророблення структури готових виробів займалося багато видатних вчених у галузі прокатного виробництва та в галузі кувального виробництва [5, 6]. Інтенсифікація режимів деформації практично завжди позитивно позначається на проробленні внутрішніх ділянок виробів, що деформуються [7]. Для підвищення якості залізничних осей необхідно підвищувати деформаційну пророблюваність чернової осі при ГПД.

Необхідно розробити модель розрахунку зміни фізико-механічних властивостей при ГПД осі по перерізу. На даному етапі завданням досліджень була розробка моделі розрахунку розподілу фізико-механічних властивостей

сталі для залізничних осей при ГПД на 50% по перерізу циліндричних зразків (124,9ммхØ31мм) в програмі QForm та фактично проведено деформацію зразків в лабораторних умовах на універсальній випробувальній машині.

На платформі QForm проводилось моделювання експерименту процесу гарячої пластичної деформації (ГПД) на 50% циліндричних зразків (124,9ммхØ31мм) лабораторних осьових плавок для зміни морфології литої структури. Фактичний хімічний склад представлений в таблиці 1.

Таблиця 1 – Фактичний хімічний склад лабораторної осьової плавки

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	V	Ti
0,59	0,31	0,73	0,057	0,087	0,008	0,01	0,141	0,002	0,002

В якості вихідних умов задавалися типи операцій – розрахунок термо-пружно-пластична задача. Побудова геометрії зразка проводилося в програмі КОМПАС. Креслення експортувалося в форматі *.stp в QForm. Температура деформації встановлена 1250˚С. Показано процес зміни інтенсивності напруження в матеріалі при ГПД, середнє напруження та пластична деформація (рисунок 1).

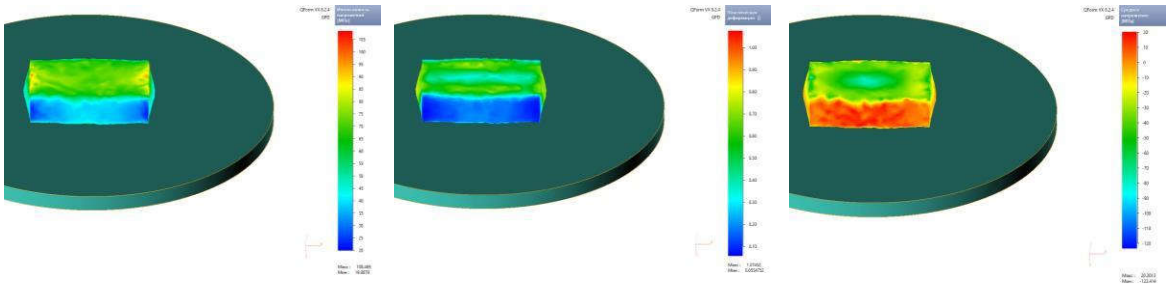


Рисунок 1 – Моделювання гарячої пластичної деформації пробиз лабораторного злитка сталі для залізничних осей в робочому просторі QForm

На підставі даного моделювання отриманні результати по інтенсивності напруження, які склали близько 45-50 МПа, та розподіл напруження по зразку дослідної сталі для залізничних осей, які склали близько 40-50 МПа в області контакту з інструментом та близько 10-15 МПа в безконтактній області.

В результаті моделювання були отримані функції: величина деформації в напрямку прикладеної сили, поділена на початкову довжину матеріалу. Отримано коефіцієнт подовження матеріалу з фактичним хімічним складом при температурі 1250±10°С, яка склала 0,32. Отримано фізичну величину, яка представляє силу на одиницю площі в оточенні матеріальної точки на реальній поверхні або зображенні суцільного середовища. Отримано рівномірність напружень в безконтактній області близько 44,76 МПа.

При порівнянні значень навантаження, що було застосовано при ГПД в лабораторних умовах і в результатів розрахунків з використанням розробленої моделі встановлено, що вони мають близькі значення близько 45 МПа. Цим підтверджується адекватність отриманої моделі.

В подальшому отримані результати будуть використані про розробці моделі розрахунку зміни фізико-механічних властивостей металу залізничної осі при розробці перспективних способів та режимів її ГПД.

ВИСНОВОК

Проведено моделювання гарячої пластичної деформації на 50% лабораторного осьового злитку при температурі 1250±10°С з хімічним складом 0,59%С, 0,31% Si, 0,73%Mn. Визначено коефіцієнт подовження матеріалу, який склав 0,32.

Література

1. Школьник Л.М. Повышение прочности осей подвижного состава / Л.М. Школьник. – М.: Транспорт, 1964. – 224 с.

2. Safronova O., Podolskyi R., Domina K. Hereditary influence of the initial structural state on the quality of rail axes. The 19 International students scientific conference "Engineer of the Third Millennium". 2020. №19. С. 32–33. DOI: 10.13140/RG.2.2.24462.38728

3. Кундас С.П., Кашко ТА. Компьютерное моделирование технологических систем: Учеб, пособ. в 2 ч. Ч 1. Ми.: БГУИР, 2002. 164 с.

4. Аджамский С. В., Кононенко А. А., Подольский Р. В. Симуляция влияния остаточных напряжений и параметров SLM-технологии на формирование области границ изделия из жаропрочного никелевого сплава inconel 718. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» Днепр, 2020, С. 4–6. DOI:https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001.

5. Чекмарёв А. П. Теория прокатки крупных слитков / А. П. Чекмарёв, В. Л. Павлов, В. И. Мелешко,В. А. Токарев. – М.: Металлургия, 1968. – 252 с.
6. Дзугутов М. Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М.: Металлургия, 1977. – 480 с.
7. Babachenko O. I., Diomina K. H., Kononenko H. A., Podolskyi R. V. Analysis of the influence of deformation working of a continuous billet on macro- and microstructure of structural steel (review). Physical Metallurgy and Heat Treatment of Metals. 2020. 91, №4. P.17-29.DOI:https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.241120.17.687

INVESTIGATION OF HOT PLASTIC DEFORMATION OF LABORATORY AXIAL FLOATS

Babachenko Oleksandr, Kononenko Ganna, Domina Katerina,
Podolskyi Rostislav, Safronova Olena

Abstract. A review of research in the field of modeling experiments on heat treatment and pressure treatment of metal and the impact on the physical and mechanical properties of steel with a chemical composition of 0.59% C, 0.31% Si, 0.73% Mn. A mathematical model for calculating the physical and mechanical properties of steel in the process of hot plastic deformation has been developed and prospects for further development of research in this area have been identified. As a result of modeling, the following functions were obtained: the amount of deformation in the direction of the applied force divided by the initial length of the material. The coefficient of elongation of the material with the actual chemical composition at a temperature of 1250 ± 10 ° C, which was 0.32. When comparing the values of the load that was applied to the GPA in the laboratory and the results of calculations using the developed model, it was found that they have close values of about 45 MPa. This confirms the adequacy of the obtained model.

Keywords: modeling, stress, geometry, axis, melting, physical and mechanical properties.

References

1. Sterin I.S. /Mashinostroitelnyie materialyi. Osnovyi metallovedeniya i termicheskoy obrabotki/Uch.Posobie. – SPb.: Politehnika, 2003.-344 s. ISBN 5-7325-0636-5

2. Safronova O., Podolskyi R., Domina K. Hereditary influence of the initial structural state on the quality of rail axes. The 19 International students scientific conference "Engineer of the Third Millennium". 2020. №19. S. 32–33. DOI: 10.13140/RG.2.2.24462.38728

3. Kundas S.P., Kashko TA. Komp'juternoe modelirovanie tehnologicheskih sistem: Ucheb, posob. v 2 ch. Ch 1. Mi.: BGUIR, 2002. 164 s.

4. Adzhamskij S. V., Kononenko A. A., Podol'skij R. V. (2020). Simuljacija vlijanija ostatochnyh naprjazhenij i parametrov SLM-tehnologii na formirovanie oblasti granic izdelija iz zharoprochnogo nikelevogo splava inconel 718. Materiali mizhnarodnoï naukovo-tehnichnoï konferencii «Informacijni tehnologiï v metalurgiï ta mashinobuduvanni» Dnepr, S. 4–6. DOI:https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2020.01.001

5. Chekmarjov A. P. Teorija prokatki krupnyh slitkov / A. P. Chekmarjov, V. L. Pavlov, V. I. Meleshko, V. A. Tokarev. – M.: Metallurgija, 1968. – 252 s.

6. Dzugutov M. Ja. Plasticheskaja deformacija vysokolegirovannyh stalej i splavov / M. Ja. Dzugutov. – M.: Metallurgija, 1977. – 480 s.

7. Babachenko O. I., Diomina K. H., Kononenko H. A., Podolskyi R. V. Analysis of the influence of deformation working of a continuous billet on macro- and microstructure of structural steel (review). Physical Metallurgy and Heat Treatment of Metals. 2020. 91, №4. P. 17-29. DOI:https://doi.org/10.30838/J.PMHTM.2413.241120.17.687

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.003

ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ QFORM VX 8.2 ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ОХОЛОДЖЕННЯ ОБОДУ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Клемешов Є.С., Подольский Р.В.

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины, Днепр

Відповідність новим більш жорстким вимогам до залізничних коліс можлива тільки при комплексному підході до вдосконалення технології їх виробництва при обґрунтованому виборі режимів термічної обробки з урахуванням хімічного складу сталі.

Мета дослідження - визначення допустимих швидкостей охолодження ободу залізничного колеса для досягнення високого рівня твердості феритно-перлітної структури з застосуванням моделювання.

Результати отримані в роботі, яка виконується відповідно до державної цільової програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень», код програмної класифікації видатків 6541230.

Матеріал та методики досліджень. Дослідження проводили на сталі марки ER7 за EN 13262. Зразок досліджуваної сталі підлягав випробуванню на прогартовуваність методом торцевого гартування (за ГОСТ 5657 методом Джомені). Вимірювання твердості проводились на твердомірі ТК-2М. Моделювання проводилось в програмному комплексі QForm VX 8.2.

Результати досліджень. Після випробувань на прогартовуваність за ГОСТ 5657, визначалась відстань від поверхні, з якої виконували однобічне охолодження, де твердість відповідала вимогам нормативної документації для коліс з досліджуваної сталі (рис. 1), та відстань, де вже не відбувалось гартування, тобто утворення голчастих структур, в тому числі бейніту та відманштетту. На наступному етапі були розміщені термопари в другий зразок з тієї ж сталі на попередньо визначені відстані, та проводилось охолодження в тих самих умовах, як і для першого зразка, з записом зміни температури під час охолодження (рис. 2, а). За результатом аналізу отриманих залежностей визначався оптимальний діапазон швидкостей охолодження, що забезпечуватиме задовільні значення твердості в центральних об’ємах ободу та гарантує відсутність голчастих структур біля поверхні кочення ободу колеса. Але аналіз результатів показав, що необхідне регулювання інтенсивності

охолодження при термічній обробці. Для розробки режимів диференціації витрати охолоджувача необхідне була розробка та застосування моделі розрахунку зміни температури металу в процесі охолодження.

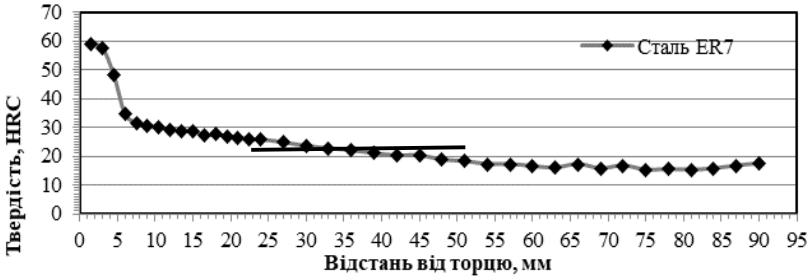


Рисунок 1 - Зміна твердості в залежності від відстані до торцю зразка після випробувань на прогартовуваність за ГОСТ5657 (метод Джомені)

В програмному комплексі QForm VX 8.2 була розроблена модель, для адаптації якої використовували результати експерименту.

В основу роботи програми покладені основні підходи з теорії теплопередачі.

Якщо в просторі існує різниця температур між двома точками, то відбувається перенесення енергії (теплообмін) від області з більшою температурою до області з меншою температурою.

Виділяють наступні три види теплообміну:

– теплопровідність;

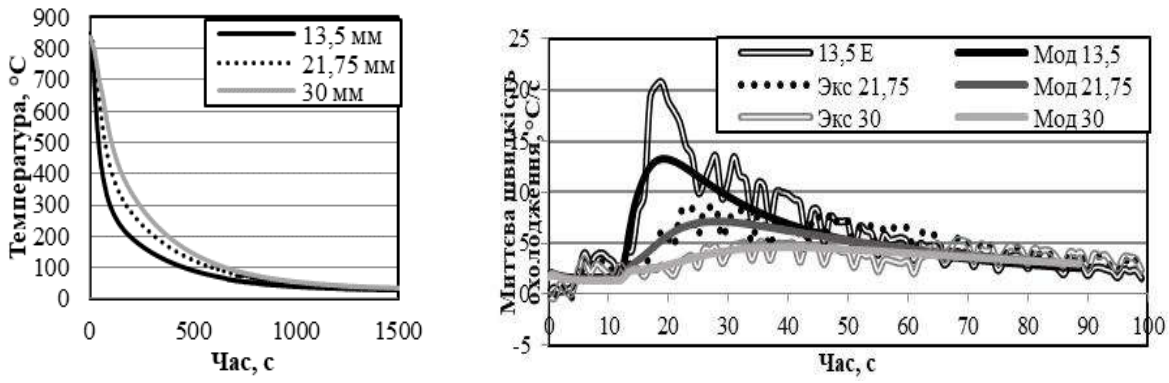
– конвекція;

– випромінювання.

Процес теплообміну в QForm VX 8.2 моделюється за допомогою методу кінцевих об'ємів. Відповідно до цього методу просторова дискретизація завдання здійснюється шляхом розбиття розрахункової області на невеликі дотичні обсяги. Усередині кожного контрольного обсягу знаходиться одна точка «прив'язки» шуканого сіткового рішення. В якості кінцевих обсягів в QForm VX 8.2 використані осередки Вороного (рис. 1). Сітка осередків Вороного будується на базі кінцево-елементної сітки, використовуваної для дискретизації деформационной завдання. У кожному з кінцевих елементів виділяється точка, рівновіддалена від кутових вузлів трикутного (2D завдання) або тетраедрального (3D) елемента. Таким чином, кінцеві обсяги у вигляді осередків Вороного є геометричними фігурами, ребра яких з'єднують центри

описаних кіл для трикутних (2D) і описаних сфер для тетраедральних (3D) кінцевих елементів.

Порівняння експериментальних та розрахованих за допомогою моделі результатів підтвердило їх високу збіжність. При цьому модель дозволила отримати миттєву швидкість охолодження в вигляді, який більше відповідає фізичному сенсу процесу (рис. 2, б), і уникнути розкиду фактичних значень, пов'язаного з дискретністю фіксації даних.



а) б)

Рисунок 2 – Зміна температури в процесі охолодження (а) та миттєва швидкість охолодження (порівняння експериментальних та розрахункових значень) (б) марки ER7 за EN 13262

Як можна бачити з рисунку 2, б, миттєва швидкість охолодження змінюється в процесі безперервної рівномірної подачі охолоджувача. В деяких випадках фіксували значне уповільнення охолодження, або навіть негативні значення миттєвої швидкості охолодження. Це пов'язано з виділенням теплоти фазових перетворень, яке виникає під час розпаду аустеніту за дифузійним механізмом. Також можна відзначити, що для різної відстані від торцю максимуми миттєвої швидкості охолодження припадають на різний час – це час, коли на метал на певній відстані починає впливати дія охолоджувача. До того метал охолоджувався тільки за рахунок відводу тепла бічною поверхнею. В точках, які розташовані ближче до поверхні інтенсивного тепловідводу максимальна миттєва швидкість більша.

Висновки: Визначений допустимий інтервал швидкостей охолодження поверхневих і центральних ділянок ободу коліс при прискореному охолодженні з сталі марки ER7. Дані можуть бути використані для вдосконалення режимів термічної обробки залізничних коліс поточного

виробництва з метою досягнення високого комплексу механічних властивостей як при існуючій технології охолодження, так і при диференційованому охолодженні на модернізованому обладнанні термічної ділянки колесопрокатного цеху. Розроблена модель зміни температури по перерізу зразка для торцевого гартування для сталей різного хімічного складу, яка дозволить прогнозувати миттєві та загальні швидкості охолодження, фазовий склад та механічні властивості на будь-якій відстані від поверхні тепловідводу. Така модель може бути використана для побудови термокінетичних діаграм при безперервному охолодженні та для розробки рекомендацій щодо режимів термічної обробки для досягнення заданих механічних властивостей за певного структурного стану.

APPLICATION OF MODELING IN THE QFORM VX 8.2 SOFTWARE PACKAGE FOR DETERMINATION OF RATIONAL COOLING SPEEDS OF RAILWAY RIMS

Babachenko Oleksandr, Kononenko Ganna, Klemeshov Evgen, Podolskyi Rostislav

Abstract. The tests were performed on ER7 steel according to EN 13262. Based on the hardenability test (GOST 5657) by the method of end hardening (Jomen) the distance from the surface from which unilateral cooling was performed, where the hardness met the requirements of regulatory documentation for wheels of test steel, and the distance where the formation of needle structures, including bainite and otmanshtette, no longer took place. Simulation was applied in the software package QForm VX 8.2, as a result, a model was developed, for the adaptation of which the results of the experiment were used. Confirmed the high convergence of the results of the calculation and the experiment. At the same time, the model allowed to obtain an instantaneous cooling rate in a form that is more in line with the physical meaning of the process and to avoid the scatter of actual values associated with the discreteness of data capture. It is established that the instantaneous cooling rate changes in the process of continuous uniform supply of the cooler. The developed model can be used to build thermokinetic diagrams under continuous cooling and to develop recommendations for heat treatment modes to achieve the specified mechanical properties under a certain structural state.

Keywords: railway wheels, hardness, cooling rate, hardenability, modeling.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.004

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЛІНІЇ ПРИВОДУ ПРОКАТНИХ ВАЛКІВ ПО ШВИДКОСТІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ УДАРНОГО ІМПУЛЬСУ

Баглай А.В.

ДП «ДІАМЕХ-УКРАЇНА», м. Харків, Україна

Вступ. В роботі [1] вперше показано, що час запізнення реакції ділянок лінії головного приводу валків прокатної кліті, який визначають за сигналами вібродатчиків при захваті полоси валками, є діагностичним параметром, пов'язаним зі зносом та зазорами в зчленуваннях обладнання. Чим більше час запізнення, наприклад, шпиндельної ділянки, тим більше зазор в з'єднанні валок – шпиндель. Виконано порівняння в результаті вимірів при нових та зношених бронзових вкладишів, що підтвердило цю закономірність. Розроблено декілька способів діагностування.

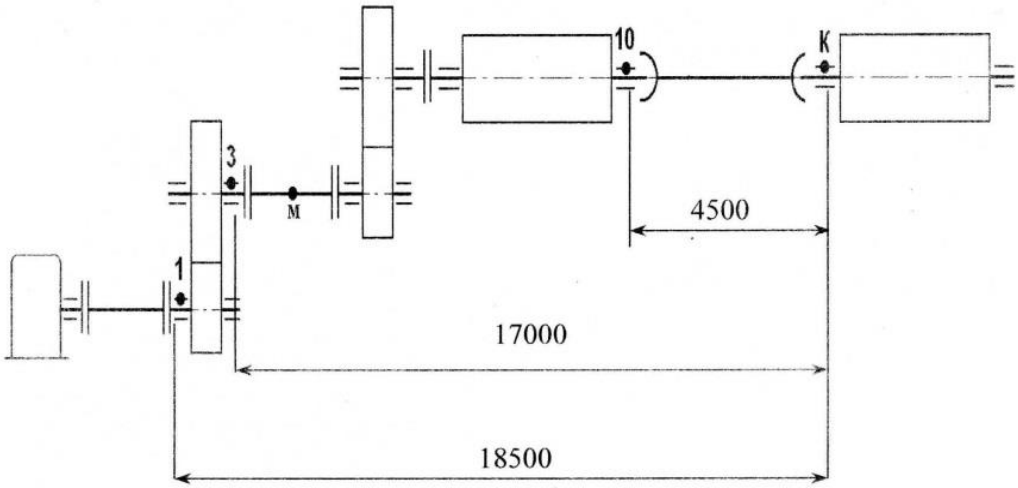
Разом з тим, необхідно відзначити, що метод діагностування за часом запізнення та його можливості до кінця не вичерпані. Необхідний подальший пошук його розвитку. Наприклад, залишається невідомим як розповсюджується фронт ударного імпульсу від кліті (валків), в яку заходить полоса, через шпинделі, шестеренні валки, колесо і шестерню редуктора, зубчасті муфти до двигуна. Як впливає на його розповсюдження стан інших ділянок лінії та які є можливості їх визначати.

Основний матеріал. У зв'язку з цим звернули увагу на те, що з точки зору механіки не тільки час, але й швидкість розповсюдження ударного імпульсу вздовж лінії по її ланкам не постійна на протязі експлуатації стану. Відстань між вібродатчиками, які монтують на корпусному обладнанні відома. Знаючи час запізнення, можливо визначити швидкість розповсюдження ударного імпульсу між окремими ділянками.

Відома також швидкість розповсюдження крутильної хвилі здвигу. Згідно літературних даних для стального цільного валу $V_o \approx 3200$ м/с [2]. Це значення швидкості доцільно прийняти в якості базового.

Таким чином ідея полягає в тому, щоб шляхом порівняння фактичної швидкості за даними вимірів з базовою швидкістю визначати технічний стан як всієї лінії приводу загалом, так і її окремих ділянок.

Розглянемо конкретний приклад. У кліті дуо стану 1680 металургійного комбінату «Запоріжсталь» три рази послідовно з періодом 30 діб виконали заміри часу запізнення реакції трьох датчикові (1, 3, 10) відносно датчика на прокатній кліті (К) (рисунок) при постійному комплекті шпинделі та іншого обладнання.



Рисунок– Відстань (мм) між точками виміру вібрації у кліті дуо

За даними часу запізнення і відстані між датчиками вирахували фактичну швидкість V_i розповсюдження ударної хвилі. Дані зведені в таблицю. В ній також вказано відношення $K = V_o / V_i$. Притаманно, що при сталій відстані чим більше τ, тим менше швидкість імпульсу. Але більш важливо те, що вперше за результатами вимірів визначена швидкість розповсюдження імпульсу в механічній системі з низкою зчленувань. За різницею $\Delta\tau_{1-3} = \tau_1 - \tau_3$ визначили швидкість руху імпульсу між входом та виходом редуктора. Загалом на всіх ділянках фактична швидкість проходження імпульсу значно менша базової швидкості 3200 м/с.

Таблиця – Час запізнення ділянок і швидкість розповсюдження ударного імпульсу

Ділянка / № виміру		1 (10-К)	2 (3-К)	3 (1-К)
11	τ, с	0,028	0,044	0,051
	V, м/с	161	386	363
	к	20	8	9
22	τ, с	0,056	0,065	0,075
	V, м/с	80	262	247
	к	40	12	13
33	τ, с	0,097	0,101	0,116
	V, м/с	46	168	159
	к	70	19	20
44	Δτ1–3, с	0,007	0,010	0,015
	V1–3, м/с	214	150	100
	к	15	21	32

У лінії приводу валків кліті дуо знаходяться 10 зчленувань. Тобто її конструкція, склад неоднорідний, не суцільний. Наявність стиків, контактів, масла між ними різної консистенції, забруднення, окалини разом зі зносом сприяють зниженню швидкості розповсюдження хвилі між ділянками. В роботі [3] відзначається, що з цих причин відбувається зменшення швидкості до $V^{/} = \alpha \cdot V_o$, де коефіцієнт $\alpha \leq 1$ враховує повздовження шляху розповсюдження хвилі. Для коробки передач трактора ДТ-54 коефіцієнт $\alpha = 0,3$, тобто до нашого випадку швидкість буде становити $V^{/} = 960$ м/с.

Висновок. Таким чином не тільки час запізнення реакції ділянок, але й фактична швидкість розповсюдження ударного імпульсу може бути діагностичною ознакою технічного стану обладнання лінії приводу валків. Ця допоміжна ознака збагачує арсенал способів діагностування.

Література

1. Диагностика и динамика прокатных станов / [В.В, Веренев, В.И. Большаков, А.Ю. Путноки и др.]. – ИМА-пресс.Днепропетровск. – 2007. – 144 с.

2. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова // М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

3. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов/Б.В. Павлов // М.: Машиностроение. 1971. – 224 с.

DETERMINATION OF A TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT OF THE LINE OF A DRIVE OF ROLLING ROLLS ON THE SPEED OF PROPAGATION OF THE SHOCK PULSE

Baglai Andriy

Abstract. One of the ways to determine the technical condition of the equipment of the line working rolls - spindles - gear cage - root coupling - reducer - intermediate shaft - engine is considered. In each connection there is wear of contact elements, for example, bronze inserts of spindles, teeth of gears. According to the known method, the amount of current wear of the elements and the gaps caused by them at the same time is determined by the time of delay of the reaction of sections of the line to the impact load during the capture of the strip by rolls. The greater the wear, the longer the delay time. The option of determining the state of the nodes of the line by determining the speed of propagation of the shock pulse from the rolling stand to the engine is considered. An example of measuring the reaction delay time of three sections of one of the stands with calculations of the pulse rate in these sections is given. It is shown that with increasing wear, the pulse velocity decreases significantly. Therefore, this speed characterizes the technical condition of the sites, ie has a diagnostic feature. Additionally, the influence of the presence of oil, scale, and contamination in the joints is considered. It is also recommended to use the ratio of the base speed of the shock pulse in the solid shaft to the actual speed in the nodes to determine their technical condition.

Keywords: rolling mill, drive line, vibration sensors, reaction, delay time, shock pulse, propagation speed.

References

1. Diagnostics and dynamics of rolling mills / [V.V., Verenev, V.I. Bolshakov, A.Yu. Putnoki and others]. - IMA-press. Dnepropetrovsk. - 2007 .-- 144 p.

2. Genkin M.D. Vibroacoustic diagnostics of machines and mechanisms / M.D. Genkin, A.G. Sokolov // M .: Mashinostroenie, 1987 .-- 288 p.

3. Pavlov B.V. Acoustic diagnostics of mechanisms / B.V. Pavlov // M.: Mechanical Engineering. 1971. - 224 p.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.005

ВПЛИВ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА КОЕФІЦІЄНТ ДИНАМІЧНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Гречаний О.М. викладач, Васильченко Т.О. к.т.н., доцент,
Цімахович Д.В. магістрант, Гузь Е.А. магістрант, Кармазін М.О. магістрант

Запорізький національний університет

Вступ. Технологічне обладнання металургійної промисловості працює в складних умовах з точки зору динамічних навантажень. З іншого боку до їхніх механізмів пред'являються особливі вимоги – вони мають бути надійні в роботі та допускати легке регулювання, а у випадку поломок допускати швидку заміну або ремонт вузлів та деталей, та одночасно повинні відповідати умовам точності відтворення заданих технологічних операцій. [1]

Повна ясність в процесах, що супроводжують роботу механізмів, які перебувають у важких динамічних умовах, дозволяє конструктору вибрати правильне рішення, що забезпечує нормальну роботу машини. У той же час машини не тільки повинні задовольняти умовам міцності при заданій їхній продуктивності, а й мати раціональну металоємність. [2]

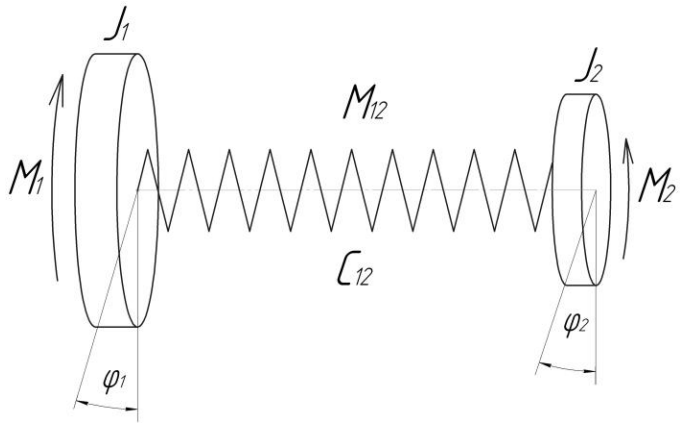
Основний матеріал. Для аналізу вимушених коливань виникаючих в приводі барабана моталки стану 1680 розглянемо двомасову крутильну систему (рис.1), до якої прикладені зовнішні моменти M_1 – момент технологічного опору робочого органу, приведеного до вала двигуна, та M_2 – номінальний момент електродвигуна.

Момент M_2 має напрямок, протилежний напрямку момента M_1 (тобто, моменти від рушійних сил і від сил опору завжди направлені в протилежні боки).

Функціональне рівняння руху для даного випадку:

$$\left.\begin{aligned} J_1(\ddot{\phi}_1 - \phi_2) &= M_1, \\ J_2(\ddot{\phi}_1 - \phi_2) &= M_2 \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Перший множник виразу є сталою величиною, що представляє собою суму статичного момента від сил опору робочої машини і момента від сил інерції її рухомих мас, та позначається як Ма. Вирішивши функціональне рівняння руху (1) отримаємо значення моменту сил пружності у функції часу.



J_1 – момент інерції барабана моталки з рулоном, J_2 – момент інерції якоря електродвигуна привода барабана моталки, C_{12} – приведена жорсткість проміжного вала, M_1 – момент технологічного опору робочого органу, M_2 – момент двигуна

Рисунок 1 – Дослідження вимушених коливань в приводі барабана моталки

Для характеристики динамічного навантаження вводять коефіцієнт динамічності $k_д$, який визначається як відношення максимального момента сил пружності до сталого його значення [3]:

$$к_д = \frac{M_{мах}}{M_а} \quad (2)$$

Висновки. Вирішення функціонального рівняння руху дозволить встановити значення моменту сил пружності у функції часу, котрий використовується при розрахунку коефіцієнта динамічності, який в свою чергу характеризує динамічні навантаження на вузли технологічного обладнання. Попередній його розрахунок дозволить уникнути аварійних ситуацій пов'язаних з виходом з ладу обладнання при неправильному виборі режимів технологічного процесу.

Література

1. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану / О. М. Гречаний // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2017. – Вип. 2 (38). – С. 126-130.

2. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями / С. Н. Кожевников. – Киев: Академия наук Украинской ССР, 1961. – 160 с.

3. Жук А. Я. Основи наукових досліджень. Книга 1. Теоретичні дослідження: Навчальний посібник. / А. Я. Жук, Н. К. Желябіна, Г. П. Малишев. – Запоріжжя:ЗДІА, 2008. – 195 с.

INFLUENCE OF CHANGE PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL PROCESS ON COEFFICIENT OF DYNAMISM OF THE EQUIPMENT

Hrechanyi Oleksii, Vasilchenko Tatiana, Tsimakhovych Daria,
Huz Eduard, Karmazin Maksym

Abstract. The influence of changing the technological modes of rolling on the dynamic load of the coilers of rolling mills has been established. The functional equation of motion for strip winding has been determined, the solution of which makes it possible to establish the dependence of the elastic force moment on the strip winding time. The moment of elastic forces is used when calculating the dynamic factor, which characterizes the dynamic loads on the nodes of technological equipment. Investigated the change in the coefficient of dynamism at different thicknesses of the wound strip.

Keywords: rolling mill, coiler, moment of elastic forces, coefficient of dynamism.

References

1. Hrechanyi O. M. Obgruntuvannya viboru tehnichnih parametriv gilyotinnih nozhits prokatnogo stanu / O. M. Hrechanyi // MetalurgIya : naukovI pratsI ZaporIzkoyi derzhavnoyi Inzhenernoyiakademiyi. – Zaporizhzhya : RVV ZDIA, 2017. – Vip. 2 (38). – S. 126-130.
2. Kozhevnikov S. N. Dinamika mashin s uprugimi zvenyami / S. N. Kozhevnikov. – Kiev: Akademiya nauk Ukrainskoy SSR, 1961. – 160 s.
3. Zhuk A. Ya. Osnovi naukovih doslIdzhen. Kniga 1. Teoretichni doslidzhennya: Navchalniy posibnik. / A. Ya. Zhuk, N. K. Zhelyabina, G. P. Malishev. – Zaporizhzhya:ZDIA, 2008. – 195 s.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.022

ПЕРСПЕКТИВИ ПОЛІПШЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВТОРИННИХ ЛИВАРНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ AL-SI З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОЦЕСУ МОДИФІКУВАННЯ

Доценко Ю.В., к.т.н., доц., доцент кафедри ливарного виробництва
Селівьорстов В.Ю., д.т.н., проф., професор кафедри ливарного виробництва,
Насонов Д.М., студент групи МЛ01-17 кафедри ливарного виробництва,
Насонов М.М., студент групи МЛ02-17 кафедри ливарного виробництва

Національна металургійна академія України, м.Дніпро

Вторинні сплави системи алюміній - кремній (силуміни) служать основою багатьох алюмінієвих композицій, що широко вживаються як конструкційні матеріали для фасонного лиття в авіабудуванні, будівництві, транспорті та інших галузях промисловості. Це пов’язано, в тому числі, з можливістю і економічною доцільністю використання в шихті повернення власного виробництва, а також використання таких сплавів в якості заміни первинних. Однак, механічні властивості вторинних сплавів, зазвичай, поступаються за своїм рівнем первинним сплавам, що обумовлено, насамперед, «погіршенням» їхнього хімічного складу та газовмісту. Тому розробка технологічних мір щодо поліпшення якості вторинних алюмінієвих ливарних сплавів для отримання якісних литих заготовок представляється актуальною задачею.

У зв'язку зі структурними особливостями литих сплавів - грубими крихкими включеннями кремнію і інтерметалевих фаз – міцнісні характеристики силумінів невисокі, особливо низька пластичність. Для поліпшення структури і механічних властивостей ливарних промислових сплавів алюмінію регулюють режими плавки і лиття, умови кристалізації виливків (лиття в піщані і металеві форми, під тиском і т.д.). Але найбільш дієвим чинником, що визначає сприятливе структуроутворення силумінів, залишається модифікування, тобто подрібнення структури за рахунок введення в розплав перед його заливкою малих добавок модифікуючих елементів.

Для виробництва виливків з силумінів найбільший інтерес представляють модифікатори, що впливають на розміри первинного зерна і форму включень евтектичного кремнію. Для модифікування зерен αA1-твердого розчину

(основи сплаву), перш за все, слід використовувати елементи перехідних груп. Чим більше вони мають недобудованих оболонок d і f, тим сильніше ефект модифікування. При взаємодії з алюмінієм елементи-модифікатори утворюють тугоплавкі інтерметаліди ($TiAl_3$; $ZrAl_3$; TiB_2 і ін.), що мають однотипні кристалічні решітки і розмірну відповідність їх параметрів в деяких кріcталлографічних площинах з гратами αA1 - твердих розчинів. У розплавах з'являється багато центрів кристалізації, що обумовлює подрібнення зерна у виливках. Значне зменшення розмірів зерна в сплавах алюмінію одержують сумісним введенням титану і бору у вигляді потрійної лігатури Al-Ti-B (Ti/B = 5/1). Центри кріcталізації - частинки сполуки TiB_2 по 2-6 мкм. Для введення титану і бору використовують лігатуру A1-Ti-B (1%B; 5%Ti), препарат зерноліт (%: $55K_2TiF_6 + 3K_2SiF_6 + 15C_2Cl_6$) або флюс, що містить фторборат і фтортітанат калія (%: 35NaCl; 35KC1; $20K_2TiF_6$; $10KBF_4$). Найбільший ступінь засвоєння титана і бору - при використанні флюсу, який разом з тим, що модифікує надає і рафінучу дію. Добрі результати дає сумісне модифікування цирконієм, титаном і бором [1-5].

Ніобій також може бути використаний як модифікатор у вигляді лігатури A1-10%Nb або солі K_2NbF_7. Зародки кристалів $NbA1_3$, стабільні в алюмінієвому розплаві. Модифікування лігатурою A1-10%Nb ефективніше, а час витримки розплаву в печі після модифікування збільшується (в порівнянні з сіллю K_2NbF_7).

Класичний модифікатор евтектики в силумінах - натрій. Якщо його модифікуюча дія визнається всіма, то вплив інших елементів викликає розбіжності. За різними даними [4, 5] ефективними модифікаторами евтектики A1-Si є %: 2,0 K; 3,5 Bi; 1,5 Pb; 7,0 Cd; 1,5 Sb; 1,0 Ca; 1,0 Li; 3,0 Mg; 0,7 Cr; 1,0 Mn; < 0,3 Ni; 0,728 P; 0,08-0,14 As; 0,765 Sc; 0,07 Zn; 0,07 S; 0,082 Bi; 0,082 In. Натрій як модифікатор має істотні недоліки: небезпека отримання не повністю модифікованої або перемодіфікованої структури, підвищення газовмісту, зменшенням рідкотекучесті, розвиток усадкової шпаристості, втрата модифікуючого ефекту після рафінування, фільтрації, вакуумування, швидке вигорання, що вимагає відновлення модифікування через кожні 30 хв. Остання обставина особливо несприятлива для серійного і масового виробництва литва

при розливанні з роздаточних печей, в яких оброблений натрієвими флюсами розплав забезпечує повністю модифіковану структуру лише в початковий період розливання. У зв'язку з цим, була досліджена можливість заміни натрію і його сполук іншими модифікаторами [5]. Були досліджені можливості застосування стронцію як модифікатора алюмінієво-кремнієвих сплавів в промисловості. Його переваги перед натрієм пов'язані, перш за все, з тривалішим збереженням модифікуючого ефекту, зокрема, після переплавів. Оптимальна концентрація стронцію ~ 0,04%, температура модифікування 750-770°С [5]. Проте, як показали дослідження, є ряд обмежень його широкому застосуванню. Введення стронцію в металевому вигляді утруднене із-за самозагорання, токсичності пари, необхідності підвищення температури розплаву, що збільшує його газопоглинання. Крім того, висока вартість чистого стронцію також обмежує застосування цього матеріалу.

Інший визнаний модифікатор тривалої дії - сурма (~0,2%) [5]. Модифікуючий ефект при її введенні зберігається до 4 годин, але повністю знімається у присутності натрію. Збільшувати вміст сурми в силумінах, що містять Mg > 0,22 % недоцільно, оскільки в них утворюється крихка фаза Mg_3Sb_2. При модифікуванні силумінів сурмою підвищується щільність виливків, що істотно покращує їх пластичність і міцнісні властивості, особливо при підвищених температурах. Ці добавки не приводять до газової шпаристості навіть при литті з малими швидкостями твердіння (масивні виливки в піщані форми). Структура, а отже, і властивості виливків менш чутливі до умов охолодження, що вельми важливо для деталей складної конфігурації.

При модифікуванні сурмою і вісмутом не утворюються дендрити кремнію кораловидної форми, в чому принципова відмінність їх модифікуючої дії від натрію і стронцію. Але, в той же час, добавки сурми можуть викликати укрупнення зерна твердого розчину алюмінію при литті, що призводить до зниження пластичності і міцності сплавів, крім того, концентрація сурми, що забезпечує модифікуючий ефект, не відповідає концентрації, що забезпечує максимальну щільність сплаву.

За сучасними уявленнями будова металевого розплаву не є гомогенною. У деякому інтервалі температур повного змішування атомів не відбувається, а

виникають мікрообласті із структурою ближнього порядку, характерною для кристалічної фази. Ці утворення називають по-різному: атомними угрупуваннями, скупченнями, згустками, острівцями, комплексами атомів, кластерами і т.д. Їх щільність і розміри залежать від стану розплаву. Із збільшенням ступеня перегріву вони дисоціюють, наближаючись до однорідної суміші різнорідних атомів. Але в передкристалізаційний період і в процесі кристалізації існуючі в розплаві атомні угрупування служать ініціаторами зародження однойменних кристалів. У евтектичному розплаві Al-Si такими підготовчими до кристалізації атомними скупченнями передбачаються кластери кремнію, що «кристалізуються», із структурою, близькою до структури кристала або гетерофазні комплекси атомів кремнію (ГФКА Si), на базі яких і відбувається утворення кристалів кремнію.

У останнє десятиліття все більше застосування в якості модифікаторів ливарних сплавів одержують ультрадисперсні порошки хімічних сполук (нанопорошки), які виконують роль додаткових центрів кристалізації при первинній кристалізації.

У роботі [6] досліджували можливість застосування комплексного модифікатора системи Al-Sr-Ti-B у вигляді нанопорошків, одержаних з лігатури цієї системи методом електроерозійного диспергування у вуглецевих середовищах. Механічні властивості сплаву, модифікованого комплексним модифікатором Al-Sr-Ti-B, на основі нанопорошку виявилися вищими, ніж у сплаву, модифікованого звичайним модифікатором Al-Sr-Ti-B. Значення межі міцності і відносного подовження сплаву, обробленого модифікатором на основі нанопорошку склало для зразків відлитих в кокіль 380÷400 МПа і 3÷6%, а для вирізаних з виливків 280÷320 МПа і 3÷7%. Показники міцності і пластичності зберігалися при тривалому вистоюванні розплаву (до 2 г). Також перспективним представляється використання в якості модифікатора ультрадисперсного порошку карбіду кремнію, що може виступати в ролі зародку для формування додаткових центрів кристалізації в розплаві.

Література

1. Ефимов, В.А. Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-65.

2. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с.

3. Калиниченко, А.С. Управляемоенаправленноезатвердеваниеилазернаяобработка: теория и практика [Текст] / А.С. Калиниченко, Г.В. Бергман - Мн.: Технопринт, 2001. - 367 с.

4. Закономерности формирования структуры слитков алюминиевых сплавов при непрерывном литье с ультразвуковой обработкой кристаллизующегося расплава [Текст] / В.И. Добаткин, Г.И. Эскин, С.И. Боровикова, Ю.Г. Гольдер. - М.: Наука - 1976. - С. 151-161.

5. Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст]/Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. – 272 с.

6. Возможностьиспользованиякомплексногомодификаторадлительногодействияна основе нанопорошков длительного действия для повышения качества отливок из алюминиевых сплавов [Текст]: Новые материалы и технологии в машиностроении-2005. Сб. трудов IV Международной научно-технической конференции. / Брянск: БГИТА - 2005. – С. 17 –23.

PROSPECTS FOR IMPROVING THE PROPERTIES OF SECONDARY FOUNDRY ALLOYS OF THE AL-SI SYSTEM USING THE MODIFICATION PROCESS

Dotsenko Yuri, Seliverstov Vadim, Nasonov Denis, Nasonov Nikita

Abstract. The results of analytical studies of the use of modern modifiers for secondary aluminum alloys, which affect the structure of the metal of castings and allow to obtain the necessary physical and mechanical characteristics. It is shown that modifiers influencing the size of the primary grain and the shape of eutectic silicon inclusions are of the greatest interest for the production of castings from secondary silumins. It is shown that according to modern ideas the structure of the metal melt is not homogeneous. In some temperature range, complete mixing of atoms does not occur, and microregions with a short-range structure characteristic of the crystalline phase appear. These formations are called differently: atomic groups, clusters, clots, islands, complexes of atoms, clusters, etc. In the last decade, ultrafine powders of chemical compounds (nanopowders), which act as additional crystallization centers during primary crystallization, have become increasingly used as modifiers of cast alloys.

Keywords: castings, secondary aluminum alloys, modification, crystallization

References

1. Efimov, V.A. Prospects for the development of work on the use of external influences on liquid and crystallizing melt [Text] / V.A. Efimov. - Kiev: Publishing house. IPL AN UkrSSR. - 1983. - S. 3-65.

2. Solidification of a metal melt under external influences [Text] /
A.N. Smirnov, V.L. Pilyushenko, S.V. Momot, V.N. Amitan. - D .: Publishing house "VIK" - 2002. - 169 p.

3. Kalinichenko, A.S. Controlled directional solidification and laser treatment: theory and practice [Text] / A.S. Kalinichenko, G.V. Bergman - Minsk: Technoprint, 2001 .-- 367 p.

4. Regularities of the formation of the structure of aluminum alloy ingots during continuous casting with ultrasonic treatment of crystallizing melt [Text] / V.I. Dobatkin, G.I. Eskin, S.I. Borovikova, Yu.G. Golder. - M .: Science - 1976 .-- S. 151-161.

5. Nemenenok, B.M. Theory and practice of complex modification of silumin [Text] / B.M. Nemenenok - Mn. Technoprint, 1999 .-- 272 p.

6. Possibility of using a complex long-acting modifier based on long-acting nanopowders to improve the quality of castings from aluminum alloys [Text]: New materials and technologies in mechanical engineering-2005. Sat. Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference. / Bryansk: BGITA - 2005. - pp. 17–23.

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ДЕФЕКТНОЇ ДІЛЯНКИ НАФТОПРОВОДУ

Івасів В.М., д.т.н., професор кафедри нафтогазових машин та обладнання,
Артим В.І., д.т.н., професор кафедри будівництва та енергоефективних споруд
Дейнега Р.О., асистент кафедри нафтогазових машин та обладнання,
Буй В.В., завідувач лабораторіями кафедри інженерної і комп'ютерної графіки
Фафлей О.Я., асистент кафедри будівництва та енергоефективних споруд
Михайлюк В.В., канд. техн. наук, доцент кафедри нафтогазових машин та обладнання

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
м. Івано-Франківськ, Україна

Під час тривалої експлуатації нафтопроводів у стінках труб можуть виникати такі дефекти: тріщини, корозійні та ерозійні пошкодження поверхні, подряпини, розшарування, дефекти зварних швів, вм'ятини, гофри. Вони знижують термін експлуатації нафтопроводів, що є проблемою, оскільки їх експлуатаційна надійність є важливою для енергетичної безпеки нашої держави. Більшість нафтопроводів в Україні відпрацювали 45-50 років. За такі проміжки часу відбувається також деградація властивостей матеріалу труб внаслідок корозійних та ерозійних процесів, що підсилюються впливом змінних у часі навантажень [1, 2].

На нафтопроводі "Дружба" ПАТ "Укртранснафта" під час діагностування на одній із ділянок було виявлено мікротріщини, корозійні та ерозійні дефекти. Ремонт цієї частини було проведено з допомогою бандажу. Проте, в подальшому, цю відремонтовано ділянку було замінено новою трубою. Постало питання необхідності проведення експериментальних досліджень для визначення впливу роботи бандажу на міцність трубопроводу після ремонту.

Провівши натурні випробування дефектної ділянки труби (матеріал – сталь 17ГС, діаметр 720 мм, товщина стінки 9 мм) зміцненої бандажами з аналогічного матеріалу зі допомогою установки УИ1/200 ЦК було визначено тиск її руйнування [3], величина якого склала 14 МПа. Під час випробовувань для визначення деформацій труби застосовували тензометрування.

Зруйнована труба після випробовувань наведена на рис. 1.

Рисунок 1 – Зруйнована труба

Рисунок 2 – Місце руйнування труби

Провівши порівняння величин напружень отриманих експериментально та аналітично, встановлено, що застосування бандажів на дефектних ділянках трубопроводу є ефективним засобом для подовження терміну їх експлуатації.

Проте, слід зазначити, що кожен дефект труби по різному впливає на її довговічність при дії робочих навантажень та середовищ.

Для більш точного та ґрунтовного аналізу надійності та довговічності нафтопроводів, накопичення та узагальнення результатів з метою удосконалення нормативних вимог до надійності нафтопроводів під час їх тривалої експлуатації проведено дослідження дефектних частин (місце розриву) вирізаних з трубопроводу (рис. 2). На ділянках 2 та 3 досліджуваної труби спостерігаються дефекти, що і стали джерелом руйнування.

Для подальшого проведення експериментальних досліджень було вирізано зразки з локальними дефектами на внутрішній поверхні.

З метою визначення профілю дефекту застосовано розроблений стенд (рис. 3), що дає змогу проводити сканування зразка та виводити результати на ПК.

Оцінка залишкового ресурсу проводиться за допомогою аналізу натурних кінетичних кривих пошкоджуваності небезпечних ділянок нафтопроводу [4] за рахунок експериментальних досліджень моделей - “вирізок” (рис. 4).

За отриманими результатами з використанням залежності наведеній у джерелі [4] побудовано функції кривих втоми трубної сталі марки 17ГС для зразків з різними параметрами дефектів (рис. 5).

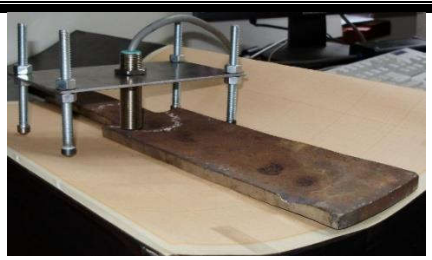
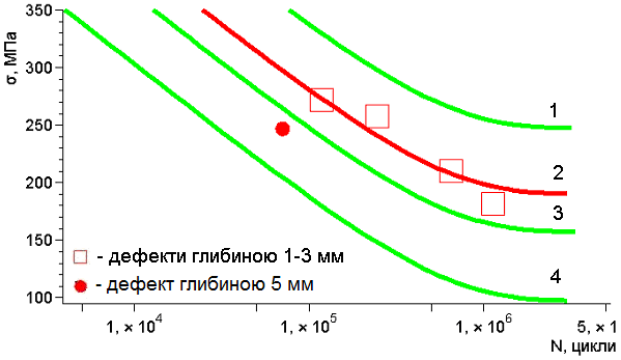


Рисунок 3 – Стенд для сканування дефектів на внутрішній поверхні зразка

Рисунок 4 – Зруйновані зразки



1 – медіанна крива втоми труби без дефектів; 2 – медіанна крива втоми дослідних зразків з дефектами 1-3 мм; 3 – медіанна крива втоми труби з дефектом; 4 – крива втоми труби з дефектом із ймовірністю неруйнування 0,9.

Рисунок 5 – Криві втоми дослідних зразків та труб

Отже, за результатом проведених досліджень на моделях - “вирізках” було зареєстровано корозійні дефекти з глибиною до 5 мм, що складає близько 55% втрати металу по товщині стінки. Встановлено, що руйнування труби не відбулося по цих дефектах, а по дефекті типу «тріщина». За допомогою розробленого стенду для сканування дефектів на внутрішній поверхні зразка визначено профіль дефекту моделі – "вирізки". За результатами випробувань моделей - “вирізок» побудовано ймовірнісні криві втоми. Отримано значення ймовірності неруйнування.

Література

1. Похмурський В.І. Зміна механічних та електрохімічних характеристик сталі газопроводів після тривалої експлуатації / В.І.Похмурський, Є.І.Крижанівський // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2009. – № 3. – С. 5-10.

2. Оцінювання роботоздатності сталі 17Г1С після тривалої експлуатації на газогоні / О.Т.Цирульник, М.І.Греділь, О.З.Студент, Г.М.Никифорчин // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Т.13. – № 4. – С. 49-55.

3. Дейнега Р.О. Експериментальна оцінка підсилюючої здатності зварних муфт пошкоджених магістральних нафтопроводів /Дейнега Артим// Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №3(40). – С. 70-74.

4. Бирилло И.Н., Яковлев А.Я. Оценка прочностного ресурса газопроводных труб с коррозионными повреждениями - Под общей редакцией докт. техн. наук, профессора И.Ю. Быкова – М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2008 год.

ОГЛЯД СПОСОБІВ РЕМОНТУ ПОШКОДЖЕНИХ ДІЛЯНОК ТРУБОПРОВОДІВ

[1]Івасів В.М., д.т.н., професор кафедри нафтогазових машин та обладнання,
[1]Дейнега Р.О., асистент кафедри нафтогазових машин та обладнання,
[1]Фафлей О.Я., асистент кафедри будівництва та енергоефективних споруд
[1]Михайлюк В.В., канд. техн. наук, доцент кафедри
нафтогазових машин та обладнання
[2]Кравчук Р.С. доцент УКД

[1]Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
[2]Університет Короля Данила
м. Івано-Франківськ, Україна

Сьогодні в Україні експлуатується тисячі кілометрів сталевих трубопроводів (магістральних, промислових, міських, міжміських, внутрішньозаводських). Вони призначені для транспортування нафти, газу, нафтопродуктів, води, аміаку тощо. Багато з них відпрацювали більше 40 років.

Агресивний вплив продуктів транспортування, зовнішні короткочасні та тривалі силові впливи у поєднанні з навколишнім середовищем часто спричиняють утворення дефектів, таких як втрата металу на поверхні магістральних трубопроводів, вм'ятини, подряпини, каверни та тощо. Всі ці дефекти у процесі експлуатації приведуть до зародження та росту втомних тріщин, що спричиняють руйнування трубопроводу. Це неминуче вимагає ремонту їх дефектних ділянок або переводу трубопроводу на новий, більш помірний режим роботи.

Сьогодні застосовують багато різноманітних способів ремонту пошкоджених ділянок трубопроводів, які спрямовані на подовження його терміну експлуатації.

В певній мірі будь-який спосіб ремонту дефектної ділянки трубопроводу повинен зменшити вплив на неї робочих навантажень та середовищ. Тому розглядаються способи ремонту трубопроводу та вплив на дефектну ділянку, що містить тріщини, зовнішнього ремонтного покриття та режиму роботи трубопроводу протягом одного року.

Під час експлуатації трубопроводів на стінках труб можуть бути такі дефекти: тріщини, корозійні та ерозійні пошкодження поверхні, подряпини,

розшарування, дефекти зварних швів, вм'ятини, гофри. Для зменшення їх впливу на міцність та довговічність труб як закордоном так і в Україні застосовують багато різноманітних способів:

– встановлення сталевих муфт;

– встановлення пластикових муфт [1];

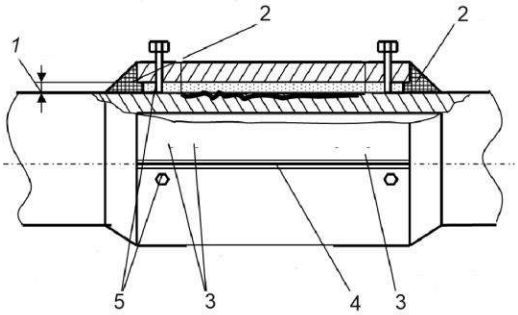
– намотування пружної композиційної стрічки, так званої «Clock Spring» [2] (рис. 1);

Рисунок 1 – Монтажмуфти ClockSpring

Рисунок 2 – СклопластиковамуфтаРСМ

– застосування обтискної склопластикової муфти РСМ (рис. 2);

– використання сталевих муфт (рис. 3), у яких кільцевий зазор між муфтою та трубою заповнюється композитним матеріалом (епоксидною або поліестеровою смолою) [3];



1 – кільцевий зазор; 2 – торцевий герметик; 3 – контрольні отвори; 4 – зварний шов; 5 – центрувальніболти

Рисунок 3 – Композитнамуфта BritishGas

Рисунок 4 – МуфтаПКМТ

– застосування підсилюючої композиційної муфти (ПКМТ), яка обтискає зовнішню поверхню труби із заданим зусиллям, яке створюється за допомогою болтових з’єднань (рис. 4);

– використання зварювальних і споріднених технологій (для ремонту без зупинки роботи трубопроводу) [4, 5].

Останні способи ремонту дефектних ділянок трубопроводу застосовується найчастіше. Вони поділяються на:

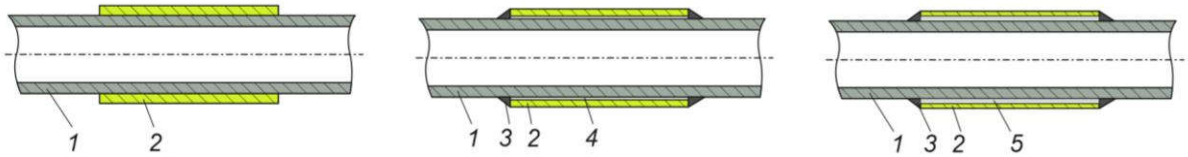
– безвогневі – засновані на застосуванні склопластикових оболонок, бандажуванні труб за допомогою сталевих кілець, дротів або стрічки;

– вогневі – застосовується дугове зварювання або наплавлення металу. За допомогою зварювання проводиться приварка муфт (рис. 5) чи латок. Наплавленням металу відновлюється стінка трубопроводу.

а) б)

а – муфта з не привареними кінцями бандажу;
б – муфта з привареними кінцями бандажу; 1 – труба; 2 – бандаж
Рисунок 5 – Охоплюючі зварні муфти

Також часто застосовуються зварні муфти, наведені на рис. 6.



а) б) в)

а) повноохоплююча ремонтна муфта типу "А";
б) ремонтна муфта типу "В" (з технологічним зазором);
в) ремонтна муфта типу "В" з порожниною, заповненою антикорозійною рідиною;
1 – труба; 2 – муфта; 3 – зварний шов;
4 – технологічний зазор; 5 – антикорозійна рідина
Рисунок 6 – Посилюючі муфтові конструкції

Висновки

Як бачимо, існує доволі багато різноманітних способів ремонту трубопроводів. Кожен із них повинен в певній мірі зменшити вплив на дефекту

ділянку трубопроводу робочих навантажень та середовищ. Вибір того чи іншого способу ремонту залежить від різноманітних факторів, серед яких вартість ремонту та необхідний термін експлуатації.

Література

1. Зандберг А.С., Тарлинский В.Д. Механизм перераспределения нагрузок при ремонте трубопроводов с применением пластиковых муфт // Сварочное производство. -2000. - № 12. - С.11-18.

2. Reissner E. Note on the effect of transverse shear deformation in laminated anisotropic plate // Comput. Meth. Appl. Mech. and Eng., 1979. 20, №2. p. 203-209.

3. Хачалов Г.Б. Расчет ортотропных составных пластинок // Изв. вузов. Строительство. - 1992. - №4. - С.29-32.

4. Кордер И. Ремонт магистральных нефтепроводов муфтами, заполненными эпоксидной смолой, как надежный, наилучший и дешевый метод (B.G.E.858). 58-ой осенний симпозиум IGE 24-25 ноября 1992г., Лондон.

5. Эксплуатация магистральных нефтепроводов. Справочное издание / Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. -Тюмень: ТюмГНГУ, 2000. С. 18-19.

STUDY OF METAL HOMOGENIZATION IN TEEMING LADLES WITH USE OF VARIOUS BOTTOM BLOWING DEVICES FOR OXIDATIVE BLOWING

Molchanov L.[1], PhD; Arendach N.[2]; Synehin Y.[2], PhD, Associate Professor

[1]Institute of Ferrous Metallurgy named after Z.I. Nekrasov,
National Academy of Sciences of Ukraine

[2]National Metallurgical Academy of Ukraine

Ultra Low Carbon (ULC) steels have good formability and a superior surface quality. These advantages provide their use as automobile panels since the latter half of the 1980s. This automobile panel material is normally produced by cold rolling and annealing after hot rolling, in which hot rolling is usually finished in the austenite region at the elevated temperature [1].

There are 3 technological routes for the production of ULC steel: 1) smelting of crude steel in an EAF followed by refining in AOD converter; 2) smelting of crude steel in BOF or LBE-converter followed by processing in RH-OB, VOD or VD-OB and 3) LWS-process [2-4]. The third route is not used outside of France [5]. Both technological routes significantly increase the cost of steel through application of additional units for deep decarburization of steel below a critical concentration of 0.03%. A cheaper alternative to the above-mentioned technologies is smelting of crude steel in BOF to carbon content of 0.03%, followed by oxidative blowing in a teeming ladle with oxygen-argon mixture [6].

Important indicators for the implementation of the proposed technology are the durability of the blowing devices and the mixing time of the metal in the ladle. The high durability of blowing devices can be achieved by a rational blowing mode and gases flow rates. The mixing time depends of many factors, including the design of the blowing devices, their location, the blowing mode, etc. [6].

It has been carried out number of studies aimed to determine the optimal location of the blowing devices and blowing modes [7-13]. But the effect of pores location and type of porosity in the blowing devices on the averaging mixing time still remains unexplored.

The aim of the study is to determine the effect of pores location in the blowing devices on the mixing time.

Estimation of mixing time during physical modeling on water models is possible in three ways: temperature, optical, and chemical (conductive) [15]. Since the temperature method has a high inertness, and the results obtained with the conductive method can differ depending on the location of the electrodes in the ladle model, an optical method has been chosen to estimate the mixing time, which has a sufficiently high accuracy and visibility.

The object of the study was a unit cell mixing of the teeming ladle of 250 t capacity, in which the distribution of the additive occurs. According to the principles of similarity theory, the gas flow rate can be described by the dimensionless volumetric flow rate [13] and the mixing time by the modified homochromous number [6]

$$Q = \frac{q}{\sqrt{g \cdot d^5}}, \quad (1)$$

$$Ho' = \frac{g \cdot \tau^2}{d}, \quad (2)$$

where q – gas flow rate; g – acceleration of gravity; d –diameter of porous plug; τ – mixing time.

For the experiment, an experimental facility was assembled on a 1:8 scale. As a tracer imitating chemical heterogeneity of the melt, we used a 30% aqueous solution of $KMnO_4$, in an amount of 100 ml. A tracer was poured at the top of the model. The completion of melt homogenization was judged by approximating the color intensity of the solution to the color of a 3.5% $KMnO_4$ aqueous solution installed in a transparent container on the other side of the transparent model.

Using the video, the time was estimated for which the entire volume of liquid reached a uniform color, the same as the color of the control sample. Figure shows a comparison of the average tracer mixing time in water. As can be seen from the comparison, blowing devices with non-directional porosity provide the shortest mixing time. This is probably due to the larger total specific area of the bubbles that form on the surface of the blowing device with non-oriented porosity.

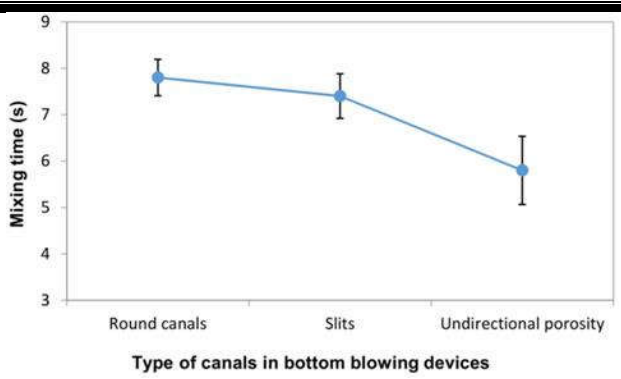


Figure 3 – Comparison of mixing time when using porous devices of various designs

At the same time, plugs with non-oriented porosity have two significant disadvantages [16]. The first is the rapid wear of the working part of the blowing devices in contact with the metal. The second disadvantage is their low throughput. The last one is eliminated when using plugs with slot porosity. However, when using such plugs, there is a risk of deep infiltration of liquid metal into the slots during an uneven argon supply.

The aim of further research is the development of the design of the mixing chamber of the blowing device, in which oxygen and argon are pre-mixed before being blown into the liquid metal.

References

1. Ultra Low Carbon Interstitial Free Steels [Electronic resource] – Resource access mode: https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&LN=ES&NM=449.

2. Yu Huang, Guo-guang Cheng, Qiming Wang, Shi-jian Li & Wei-xing Dai (2019). Mathematical model for decarburization of ultra-low carbon steel during RH treatment, Ironmaking & Steelmaking, doi: 10.1080/03019233.2019.1567999.

3. Wimer H.E. (1998). Obzor tekhnologiy i agregatov kovshovoy metallurgii (Overview of Ladle Metallurgy Technologies and Units). Чёрные металлы (Ferrous Metals), No. 6, pp. 26-28 (in Russian).

4. Brachet D., Gatellier C., Zbaczyniak Y., Nadif M., Chapellier Ph., Leclercq A. (1993). Metallurgical comparison of various production routes for low and ultra-low carbon steels, Revue de Metallurgie, Vol. 90, No. 1, pp. 77-83, doi: 10.1051/metal/199390010077

5. Sujay Kumar Dutta, Yakshil B. Chokshi (2020). Basic Concepts of Iron and Steel Making. Singapore, Springer, doi: 10.1007/978-981-15-2437-0

6. Molchanov L., Sheremeta N., Synehin Y. (2018). Study of efficiency of liquid steel homogenization with blowing through blocks of various designs. Theory and Practice of Metallurgy, doi: 10.34185/tpm.6.2018.10

7. Haiyan Tang, Jinwen Liu, Shuo Zhang, Xiaochen Guo, Jiaquan Zhang (2019). A novel dual plugs gas blowing mode for efficient ladle metallurgy, Ironmaking & Steelmaking, doi: 10.1080/03019233.2019.1576270

8. Ramasetti E., Visuri V.-V., Sulasalmi P., Palovaara T., Gupta A. K., Fabritius T. (2019). Physical and CFD Modeling of the Effect of Top Layer Properties on the Formation of Open-Eye in Gas-Stirred Ladles With Single and Dual-Plugs, Steel Research International, doi:10.1002/srin.201900088

9. Liu H., Qi Z., Xu M. (2011). Numerical simulation of fluid flow and interfacial behavior in three-phase argon-stirred ladles with one plug and dual plugs, Steel Research International, doi:10.1002/srin.201000164

10. Liu W., Tang H., Yang S., Wang M., Li J., Liu Q., Liu J. (2018). Numerical simulation of slag eye formation and slag entrapment in a bottom-blown argon-stirred ladle, Metallurgical and Materials Transactions B, doi: 10.1007/s11663-018-1308-6

11. Chen Y., Pang Y., Zhang X. (2011). Numerical study on effects of molten steel flow about different blowing argon position in ladle furnace, Advanced Materials Research, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.146-147.1031

12. Hai-yan Tang, Jingshe li, Cui-hong Xie, Shufeng Yang, Kai-ming Sun, De-song Wen (2009). Rational argon stirring for a 150-t ladle furnace, International Journal of Minerals Metallurgy and Materials B, doi: 10.1016/S1674-4799(09)60068-6

13. Krishnapisharody K, Irons G.A. (2006). Modeling of slag eye formation over a metal bath due to gas bubbling, International Journal of Minerals Metallurgy and Materials B, doi:10.1007/s11663-006-0058-z

14. Mandal J, Patil S., Madan M., Mazumdar D. (2005). Mixing time and correlation for ladles stirred with dual porous plugs, Metallurgical and Materials Transactions B, doi:10.1007/s11663-005-0039-7

15. Yeronko S.P., Bykovskykh S.V. (1998). Fizychne modelyuvannya protsesiv pozapichnoyi obrobky ta rozlyvannya stali (Physical modeling of the processes of ladle processing and casting of steel). Kyiv, Tekhnika (in Ukrainian).

16. Egorov, I.V., Matvienko, A.S. (2011). Blow plugs from OOO Keralit. Refractories and Industrial Ceramic, Vol. 51, No. 6, pp. 411-415, doi: 10.1007/s11148-011-9339-4

ДОСЛІДЖЕННЯ НА ФІЗИЧНІЙ МОДЕЛІ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВПЛИВУ ЗАПИЛЕНОСТІ СЕРЕДОВИЩА НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ГАЗОВОГО, ПАЛАЮЧОГО ФАКЕЛУ

Молчанов Л.С., к.т.н.[1], Голуб Т. С., к.т.н. [1],
Синегін Є.В., к.т.н.[2], Семикін С. І., к.т.н., с.н.с. [1]

[1]Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України, Україна;
[2]Національна металургійна академія України, Україна

Процес кисневого конвертування супроводжується виділенням значного обсягу газів, що містять в основному продукти реакцій окислення вуглецю [1]. При температурних і хімічних умовах конвертування ці процеси супроводжуються горінням з утворенням факела, зокрема, допалювання газів, що відходять, над горловиною конвертера. Реєстрація та аналіз характеристик цього показника може дати якісну інформацію про теплові і масообмінні процеси, що протікають в самому конвертері [2]. При цьому з конвертера виділяється значна кількість пилу різного складу і фракції в залежності від технологічних особливостей продувки, дослідження і урахування впливу якої необхідне для розуміння якісних характеристик факела, що формується над горловиною конвертера.

У роботі наведені результати дослідження на фізичної моделі, що імітує палаючий факел допалювання конвертерних газів в запиленому середовищі, шляхом введення твердих порошків різних речовин, на якісні показники горіння факела: візуальні і теплопередачу випромінюванням, як основного способу теплопередачі від полум'я. Досліджено подачу в палаючий факел порошків хлориду натрію, оксидів заліза (II), кремнію і алюмінію, чистих порошків заліза, кремнію та алюмінію, сажі і графіту. Було відзначено, що введення різних твердих, дрібнодисперсних компонентів в палаючий факел по різному відбивається на його видимих характеристиках. Так при вдування в факел порошків хлориду натрію, порошків заліза або оксиду заліза (II) відзначається значне збільшення як яскравості, так і видимої частини факела. Введення сажі або графіту в меншій мірі посилює прояв візуальних характеристик, а подача порошків оксидів кремнію, алюмінію і чистих порошків цих речовин практично не впливає на візуальні показники.

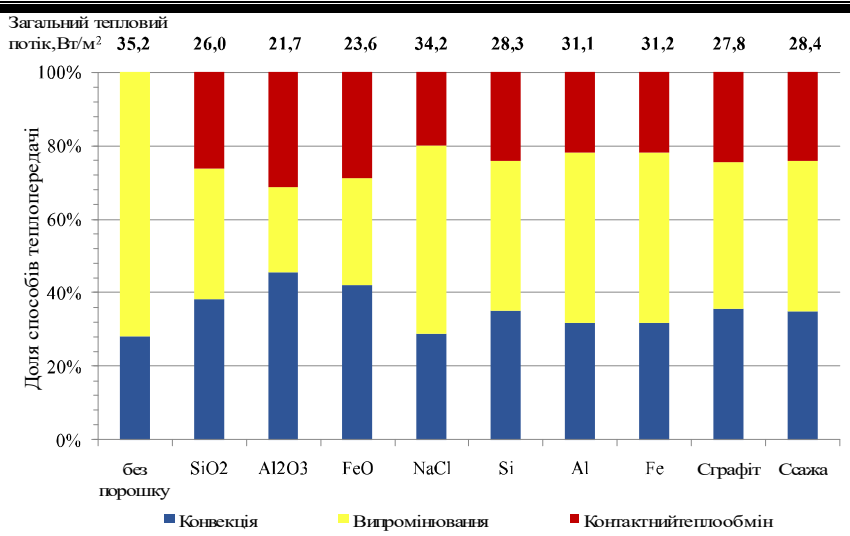


Рисунок 1 – Порівняннящільностітеплового потокувипромінюваннямпри вдуваннірізних порошків

При цьому встановлено, що введення різних компонентів в факел з фактичною температурою нижче, ніж температура факела, навіть при можливому візуальному збільшенні характеристик яскравості, які зокрема візуально спостерігаються при введенні хлориду натрію або порошку заліза, сприяють значному зниженню теплопередачі від факела випромінюванням і загальному зниженню теплопередачі від факела різними шляхами (рис.1). Це відбувається за рахунок відбору тепла факела на нагрів і згоряння частинок, що вводяться, а також, в даних дослідженнях,через охолодження потоку повітряним середовищем, що транспортує порошки.

Таким чином, проведені дослідження на фізичній моделі дозволили якісно дослідити вплив введення різних порошкових матеріалів на візуальні характеристики палаючого факелу і теплопередачу. Виявлено, що подача будь-якого твердого матеріалу з температурою значно нижчою за температуру факела дуже негативно відбивається на теплопередачі від факела випромінюванням навіть при можливому візуальному збільшенні показників яскравості та знижує загальний рівень теплопередачі від факела. Отже, для розуміння реально протікаючих в конвертері процесів допалювання газів, що відходять, (зокрема, при оцінці теплопередачі факела ванні) необхідно враховувати поточні умови горіння факела, які залежать від технологічних особливостей ведення плавки.

Література

1. Бигеев А. М. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали / А. М. Бигеев. - Челябинск: - Металлургия,1988.- 479 с.

2. АСУТП в конвертерном производстве: Учебник / А.Г.Величко, В.П.Иващенко, А.А.Верховская,В.И.Головко,А.Н.Селегей. – Днепропетровск:НМетАУ,2016. - 245 с.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.006

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ПИЛОПОДІБНОГО ПАЛИВА

Ступак Ю.О., к.т.н., доц.

Національна металургійна академія України

Вступ. Основу сучасної теорії горіння твердого палива, зокрема пилоподібного вугілля, складають результати численних наукових досліджень, здійснених ще в середині минулого століття (1946-1966 рр.) вітчизняними та зарубіжними фахівцями. Основу теорії склали результати робіт Г.Ф. Кнорре, О.С. Предводітелева, Л.М. Хітріна, Я.Б. Зельдовича, Д.А. Франк-Каменецького, Б.Д. Канцельсона, В.М. Третьякова, В.В. Померанцева, Б.В. Канторовича та багатьох інших вчених. Не зважаючи на сучасні тенденції щодо скорочення використання вуглецевого палива та переходу до відновлювальних (т.з. «зелених») джерел енергії, в усьому світі продовжуються дослідження, пов’язані з вдосконаленням існуючих теплоенергетичних установок та використанням альтернативних видів твердого палива, на кшталт відходів сільськогосподарського та інших виробництв. Спільним майже для всіх досліджень було і залишається забезпечення максимально ефективного (повного) згорання палива, в останні десятиліття – з мінімальним впливом на довкілля.

Приблизно з середини 60-х років минулого століття з метою економії коксу у виробництві чавуну почали використовувати т.зв. пиловугільне паливо (ПВП) з вугілля, що непридатне до коксування. ПВП виявилося настільки ефективним замінником коксу, що його витрату на доменних печах поступово довели до 100-150 кг на 1 т чавуну. Але подальше збільшення його витрати стримували декілька чинників. Одним з найсуттєвіших виявилося забезпечення повноти згорання часток вугілля у фурмених осередках доменної печі. Для вирішення проблеми що виникла металургами були залучені методи досліджень, які розроблені й використовуються енергетиками, оскільки і об’єкт досліджень – горіння поодиноких часток палива (або факелу), і кінцева їхня мета – забезпечення повного згорання, по суті співпадали. Дослідження, що були проведені і проводяться дотепер дозволяють отримати багато корисної

інформації щодо поведінки того чи іншого виду палива під час горіння, яку в подальшому використовують на практиці.

Основний матеріал. Основну увагу було приділено методам лабораторних досліджень горіння (газифікації) пилоподібного палива, виготовленого з вугілля або інших видів твердого палива, що містять вуглець (торф, деревина, біомаса тощо). Дослідженням були охоплені всі публікації (за останні 30 років), які є на поточний час у вільному доступі і які містять опис обладнання для моделювання процесу горіння пилоподібного палива та результати експериментів, проведених на цьому обладнанні. Метою дослідження був аналіз сучасних підходів до моделювання горіння ПВП, перш за все таких, які можуть надати інформацію для пошуку шляхів підвищення ефективності вдування вугілля (або паливних сумішей) у доменні печі. В тому числі – з точки зору забезпечення повного згорання (газифікації) часток палива в межах фурмених осередків.

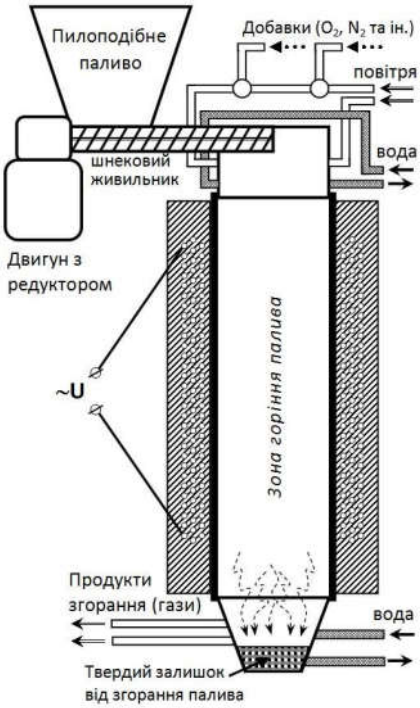
В енергетиці «якість» спалювання твердого пилоподібного палива в котлах та інших агрегатах може бути охарактеризована за допомогою двох величин - т.зв. «хімічного недопалу» (q_3) та «механічного недопалу» (q_4), що використовуються при складанні теплових балансів горіння. Їхній фізичний сенс згідно підручників та нормативних документів (наприклад [1]) такий. Хімічний недопал q_3 – це втрати тепла, яке можна було б отримати з горючих газів (CO, H_2, CH_4), що залишають процес, потрапляючи до продуктів згорання (димових газів). Обчислюється у % до потенційної теплоти палива (для твердого - нижча теплота згоряння робочої маси з урахуванням фізичного тепла власне палива). Відповідно q_4 – кількість тепла, що втрачається з горючими речовинами (недопал вуглецю та ін.), які потрапляють до шлаку, провалу та винесення. Для типових камерних топок з твердим та рідким шлаковидаленням значення q_3 і q_4 є табличними величинами, які можна знайти у відповідних довідниках. Теоретично, маючи необхідні вихідні дані, їх можна розраховувати для кожного конкретного випадку, але через велику кількість складових, що підлягають вимірюванню, такий підхід є досить громіздким і ненадійним, оскільки точно визначити об’єми димових газів, вагу недопалу,

провалу тощо є доволі складним завданням навіть в лабораторних умовах, не кажучи вже про промислові агрегати.

Враховуючи зазначене, в сучасних лабораторних дослідженнях горіння різних видів пилоподібного палива використовують інші методи, що підтвердили свою ефективність. Так, в доволі поширених дослідженнях горіння поодиноких часток достатньо ефективною виявилася високошвидкісна фото- та відеофіксація [2, 3 та ін.] всіх стадій горіння з подальшим визначенням відносної тривалості окремих стадій та інтерпретацією результатів з використанням математичних моделей та сучасних методів лабораторних досліджень. Серед таких методів у сучасних дослідженнях горіння палива використовуються наступні: термогравіметрія в поєднанні з мас-спектрометрією (TG-MS), інфрачервона Фур'є-спектроскопія (FT-IR) та рамановська спектроскопія (*Raman spectroscopy*), скануюча електронна (SEM) і просвічуюча електронна мікроскопія високої роздільної здатності (HRTEM), рентгеноскопія (X-ray Diffraction або XRD) та деякі інші. В залежності від типу палива, умов експерименту і поставлених цілей перелічені методи часто комбінують для отримання більш достовірних результатів.

В сучасних українських реаліях, нажаль, не завжди є можливість використовувати названі методи і відповідне (не дешеве!) обладнання. Але це далеко не завжди є необхідним. Аналіз існуючих методик лабораторних досліджень горіння як поодиноких часток ПВП, так і пиловугільного факелу, починаючи з робіт В.М. Третьякова, Б.Д. Канцельсона, В.І. Бабія та ін. (1947-1987 рр.) і закінчуючи чисельними сучасними (2010-2020 рр.), а також власний досвід автора, дозволяють стверджувати наступне. Для вирішення багатьох практичних завдань, таких як порівняльна оцінка різних видів ПВП, розробка методів оптимізації та інтенсифікації спалювання будь якого твердого пилоподібного палива тощо цілком достатньо більш-менш відпрацьованої та надійної (щодо відтворюваності результатів) методики, яка б включала газову хроматографію, термогравіметрію і технічний аналіз зразків палива до та після його згорання. Достатньо поширеною методикою, що може відповідати вказаним критеріям є спосіб дослідження горіння потоку пилоподібного палива на установках типу «вертикальна трубчаста піч» (англ. - drop tube furnace). Подібні установки зазвичай включають електричну нагрівальну піч з реакційною камерою у вигляді вертикально встановленої труби з вогнетривкого матеріалу (рисунок).

У верхній частині встановлюють живильник, який має забезпечувати рівномірну подачу палива до реакційного простору. Окрім введення палива конструкція вузла вводу зазвичай забезпечує одночасну подачу окислювача і охолодження елементів конструкції для запобігання передчасного нагріву палива та інших негативних наслідків. Нижня частина установки повинна забезпечувати відвід продуктів згорання, мати достатньо ефективну систему припинення горіння часток палива та їх накопичення для подальшого дослідження.



Рисунок– Схемабудовиустановки типу«вертикальнатрубчастапіч»для дослідженьгоріння пилоподібногопалива

Результати проведених за участі автора досліджень на подібній установці [4, 5], а також аналіз результатів експериментів на аналогічному обладнанні інших дослідників [6-8 та ін.] свідчать, що для отримання надійних результатів щодо згорання палива важливими моментами є наступні:

- реакційний простір печі, в якому відбувається горіння, повинний мати чітко виражену і незмінну з плином часу ізотермічну зону потрібної (за умовами моделювання процесу горіння) довжини;

- важливими є технічні характеристики живильника, для якого обов’язковими параметрами є забезпечення точності дозування, стабільності та незмінності на протязі всього експерименту (серії експериментів) витрати палива та його співвідношення з окислювачем (повітря, кисень тощо);

- не можна допускати продовження процесу горіння (тління) залишків палива, що досягли нижньої частини печі, а також потрапляння дрібнодисперсних частинок золи до продуктів згорання;

- слід забезпечити достовірний технічний аналіз вихідного палива, а також залишку після його горіння (наприклад згідно [9, 10]).

Виконання цих та деяких інших умов (надійна робота приладів для контролю температури, витрати повітря, домішок тощо) – достатньо складне технічне завдання, але є запорукою отримання більш-менш прийнятних даних, за якими можна оцінювати повноту згорання (газифікації) палива, порівнювати одне паливо з іншим за різними критеріями, розраховувати показники для оцінки кінетичних параметрів процесу і ступінь їхньої залежності від різних факторів.

З огляду на можливість використання розглянутих установок (рисунок) для моделювання процесів горіння ПВП в потоці дуття доменної печі дуже важливим є спосіб визначення повноти згорання палива. Зіставлення підходів, що застосовувалися у дослідженнях на подібних установках в останні роки [6-8, 11-13] показало, що запропонована свого часу автором [5] і випробувана на практиці методика визначення повноти згорання (формула 1) може використовуватися для розрахунків цього важливого показника:

$$\varphi = \left[1 - \frac{A_{\text{ПВП}}(100 - A_{\text{ост}})}{A_{\text{ост}}(100 - A_{\text{ПВП}})}\right] \times 100, \%, \qquad (1)$$

де φ - повнота згорання ПВП, %; $A_{\text{ПВП}}$ – вміст золи у вихідному ПВП; $A_{\text{ост}}$ – вміст золи в остатку після горіння.

Суттєвою відмінністю визначення повноти згорання ПВП за формулою (1) є відносна простота методу, завдяки мінімальній кількості даних для розрахунку та відсутності потреби в аналізах на вміст залишкового вуглецю в остатку після горіння або потреби у визначенні кількості вуглецю, що в процесі термічної деструкції та горіння був газифікований.

Висновки. Аналіз методик лабораторних досліджень горіння пилоподібного палива показав, що для вирішення багатьох практичних завдань сьогодення, зокрема – пошук шляхів підвищення повноти згорання ПВП у фурмених осередках доменних печей, можуть застосовуватися установки типу «вертикальна трубчаста піч» за умов дотримання окремих вимог щодо лабораторного обладнання та організації експериментів. Такі установки дозволяють відтворювати умови горіння, максимально наближені за

параметрами до умов горіння ПВП в потоці дуття доменних печей і досліджувати вплив на повноту згорання ПВП різних факторів.

Література

1. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). Изд. 3-е, перераб. – СПб.: НПО ЦКТИ, 1998. – 256 с.

2. Бабий В.И., Куваев Ю.Ф. Горение угольной пыли и расчет пылеугольного факела. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.

3. Marek E, Staczyk K. Case studies investigating single coal particle ignition and combustion // Journal of Sustainable Mining. Volume 12, Issue 3, 2013, Pages 17-31.

4. Бондаренко П.К., Котов В.И., Ступак Ю.А. Моделирование процесса горения пылеугольного топлива в фурме доменной печи // Изв. вузов. Черная металлургия. 1990. №7. С. 103.

5. Ступак Ю.А. Изучение процесса горения пылеугольного топлива в лабораторных условиях//Изв. вузов.Черная металлургия. 1993. №8. С. 35-36.

6. Shan-Wen Du, Wei-Hsin Chen, John A. Lucas. Pulverized coal burnout in blast furnace simulated by a drop tube furnace // Energy. 35 (2010). P. 576–581. DOI: 10.1016/j.energy.2009.10.028.

7. Steer Ju., Marsh R., Morgan D., Greenslade M. The effects of particle grinding on the burnout and surface chemistry of coals in a drop tube furnace // Fuel. 160 (2015). 413–423.

8. Sarroza A., Bennet T., Eastwick C., Liu H. Characterising pulverised fuel ignition in a visual drop tube furnace by use of a high-speed imaging technique // Fuel Processing Technology 157 (2017) 1–11.

9. ДСТУ ISO 17246:2010 Вугілля. Технічний аналіз. – Київ.:ДП«Держспоживстандарт України», 2014. – 4 с.

10. ГОСТ 11022-95 (ISO 1171-97) Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. – Минск: ИПК «Изд-во стандартов», 1996. -8 с.

11. Sabuj Halder. An Experimental Perspective on Praxair's Hot Oxygen Technology to Enhance Pulverized Solid Fuel Combustion for Ironmaking Blast Furnaces // Praxair Inc. 2011.
http://www.praxair.com/praxair.nsf/AllContent/31B770CF22B3FBBF8525799F0075226F

12. Ueki Ya., Yoshiie R., Naruse I. Combustion Behavior of Pulverized Coal and Ash Particle Properties during Combustion // ISIJ International, Vol. 55 (2015), No. 6, pp. 1305–1312.

13. Lewtak R., Hercog Ja. Coal char kinetics of oxidation and gasification reactions // Chemical and Process Engineering 2017, 38 (1), 135-145. DOI: 10.1515/cpe-2017-0011.

ABOUT SOME FEATURES OF LABORATORY RESEARCHES FOR PROCESS OF PULVERIZED FUEL BURNING

Stupak Yurii

Abstract. The analysis of scientific publications containing information about the equipment and methods of modeling the process of pulverized fuel combustion is carried out. The basic requirements for ensuring the reliability of research results are formulated. The conclusion is made about the possibility and expediency of using installations of the type "vertical tubular furnace" to find ways to increase the completeness of pulverized coal combustion in the blast furnaces raceway. Emphasis is placed on the importance of ensuring a uniform supply of fuel to the reaction zone, a time-stable ratio of fuel and oxidant, qualitative technical analysis of the source fuel, as well as the residue after its combustion. Based on a comparative analysis of methods for determining the completeness of burnout of pulverized fuel used in such studies, a convenient formula for its calculations is proposed.

Keywords: pulverized coal (pc), burnout, drop tube furnace, blast furnace, raceway.

References

1. Thermal calculation of boilers (standard method). Ed. 3rd, rev. –SPb .: NPO CKTI, 1998. - 256 p.

2. Babiy V.I., Kuvaev Yu.F. Combustion of coal dust and calculation of a pulverized coal torch. –M .: Energoatomizdat, 1986. - 208 p.

3. Marek E, Staczyk K. Case studies investigating single coal particle ignition and combustion // Journal of Sustainable Mining. Volume 12, Issue 3, 2013, Pages 17-31.

4. Bondarenko P.K., Kotov V.I., Stupak Yu.A. Modeling of the combustion process of pulverized coal fuel in the tuyere of a blast furnace // Izv. universities. Ferrous metallurgy. 1990. No. 7. P. 103.

5. Stupak Yu.A. Study of the combustion of pulverized coal fuel in laboratory conditions // Izv. universities. Ferrous metallurgy. 1993. No. 8. S. 35-36.

6. Shan-Wen Du, Wei-Hsin Chen, John A. Lucas. Pulverized coal burnout in blast furnace simulated by a drop tube furnace // Energy. 35 (2010). P. 576–581. DOI: 10.1016/j.energy.2009.10.028.

7. Steer Ju., Marsh R., Morgan D., Greenslade M. The effects of particle grinding on the burnout and surface chemistry of coals in a drop tube furnace // Fuel. 160 (2015). 413–423.

8. Sarroza A., Bennet T., Eastwick C., Liu H. Characterising pulverised fuel ignition in a visual drop tube furnace by use of a high-speed imaging technique // Fuel Processing Technology 157 (2017) 1–11.

9. DSTU ISO 17246: 2010 Coal. Technical analysis. - Kiev: DP "Derzhspozhivstandart of Ukraine", 2014. - 4 p.

10. GOST 11022-95 (ISO 1171-97) Solid mineral fuel. Ash content determination methods. - Minsk: IPK "Publishing house of standards", 1996. -8 p.

11. Sabuj Halder. An Experimental Perspective on Praxair's Hot Oxygen Technology to Enhance Pulverized Solid Fuel Combustion for Ironmaking Blast Furnaces // Praxair Inc. 2011.
http://www.praxair.com/praxair.nsf/AllContent/31B770CF22B3FBBF8525799F0075226F

12. Ueki Ya., Yoshiie R., Naruse I. Combustion Behavior of Pulverized Coal and Ash Particle Properties during Combustion // ISIJ International, Vol. 55 (2015), No. 6, pp. 1305–1312.

13. Lewtak R., Hercog Ja. Coal char kinetics of oxidation and gasification reactions // Chemical and Process Engineering 2017, 38 (1), 135-145. DOI: 10.1515/cpe-2017-0011.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.007

ENERGY EFFICIENT WATER-COOLED ELEMENTS FOR FOUNDRY CLASS ELECTRIC ARC STEELMAKING FURNACES

Timoshenko S.[1], Dr.Sci. (Tech), Senior Researcher, Nemtsev E.[1],
Gubinski M.[2], Dr.Sci. (Tech), professor

[1] Donetsk National Technical University, Pokrovsk, Ukraine

[2] National Metallurgy Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Introduction. Possibility of a wide choice of original charge and variation of oxidation potential in melting process makes the electric arc furnace (EAF) a general-purpose unit in foundries. Energy-intensive classical technology with insufficient specific power of the transformer, irregular operation with forced downtime predetermine a low energy efficiency of foundry class furnaces [1,2]. Flat and shallow bath of the EAF enhances the problem.

Mentioned doesn't allow application of traditional for "large" metallurgy water-cooled elements (WCE) with one row tubes dense structure [3] due to technological risks, which causes heightened refractory consumption. A promising solution seems to be WCE with a spatial tubes structure (one row untight, two-rows), which is characterized by reduced by 25-35 % heat losses due to heat insulation and heat accumulation properties of deposit slag filling [4].

Known mathematical models of heat and mass transfer in the EAF workspace [5,6] don't pay sufficient attention to the thermal state and energy loss in WCE.

The development of WCE with reduced heat loss and mathematical model substantiating optimal relative value of cooled surface in foundry class EAF are urgent.

Purpose is energy and refractory savings in the EAF due to WCE design improvement.

Method – mathematical and numerical modeling of thermal state of WCE in the EAF.

Research part. A mathematical model of heat exchange by radiation, adapted to the EAF conditions [7], was used. It deals with primary sources of radiation: bath surface, arcs and electrodes. The insignificant contribution of secondary radiation caused by dust and gas environment was not taken into account in the comparative analysis. Heat flow power (internal integral) emitting by surface F_{rad} (m^2) with temperature T_{rad} (K) per receiving surface of WCE F_{wce} (m^2) with temperature T (K) is, kW.

$$P_{wce} = k_{wce}\left(\sigma\varepsilon\left(T_{rad}^4 - T^4\right)\int_{F_{wce}}\iint_{F_{rad}}\left(\frac{\cos\theta\,\cos\gamma}{r^2}\right)dF_{rad}dF_{wce}\right) \quad (1)$$

where σ – Stefan-Boltzmann constant, kW/(m²K⁴); ε – reduced emissivity of heat exchange surfaces; θ, γ, r – direction angles and radius vector, respectively; k_{wce} – averaging coefficient of the heat flux on surface of the WCE.

The emitting surface of arcs and electrodes is the lateral surface of the cylinders with electrodes pitch diameter. The arc length is approximated by the dependence from EAF capacity. The temperature of the bath surface, arc and WCE is taken 1820, 3550 and 1100 K, respectively. Electrode temperature is a function of relative height above the bath, [6].

Evaluations of (1) for 3-12-ton EAF are approximated by the multiple regression equation, obtained for relative from design considerations area of roof WCE 0.20-0.32, kW:

$$P_{wce} = k_{wce}\left(50.78M + 46.63m + 833.75\beta_w - 282.31\right) \quad (2)$$

where M – EAF capacity, t; m - bath shape factor (diameter to depth ratio); β_w – relative area of walls WCE.

Two-dimensional problem of WCE thermal state in the EAF workspace was simulated in application package ELCUT 6.2 by the finite element method. Thermal fields in WCE under action of heat flux q are shown in Fig.1.

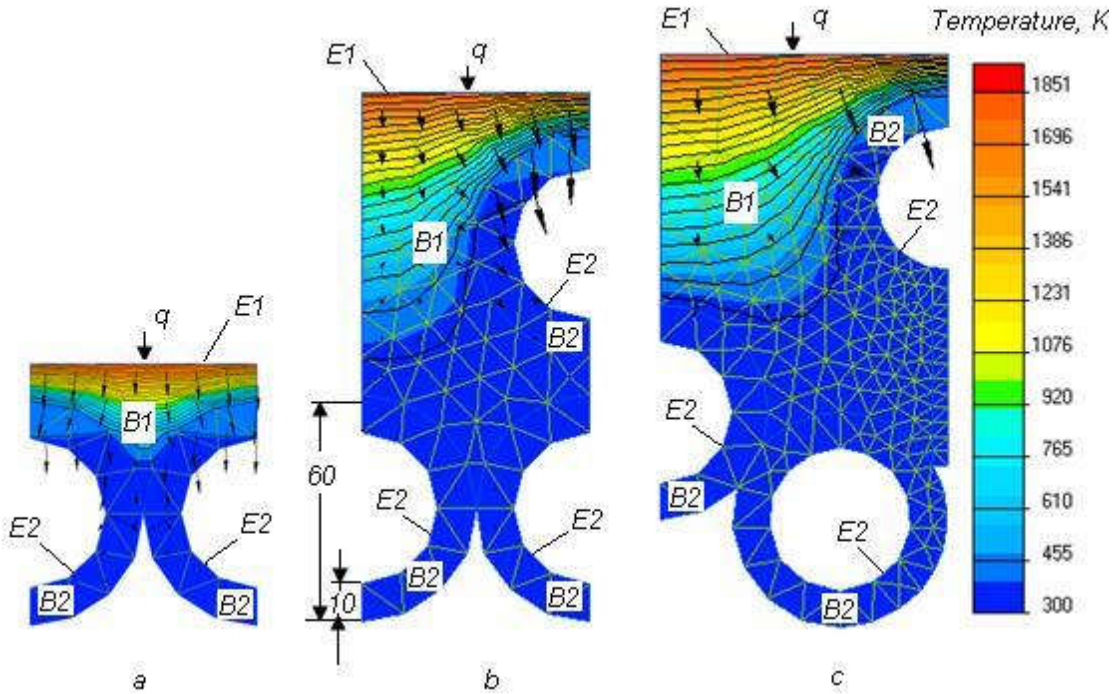


Figure 1 – Temperature fields in traditional (a), two-rows (b) and proposed three-rows (c) WCE. Lines are isotherms; arrows show heat flux value and direction. Designations are in the text

Integral heat loss with cooling water evaluated by means of package on edges E2. Energy loss through outer WCE surface was neglected. Relative values of heat loss with cooling water are presented in Fig.2.

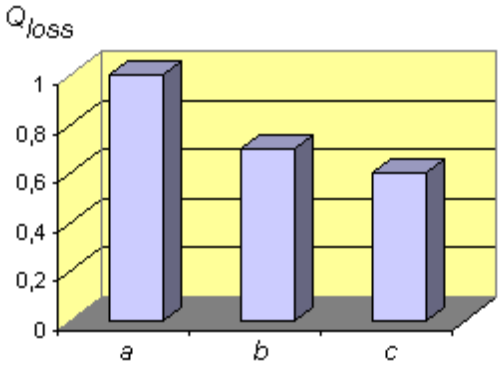


Figure 2 – Relative heat loss with cooling water Q_{loss} versus WCE options (a, b, c) according to Fig.1.

By analysis of heat flux, passing through the WCE working surface E1, the values of k_{wce} for panel options were obtained. For the proposed WCE an average relative cooled surface of walls in 3-12-t EAF can reach 0.5-0.6. Given value of β_w ensures reduction in refractory consumption up to 25-30 %. It derived from next conditions: melting of structural steel, forced bath inert gas stirring, reduction of bath shape factor from traditional 4.5 to 2.5.

Conclusion. Three-row water-cooled wall panels with a spatial structure are elaborated, which provide a decrease in heat loss by 14 %, in comparison with two-row ones, and by 40% in comparison with traditional one-row dense structure WCE. Estimates of optimal relative cooled surface of the EAF working space, providing refractory savings up to 25-30%, are substantiated.

References

1. Biswas, S., Peaslee, K., Lekakh, S. (2012). Melting energy efficiency in steel foundries. AFS Transactions 2012 © American Foundry Society, Schaumburg, Il. USA, 449-456.

2. Mironov, Yu.M., Petrov, V.G. (2010). Thermal losses and power efficiency of arc steelmaking furnaces. Metally (Russian Metallurgy), 12, 1141-1144.

3. Toulouevski, Yu., Zinurov, I. (2010) Innovation in Electric Arc Furnaces. Scientific Basis for Selection. Berlin (Germany): Springer-Verlag. 258 p.

4. Timoshenko, S.M., Doroshenko, A.V., Dyadkov, B.P., Tischenko, P.I., Onischenko, S.P. (2018). Energoeffektivnyye resheniya pri modernizatsii malotonnazhnykh dugovykh

staleplavil'nykh pechey liteynogo klassa (Energy-efficient solutions for the modernization of low-tonnage arc furnaces of foundry class). Metall i lyt'e Ukrayny (Metal and casting of Ukraine), 3-4, 34-40.

5. Logar, V., Dovžan, D., Škrjanc, I. (2012). Modeling and validation of an electric arc furnace. ISIJ International, vol. 52, 3, 402-423.

6. Gruber, J-C., Echterhof, T., Pfeifer, H. (2016). Investigation on the Influence of the Arc Region on Heat and Mass Transport in an EAF Freeboard using Numerical Modeling. Steel research international, vol. 87, no. 1, 15–28. DOI: 10.1002/srin.201400513.

7. Timoshenko, S.N. (2016). Computer modeling bath geometry to improve energy efficiency of electric arc furnace. System Technologies. Regional interuniversity collection of scientific works. Dnipro: NMetAU-IVK Systemni tekhnolohiyi, 3, 33-39.

ENERGY EFFICIENT WATER-COOLED ELEMENTS FOR FOUNDRY CLASS ELECTRIC ARC STEELMAKING FURNACES

Timoshenko Sergii, Nemtsev Eduard, Gubinskij Mikhail

Abstract: Low energy efficiency of foundry class electric arc steelmaking furnaces (EAF) mainly is caused by heat loss by massive lining during forced downtime. A low-power transformer doesn't allow, in the conditions of classical technology, practice of traditional water-cooled elements in order to replace partially the lining, what determines increased refractory consumption. The aim is energy and refractory savings. On the basis of numerical modeling of heat exchange by radiation in the EAF working space, taking into account capacity, bath shape factor, duration of technological period of heat, a multiple regression equation for power of heat loss with cooling water was obtained. Three-row water-cooled wall panels with a spatial structure are elaborated, which provide a decrease in heat loss by 14 %, in comparison with two-row ones. Estimates of optimal relative cooled surface of the EAF working space, providing refractory savings up to 25-30%, are substantiated.

Keywords: foundry class electric arc furnaces, water-cooled elements, energy efficiency.

СЕКЦІЯ 2

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ПРОЦЕСАХ ОДЕРЖАННЯ МАТЕРІАЛІВ ІЗ ЗАДАНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

SECTION 2

INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PROCESSES OF OBTAINING MATERIALS WITH SPECIFIED PROPERTIES

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.008

PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF PHASE SEPARATION IN FE-21.4 CR STEEL WITH 1.14 MO TAKING INTO ACCOUNT CROSS FACTORS

Bobyr S., Dr. Sc., Leader Researcher, Loshkarev D., Leader Engineer

Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov NANU, Ukraine

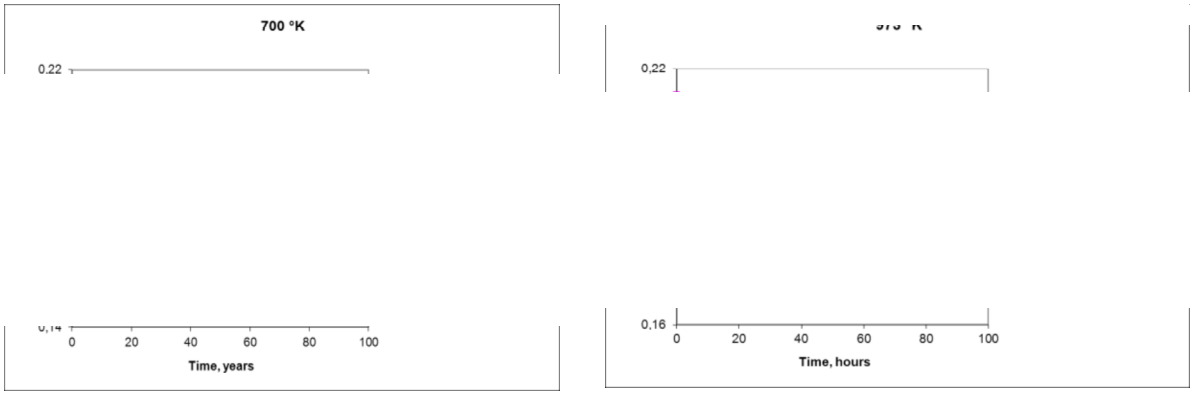
Introduction. The use of ferritic-martensitic steels as structural material for steam generator rotors has been advocated due to their relatively low rate of swelling at elevated temperatures, for example, Fe-Cr and Fe-Cr-Al alloys [1, 2]. Because of the high Cr-content, the alloys are not suitable for use at temperatures around 500 °C as the microstructure decomposes into a Fe-rich (α) phase and a Cr-rich (α') phase due to the miscibility gap in the Fe-Cr system [3, 4]. Phase separation in such alloys can also be prevented by doping with elements that impede the segregation of chromium. To quantify the effect of elements on phase separation, multi-scale modeling is required.

Research results. In this work, the object of research is Fe - (16.1-21.4) % Cr alloys with 1.16% Mo in comparison with Fe - (16.1-21.4)% Cr alloys. The chromium content in the alloys exceeds 15%, ensuring their high corrosion and heat resistance [5]. The diffusion coefficients for these alloys at different temperatures are known in the literature [6]. The calculated parameters of the Arrhenius equation for the diffusion of iron and chromium in the studied alloys are given in Table 1. It is already clear from these data that the diffusion of chromium has a high activation energy in alloys with molybdenum, i.e. diffusion of chromium occurs more slowly in the complex alloy. Direct calculations, of course, fully confirm this position.

Table 1 – The parameters of the Arrhenius equation for the diffusion of iron and chromium in the studied alloys

Alloy composition	Parameters of the chromium diffusion		Parameters of the iron diffusion	
	A_0, m²/s	U_0, J	A_0, m²/s	U_0, J
Fe – 16,1 % Cr	$2{,}1\cdot10^{-5}$	204232	$10{,}6\cdot10^{-5}$	234517
Fe – 21,4 % Cr	$1{,}2\cdot10^{-5}$	201008	$14{,}0\cdot10^{-5}$	238309
Fe – 16,1 % Cr – 1,16 % Mo	$20{,}9\cdot10^{-5}$	232825	$5{,}7\cdot10^{-5}$	226905
Fe – 21,4 % Cr – 1,16 % Mo	$22{,}1\cdot10^{-5}$	235484	$12{,}6\cdot10^{-5}$	237344

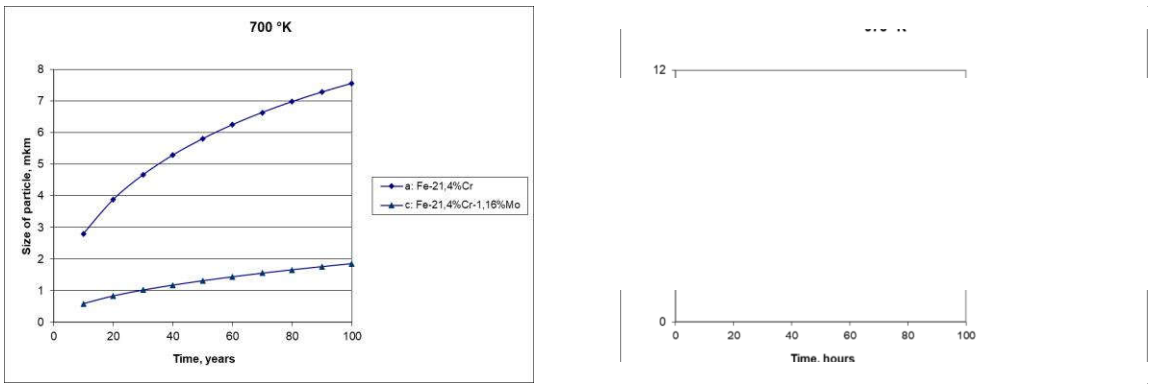
In this work the current concentrations of chromium and iron in a solid solution were found by numerical integration of Fick's equations at two temperatures - working 700 ° K and increased - 973 ° K [7, 8]. Calculations were carried out without and taking into account cross factors [8]. The calculation results are shown in Fig. 1 and 2 respectively.



a) b)

Figure 1 – Change in chromium concentration in solid solution of steels Fe – 21,4 % Cr and Fe – 21,4 % Cr – 1,16 % Mo at a temperature 700 °K (a) and 973 °K (b), linesa, c - without cross factors, lines b, d - with cross factors

Conclusions. The calculation results shows, that the thermal stability of the Fe - 21.4% Cr alloy with 1.16% Mo is much higher than without molybdenum. At an operating temperature of 700 ° K, the concentration of chromium in the solid solution of the Fe - 21.4% Cr alloy decreases from 21.4% to 16.1% in about 70 years of operation, with the formation of σ-phase inclusions about 7 microns in size (Fig. 2). In the Fe - 21.4% Cr - 1.16% Mo alloy, the chromium concentration changes insignificantly during the same operating time.



a) b)

Figure 2 – Changing the size of inclusions in steels Fe – 21,4 % Cr and Fe – 21,4 % Cr – 1,16 % Mo at a temperature 700 °K (a) и 973 °K (b)

At an elevated operating temperature of 973 ° K, phase separation is observed in both alloys. The concentration of chromium in the solid solution of the Fe - 21.4% Cr alloy decreases from 21.4% to 16.1% in about 120 hours of operation, while inclusions of the σ-phase with a size of about 12 microns are formed.

In alloy Fe – 21,4 % Cr – 1,16 % Mo at a temperature of 973 ° K, the chromium concentration during the same operation time decreases three times slower with the formation of inclusions of the σ-phase about 6 microns in size.

References

1. A. Weisenburger, A. Jianu, S. Doyle, M. Bruns, R. Fetzer, A. Heinzel, M. DelGiacco, W. An, G. Muller, J. Nucl. Mater., 437 (2013) 282-292.

2. J. Ejenstam, M. Halvarsson, J. Weidow, B. Jönsson, P. Szakalos, J. Nucl. Mater., 443 (2013) 161- 170.

3. C. Capdevila, M.K. Miller, K.F. Russell, J. Chao, J.L. Gonzalez-Carrasco, Mat Sci Eng a-Struct, 490 (2008) 277-288.

4. C. Capdevila, M.K. Miller, K.F. Russell, J Mater Sci, 43 (2008) 3889-3893.

5. J. Wallenius, P. Olsson, C. Lagerstedt, N. Sandberg, R. Chakarova, V. Pontikis. Modeling of chromium precipitation in Fe-Cr alloys, Phys. Rev. B 69 (9), 094103 (2004).

6. L.N. Larikov, V.I. Isajchev, Diffuziya v metallakh i splavakh. Spravochnik. (Kiev: Naukova dumka: 1987).

7. B.S. Bokshtejn, Diffuziya v metallakh (Moskva: Metallurgiya: 1978).

8. S.V. Bobyr. Using the Principles of Nonequilibrium Thermodynamics for the Analysis of Phase Transformations in Iron-Carbon Alloys // chapter in book "Non-Equilibrium Particle Dynamics" (London: Intechopen, May 2019).

PHYSICO-CHEMICAL MODELING OF PHASE SEPARATION IN FE-21.4 CR STEEL WITH 1.14 MO TAKING INTO ACCOUNT CROSS FACTORS

Bobyr Serhii, Loshkarev Dmytro

Abstract. Physicochemical modeling of diffusion phase transformation and determination of the long-term microstructural stability of the Fe-21.4 Cr alloy with 1.16 Mo taking into account cross factors has been carried out. A conventional Fe-21.4 Cr alloy is used as a reference material. The article proposes an integral approach to modeling phase separation in chromium alloys, combining the determination of diffusion coefficients and fluxes of elements, taking into account

their dependences on the concentration and an assessment of the mutual diffusion of elements. The calculated values of diffusion fluxes are used to calculate the current concentrations of carbon and chromium in the alloy and the size of chromium formations. They show that the thermal stability of the Fe - 21.4% Cr alloy with 1.16% Mo is much higher than without molybdenum. In alloy Fe – 21,4 % Cr – 1,16 % Mo at a temperature of 973 ° K, the chromium concentration during the same operation time decreases three times slower with the formation of inclusions of the σ-phase about 6 microns in size.

Key words: Physicochemical modeling, phase transformation, fluxes, chromium alloys, nonequilibrium thermodynamics, diffusion coefficients.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИЛОВОЇ І ДЕФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ СМУГИ І ВАЛКІВ ПРИ ПРОКАТЦІ З ІНТЕНСИВНОЮ ПЛАСТИЧНОЮ ДЕФОРМАЦІЄЮ

Богдан Д.А.[1], Балакін В. Ф. [2], Штода М.М. [3]

[1] «Інтерпайп НТЗ»
[2]Національна металургійна академія України
[3]Дніпровський державний технічний університет

Умови експлуатації труб нафтогазового сортаменту визначають жорсткі вимоги до їх структури та властивостей і, зокрема, корозійної стійкості. Відомо, що механічні властивості і корозійна стійкість сталей істотно залежать від ступеня подрібнення зерна і однорідності структури. Одним із способів формування дрібнозернистої структури, підвищення механічних та корозійних властивостей є інтенсивна пластична деформація (ІПД) [1]. З метою визначення впливу ІПД на деформаційне опрацювання сталевих смуг була розроблена схема простого процесу прокатки з холостим роликом (рис.1).

Можливий вплив ІПД в такій схемі на структуру металу потребує розробки математичної моделі, кінцевою метою якої є визначення величини істинної пластичної деформації. Передбачається на основі результатів математичного моделювання, лабораторного експерименту по прокатці смуг і визначення їх корозійної стійкості в запропонованій схемі розробити промислову установку для обробки внутрішньої поверхні труб [2].

Математичну модель запропонованої схеми прокатки з певною величиною ВПС передбачається описати складеною з чотирьох етапів.

Перший – визначення сили притиснення холостого ролика в матеріал при фіксованій величині зусилля, прикладеного до важеля механізму.

Другий – визначення величини сили тиску холостого ролика на смугу що прокочується та робочий валок.

Третій – визначення глибини вдавлення ролика в смугу при заданому навантаженні в відсутності обертання валків.

Четвертий – визначення початкової та еквівалентної ступені деформації смуги холостим роликом.

Визначення сили вдавлення холостого ролика за допомогою важільного механізму.

Запишемо векторне співвідношення при знаходженні системи в рівновазі

$$\vec{F}_в = -F. \qquad (1)$$

У разі відсутності обертання ролика і валків можна покласти f=0, тоді

$$F_в = \frac{p \cdot b}{a} \cdot \frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} = \frac{p \cdot b}{a} \cdot \tan\varphi. \qquad (2)$$

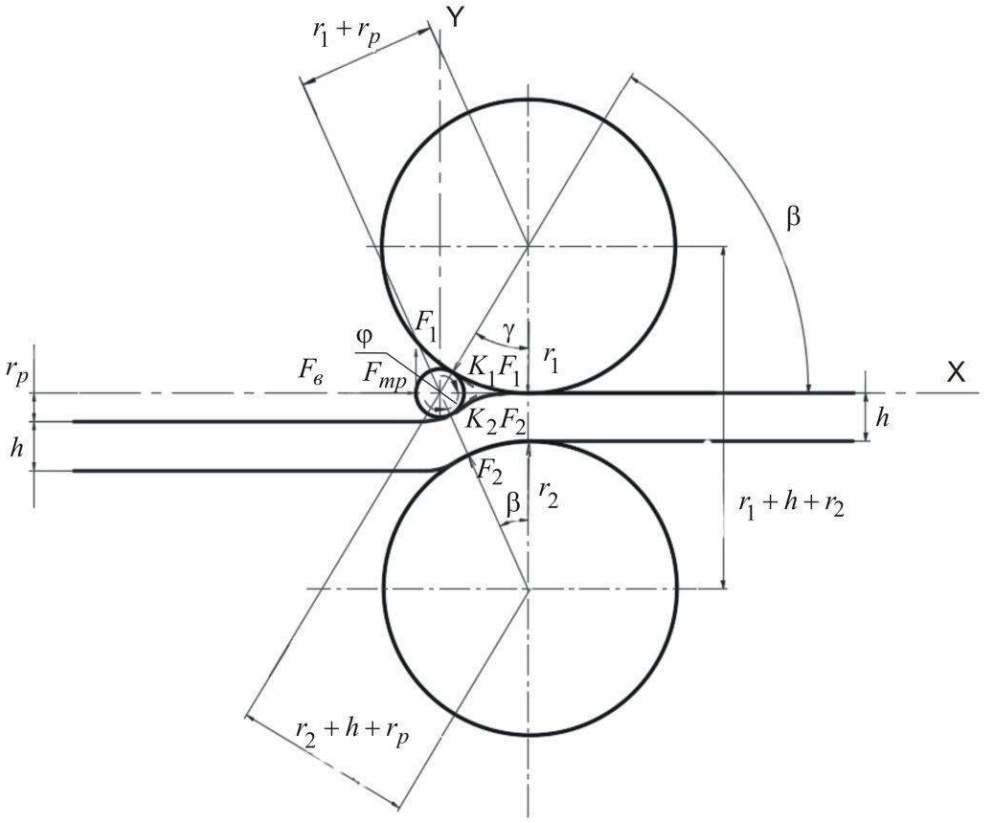


Рисунок 1 – Розрахункова схема до визначення величини сили тиску ролика на смугу при прокатці при заданій величині $F_в$

У відсутності обертання

$$F_{mp} = 0, \quad f_1 = f_2 = 0,$$

тоді рівняння рівноваги ролика набувають такий вигляд:

$$\sum x = F_1 \cdot \sin\alpha + F_2 \cdot \sin\beta = F_в, \qquad (3)$$

$$\sum y = F_1 \cdot \cos\alpha + F_2 \cdot \cos\beta = 0.$$

Оскільки початкова товщина смуги h не перевищує 1,5% від суми радіусів робочого валка і ролика, приймемо h=0, тоді α=β і (3) трансформується в вираз:

$$F_2 = F_1 = \frac{F_в \cos\alpha}{2\cos\alpha \sin\alpha} = \frac{F_в}{2\sin\alpha}. \qquad (4)$$

Визначення глибини вдавлення ролика в смугу при заданому навантаженні в наслідок обертання валків.

$$h_{в.р} = \sqrt{\sqrt{r_p \cdot \varphi}} \qquad (5)$$

Порівняння схеми деформування при крученні під високим гідростатичним тиском в ковадлах Бриджмена і в запропонованій схемі тиском холостим роликом дозволяє зробити висновок про їх приблизну аналогію. Можна припустити, що за умови повного прилипання металу до поверхонь смуги і ролика, об'єм що знаходиться між ними підвергається [3].

Об’єм істинної деформації

$$\boldsymbol{e} = \ln\left(\frac{2\varphi \cdot r}{n}\right),$$

де φ – половина кута дуги контакту ролика з валком, рад; z – радіус ролика, мм; n – товщина смуги, мм.

Еквівалентна ступінь деформації відповідно до критерію Мізеса

$$e_{экв} = \frac{e}{\sqrt{3}}.$$

Висновки. Математична модель запропонованого способу прокатки з інтенсивною пластичною деформацією, проведені розрахунки дають можливість припустити значне зменшення розмірів зерен, що безумовно має відобразитися на зміні корозійної стійкості і рівні механічних властивостей матеріалу.

Література

1. Валиев Р.З., Раабг.И., Боткин А.В., Дубинина С.В. Получение ультрамелкозернистых металлов и сплавов методами интенсивной пластической деформации: новые подходы в разработке технологий // Известия ВЗов. Черная металлургия. – 2012. – №8. – С. 44-47.

2. Бейгельзімер Я.Ю. Кручення під високим тиском: нестійкість пластичного плину в екстремальних умовах / Я.Ю. Бейгельзімер, Р.Ю. Кулагін, О.А. Давиденко // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки", Луцьк. – 2017. – Випуск № 58. – С. 36-40.

3. Пинчук С.И., Балакин В.Ф., Тышкевич Д.Г. Влияние интенсивной пластической деформации на структурные превращения и свойства стали 45/ Металлургическая и горнорудная промышленность.– 2014. – №2. – с. 57-59.

ВИКОРИСТАННЯМ АНАЛІТИЧНОГО ТА ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ ХОДОВОГО ОПОРУ РУХУ ВАГОНІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Жуковицький І.В. д.т.н, Устенко А.Б. к.т.н., Дзюба В.В.

Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна

Вступ. Точність визначення ходового опору вагонів W в унформаційно-керуючій системі скочування відчепів (групи вагонів) на сортувальних гірках є важливою передумовою якості регулювання швидкості їх скочування. Для забезпечення такої точності використовують зокрема вимірювання прискорення вагонів на контрольних ділянках, що оснащені датчиками прослідування коліс. При цьому зазвичай застосовується схема із використанням трьох датчиків, які утворюють дві суміжні контрольних ділянки вимірювання ходового опору вагону довжиною відповідно l_1 і l_2 для вимірювання часу прослідування вагоном цих ділянок – t_1 і t_2. Випадкові похибки таких трьох датчиків δ_1, δ_2, δ_3 обумовлюють похибки визначення довжини контрольних ділянок вимірювання швидкості, а отже й похибку оцінювання власно величини ходового опору ΔW. Тому важливим є оцінка залежності похибки вимірювання ходового опру вагону від похибки роботи точкових датчиків прослідування коліс.

Основна частина. В [1,2] показано, що при вимірюванні ходового опору вагону шляхом вимірювання часу проходження вагона по двох суміжних вимірювальним ділянкам значення ходового опору можливо визначии за формулою:

$$W = 2\frac{(l_1 t_2 - l_2 t_1)10^3}{g' t_1 t_2 (t_1 + t_2)} + \frac{i_1 t_1 + i_2 t_2}{t_1 + t_2} \quad . \qquad (1)$$

Для оцінювання точності вимірювання W можуть використовуватись аналітичні або імітаційні моделі, які враховують стандартне відхилення похибок датчиків σ_δ, а також найбільш впливові умови вимірювань, зокрема такі як довжина контрольних ділянок, величина ходового опору, швидкість вагону та ухил колії.

За гіпотезою авторів суттєвим фактором адекватності аналітичної моделі із використанням трьохточкового методу є врахування статистичної залежності помилки зафіксованої датчиками довжини контрольних ділянок. Для підтвердження цієї гіпотези були одержані формули розрахунку стандартного відхилення помилки вимірювання W для випадків відсутності (σ[ΔW]) та наявності (σ^*[ΔW]) такого врахування, відповідно (2) та (3):

$$\sigma[\Delta W] = A\sigma_\delta \sqrt{2(t_1^2 + t_2^2)}, \quad (2)$$

$$\sigma^*[\Delta W] = A\sigma_\delta \sqrt{2(t_1^2 + t_2^2 + t_1 t_2)}, \quad (3)$$

тут $A = \dfrac{2\times 10^3}{g' t_1 t_2 (t_1 + t_2)}$; g' – константа, що визначена типом вагону; σ_δ - стандартне відхилення похибки датчиків.

Виходячи з одержаних формул, легко бачити, що відсутність врахування статистичної залежності зафіксованої датчиками довжини контрольних ділянок зменьшує оцінку похибок вимірювання ходового опору.

Для кількісної оцінки такої розбіжності, а також для підтвердження вірності одержаних формул було виконано імітаційне моделювання вимірювання ходового опору вагонів трьох-точковим методом. Імітаційна модель реалізує покрокове моделювання скочування вагонів. Зокрема для можливості порівняння з результатами аналітичного моделювання виконується імітація вимірювання того самого вагону при незмінних початкових умовах і водночас випадкових похибках датчиків.

Імітаційне моделювання підтвердило вірність запропонованих аналітичних моделей. Зокрема при швидкостях вагонів, що характерні для руху сортувальними коліями, розбіжність оцінок на аналітичній та імітаційній моделі може складати біля 1-2%. Також імітаційне моделювання показало, що відсутність врахування статистичної залежності занижує оцінки стандартного відхилення похибки вимірювання приблизно на 20%.

Висновки. Таким чином, підтверджено гіпотезу, що врахування статистичної залежності зафіксованої датчиками довжини контрольних ділянок вимірювання ходового опору трьохточковим методом є необхідною

умовою адекватності моделі. При цьому вплив данного фактору на одержані оцінки точності ходового опору є суттєвим.

Література

1. Жуковицкий И.В. Использования метода статистических решений для повышения точности идентификации ходового сопротивления отцепов / И.В. Жуковицкий, А.Б. Устенко // Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Вип. 19, 2020. С.55-59. DOI:https://doi.org/10.15802/tstt2020/208696

2. Жуковицкий И.В. Методы идентификация ходового сопротивления отцепов на участках с переменным уклоном / И.В. Жуковицкий // Інформаційно-керуючісистеми на залізничному транспорті. – 1999. – № 3. – С.17-19.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.009

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ДИСПЕРСНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРОЦЕСАХ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЗАГОТОВОК ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

Іванчук Я. В.[1], д.т.н., проф., Іскович-Лотоцький Р. Д.[2], д.т.н., проф.,
Севостьянов І. В.[3], д.т.н., проф., Веселовська Н. Р.[4], д.т.н., проф.,
Манжілевський О. Д.[5], к.т.н., доц.

[1,2,5]Вінницький національний технічний університет, Україна, Вінниця
[3,4]Вінницький національний аграрний університет, Україна, Вінниця

Розглянемо ділянку дисперсного середовища заготовки із порошкового металу [1, 2] в площині xOz, зображеного на рисунку 1. Переміщення частинки порошкового металу у вертикальному напрямку відбувається під дією вертикальних складових сил від зовнішнього навантаження та сил інерції (див. рис. 1):

$$b^2 \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho b^2 \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = b^2 \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right), \qquad (1)$$

де b – середній розмір частинок порошкового металу; ρ – середня густина частинки порошкового металу; w – прискорення частинки порошкового металу; σ_z – складова напруження, яке виникає на частинці порошкового металу.

Навантаження, що діє на сусідню в одному ряду частинку металу і через збільшення напружень по вісі x за аналогією із (1) визначається по наступному [2]:

$$b^2 \left[\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) + b \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) \right]. \qquad (2)$$

Різниця між значеннями величин (1) і (2) викликає виникнення дотичних напружень на поверхні частинок, на які опираються частинки порошкового металу (див. рис. 1). Визначимо її як деяку функцію від дотичних напружень:

$$f(\tau_{xz}) = b^2 \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) - b^2 \left[\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) + b \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right) \right] =$$
$$= -b^3 \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right). \qquad (3)$$

Так як при статичному навантаженні $\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}=0$, тоді вираз (3) приймає вигляд:

$$\frac{1}{b^3} f\left(\tau_{xz}\right) = -\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x \partial z}. \tag{4}$$

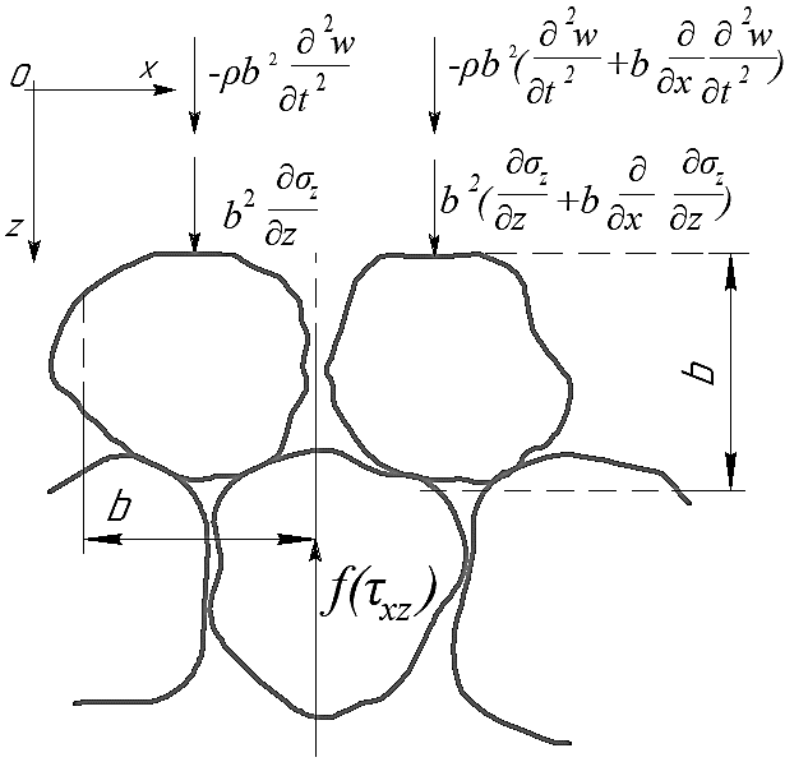


Рисунок 1 – Розрахунковасхемадвомірноїдинамічноївзаємодіїчастинокметалу розпірногодисперсногосередовища

З іншого боку, при статичному навантаженні дотичні напруження із нормальними зв'язані наступним співвідношенням:

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\tau_{xz}}{\nu z}\right) = -\frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x \partial z}, \tag{5}$$

де ν – коефіцієнт бічного тиску від пуансона заготовки [3].

Із рівнянь (3) – (5) отримуємо:

$$\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\tau_{xz}}{\nu z}\right) = -\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right). \tag{6}$$

За аналогією із (6) і співвідношеннями між напруженнями для статичного навантаження [4–6] записуються наступні співвідношення між дотичними і нормальними напруженнями при динамічному навантаженні:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial z}\left(\dfrac{\tau_{yz}}{\nu z}\right) = -\dfrac{\partial}{\partial y}\left(\dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \dfrac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right); \\ \dfrac{\partial}{\partial z}\left(\dfrac{\tau_{xy}}{\nu^2 z^2}\right) = \dfrac{\partial^2}{\partial x \partial y}\left(\dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \dfrac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right). \end{cases} \quad (7)$$

Система рівняння рівноваги для просторової задачі при нульових значеннях об'ємних навантажень:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} = \rho \dfrac{\partial^2 w}{\partial t^2}; \\ \dfrac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \dfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \dfrac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = \rho \dfrac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \\ \dfrac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \dfrac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \dfrac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} = \rho \dfrac{\partial^2 \upsilon}{\partial t^2}, \end{cases} \quad (8)$$

де w, u, v – компоненти складових деформації дисперсного середовища заготовки.

Розділивши перше рівняння із (8) на νz і продиференціювавши по z отримуємо:

$$\frac{\partial^2}{\partial y \partial z}\left(\frac{\tau_{yz}}{\nu z}\right) + \frac{\partial}{\partial x \partial z}\left(\frac{\tau_{xz}}{\nu z}\right) = -\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{\nu z}\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right)\right]. \quad (9)$$

Продиференціюємо рівняння (6) по x, а рівняння (7) – по y і склавши їх отримуємо:

$$\frac{\partial^2}{\partial x \partial z}\left(\frac{\tau_{xz}}{\nu z}\right) + \frac{\partial^2}{\partial y \partial z}\left(\frac{\tau_{zy}}{\nu z}\right) = -\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right) - \frac{\partial^2}{\partial y^2}\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right). \quad (10)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (9) і (10), і помноживши на νz з послідуючою заміною $f = \frac{1}{\nu z}\left(\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} - \rho \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2}\right)$ отримуємо:

$$\frac{\partial f}{\partial z} = \nu z\left(\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right). \quad (11)$$

Розв'язок диференціального рівняння (11) виконується при наступних граничних умовах: $f = -P(t)$ при z=0, x=0, y=0 (тобто в точці прикладання зосередженої динамічної сили); f=0 при z=0, $x \neq 0$, $y \neq 0$ (тобто у всіх інших точках поверхні заготовки); $f \to 0$ при $x \to \pm\infty$, $y \to \pm\infty$, що відповідно дозволяє отримати наступний вигляд:

$$f = -P(t)\frac{1}{2\pi\nu z^2}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\nu z^2}\right). \qquad (12)$$

Переходячи через (53) від f до його значення, отримуємо:

$$\frac{\partial\sigma_z}{\partial z} - \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -P(t)\frac{1}{2\pi z}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\nu z^2}\right),$$

або

$$\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = -P(t)\frac{1}{2\pi Ez}\exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2\nu z^2}\right), \qquad (13)$$

де права частина рівняння також описує область, у якій порошковий матеріал заготовки від зосередженої динамічної сили приходить в збудження [5], а значення E виражає модуль пружності порошкового матеріалу заготовки.

Для розв'язання задачі про коливання дисперсного матеріалу при віброущільненні заготовки порошкової металургії [1, 5] вздовж осей x та y скористаємося рівняннями рівноваги (8), а також (7) :

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{\nu z}\left(\frac{\partial\sigma_x}{\partial x} - \rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\right)\right] = \nu z\frac{\partial^3}{\partial x\partial y^2}\left(\frac{\partial\sigma_z}{\partial z} - \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right) + \frac{\partial^2}{\partial x\partial z}\left(\frac{\partial\sigma_z}{\partial z} - \rho\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right),$$

або

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{\nu z}\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}\right)\right] = \nu z\frac{\partial^3}{\partial x\partial y^2}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right) + \frac{\partial^2}{\partial x\partial z}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right).$$

Аналогічно для коливань по вісі y:

$$\frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{1}{\nu z}\left(\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial y^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 \upsilon}{\partial t^2}\right)\right] = \nu z\frac{\partial^3}{\partial y\partial x^2}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right) + \frac{\partial^2}{\partial y\partial z}\left(\frac{\partial^2 w}{\partial z^2} - \frac{\rho}{E}\frac{\partial^2 w}{\partial t^2}\right).$$

Література

1. Іскович–Лотоцький Р. Д. Основи резонансно–структурної теорії віброударного розвантаження транспортних засобів / Р.Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я.П. Веселовський// Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2014. – №5(53) – С.109 – 118. doi: 10.15802/stp2014/30458.

2. Іскович–Лотоцький Р. Д. Моделювання процесу оброблення дрібнодисперсних деревинних матеріалів під дією вібраційного і віброударного навантаження / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Науковий вісник НЛТУ

України: збірник наукових праць. – Львів. – 2018. – Том 28, № 5. – С. 124-129. doi: 10.15421/40280526.

3. Іскович–Лотоцький Р. Д. Застосування гібридного моделювання при розробці установок для утилізації відходів. / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Д. В. Тесовський, Я. П. Веселовський // Технологічні комплекси. Науковий журнал – Луцьк, 2012. – № 1,2 (5, 6). – С. 122 – 126.

4. Іскович–Лотоцький Р.Д. Дослідження динаміки процесу роботи універсального гідравлічного віброудраного приводу для розвантаження транспортних засобів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом«Інженернамеханіка»)– Луцьк, 2007. – № 20. – С. 184 – 187.

5. Іскович–Лотоцький Р. Д. Підвищення ефективності розвантаження матеріалів під дією періодичних ударних імпульсів / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук // Вібрації в техніці і технологіях. – 2008. – №2 (51). – С. 8 – 11.

6. Іскович–Лотоцький Р. Д. Моделювання робочих процесів гідроімпульсного привода з однокаскадним клапаном пульсатором / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук, Я. П. Веселовський // Вібрації в техніці та технологіях. – Вінниця, 2017. – № 3(86). – С.10–19.

MATHEMATICAL MODEL OF THE DYNAMICS DISPERSED MEDIA IN THE SHAPING PROCESSES BILLETS OF POWDER METALLURGY

Ivanchuk Yaroslav, Iskovych-Lototsky Rostislav,
Sevostianov Ivan, Veselovska Natalia, Manzhilevskyy Olexander

Abstract. A mathematical model has been developed for changing the dynamics of the movement of a dispersed medium in vibro-impact technological processes of shaping of powder metallurgy blanks. On the basis of the problem of two-dimensional dynamic interaction of dispersed particles of powder metal of a spacer dispersed medium, the obtained differential equation in partial derivatives under various boundary conditions. This equation describes the state of the local area of the dispersed medium. In it, the powder material of the workpiece passes from the concentrated dynamic force to the excitation phase. A partial differential equation is obtained. It describes the change in normal stress during vibrations of a dispersed medium during vibration compaction of a workpiece in powder metallurgy.

Key words: mathematical model, powder metallurgy, dynamics, normal stress, differential equation, deformation.

References

1. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V., Veselovsky Y. P. The basis of resonance-structure theory for vibroimpact unloading of the vehicles // Science Transport Progress. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V.Lazaryan. – Д., 2014. – №5(53) – P.109 – 118; doi: 10.15802/stp2014/30458.

2. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V., Veselovskyi Y. P. Modeling treatment forestry engineering materials under vibration and vibro-impact load // Scientific Bulletin of UNFU. – Lviv. – 2018. – Vol. 28(5). – P. 124-129. doi: 10.15421/40280526.

3. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V., Tesovsyi D. V., Veselovskyi Y. P. Hybrid modeling applications for waste management plants // Technological Complexes. Science Journal – Lutsk, 2012. – Vol. 1,2(5, 6). – P. 122 – 126.

4. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V. Investigation of the dynamics of the process of operation of a universal hydraulic vibro-shock drive for unloading vehicles // Scientific notes. Interuniversity collection (in the direction of "Engineering Mechanics") – Lutsk, 2007. – Vol. 20. – P. 184 – 187.

5. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V. Improving the efficiency of unloading materials under the influence of periodic shock pulses // Vibrations in engineering and technology. – 2008. – Vol. 2 (51). – P. 8 – 11.

6. Iskovych-Lototsky R. D., Ivanchuk Y. V., Veselovsky Y. P. Modeling of the working processes in hydroimpulsive drive with an one-step valve-pulsare // Vibrations in engineeringandtechnology. – Vinnytsia,2017. –№ 3 (86). – P. 10–19.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ СТРУМИННИМ ПОДРІБНЕННЯ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ АКУСТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

Музика Л.В., Євсеенко М.В.

Інститут технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України

Аналіз основних методів керування процесами подрібнення та моделювання систем керування, які застосовуються в даний час на збагачувальних комбінатах показав, що розглянуті способи мають як ряд переваг, так і недоліків. Основним недоліком властивим існуючим методам є затримки між аналізом стану процесу, режиму подрібнення і проведенням коригування його за зворотнім зв'язком, що веде до накопичення некондиційного продукту і зниження ефективності процесу [1].

Метою роботи було підвищення продуктивності струминних млинів та якості продукту подрібнення на основі автоматичного керування ступеня завантаження млина та крупності продукту за параметрами акустичних сигналів робочих зон подрібнення.

На базі дослідження замкнутого циклу процесу струминного подрібнення виявлено технологічні характеристики, що впливають на продуктивність процесу. Розроблена нелінійна регресійна модель, яка пов'язує технологічні параметри з продуктивністю млина, показала, що переважний вплив рівня завантаження помольної камери на продуктивність млина в цілому, при цьому дослідження взаємного впливу факторів підтвердив висновок переважного впливу завантаження.

Розроблено узагальнену модель процесу струминного подрібнення у замкнутому циклі. Для обґрунтування характеристик замкнутого циклу подрібнення з періодичною загрузкою матеріалу, як об'єкту керування, розроблено імітаційну модель процесу подрібнення, що базується на дискретно-подійному підході моделювання стохастичних динамічних процесів. Виконане моделювання об'єкта керування показало, що контроль процесу завантаження млина дозволяє підняти продуктивність млина [2].

Обґрунтовано використання акустичних сигналів робочих зон струминної установки подрібнення для керування режимами процесу. Розроблено методику визначення відхилення режиму подрібнення від оптимального за допомогою аналізу параметрів акустичних сигналів робочої зони процесу, що дозволяє на основі попереднього аналізу характеристик сигналів оцінювати продуктивність млина. Аналіз експериментальних даних показав, що в процесі струминного подрібнення режими недовантаження або перевантаження

млина, які призводять до зниження його продуктивності, визначаються відхиленням потужності акустичних сигналів робочої зони млина на 20% від потужності сигналів при робочому режимі, що стало основою визначення робочого режиму подрібнення та контролю необхідних параметрів об’єкта керування [3].

Експериментально встановлено, що акустичні сигнали в протилежних граничних відносно ефективності подрібнення режимах завантаження млина (розвантаження і перевантаження, так званий технологічний «завал») мають різницю у значенні середньої амплітуди $A_{ср}$ більш ніж 2-4 рази. Це відмічено для лабораторного і промислового млина. Тому контролювати параметри об’єкту керування можна за величиною нормованої середньої амплітуди сигналів робочих зон млина. Для розробки системи керування продуктивністю млина встановлено зв'язок відносної потужність акустичних сигналів з продуктивністю і рівнем завантаження камери.

Розроблена регресійна модель процесу подрібнення за результатами акустичного контролю підтвердила переважний вплив на потужність сигналів рівня завантаження млина матеріалом, при цьому функцією відгуку регресійної моделі є потужність акустичних сигналів зони подрібнення струминного млина, факторами впливу прийняті основні технологічні параметри і продуктивність млина.

В роботі розроблена стохастична модель об’єкту керування для опису струминного подрібнення через параметри сигналів робочих зон подрібнювальної установки. Процес подрібнення розглядається як динамічна система, для якої стан однозначно визначається сукупністю акустичних сигналів в даний момент часу, і описується комірковою моделлю, заснованої на аналізі акустичних сигналів із застосуванням ланцюгів Маркова. Процес подрібнення в струминній установці з акустичним контролем робочих зон описується матрицями, що містять характеристики акустичних сигналів цих зон. Число матриць відповідає числу функціональних елементів установки, і вони об’єднуються в одну загальну блочну матрицю. Створена модель була верифікована на результатах подрібнення шамоту.

На основі встановлення закономірності зміни параметрів акустичних сигналів в залежності від завантаження робочої зони млина розроблено спосіб керування роботою бункера завантаження та створено пристрої для реалізації способу, що захищені патентом на корисну модель.

Система автоматичного керування процесом подрібнення заснована на побудованій моделі об’єкту, моделі бункеру завантаження і результатах акустичного контролю й визначення параметрів робочого режиму. В якості

регульованого параметра системи керування використана зміна концентрації масопотоків в зоні подрібнення. Основним збурюючим впливом при подрібненні є зміна наповненості потоків матеріалом. Сигнал завдання формується на основі моделювання массопотоків з урахуванням технологічних умов (параметрів енергоносія, режиму класифікації), властивостей і крупності початкового матеріалу, а також результатів аналізу акустичних сигналів робочих зон подрібнювальної установки [4].

Створено новий метод автоматичного керування продуктивністю струминного млина за акустичними сигналами зони подрібнення, що полягає в контролі завантаження млина і якості продуктів подрібнення в умовах зміни режимів процесу і крупності сировини і дозволяє підтримувати найвищу ефективність процесу. Розроблено алгоритми роботи системи автоматичного керування завантаженням млина, програмне та технічне забезпечення її реалізації, імітаційну модель роботи системи керування.

Запропоновано алгоритм та методику безперервного безконтактного контролю і керування продуктивністю струминного млина, які перевірено в промислових умовах Вільногірського гірничо-металургійного комбінату, що дозволяє підвищити продуктивність млина на 10 - 20 % в залежності від крупності продукту.

Література

1. Acoustic monitoring of jet grinding / N.S. Pryadko, K.V. Ternova; NAS of Ukraine, Institute of Technical Mechanics of NAS of Ukraine and SSA of Ukraine. — Kyiv : Akadem periodyka, 2020. — 192 p.

2. Прядко Н.С. Информационные технологии для оптимизации тонкого измельчения материалов // Системные технологии моделирования сложных систем/ Монография под общей ред. проф. А.И. Михалева.- Днепр:НМетАУ-ИВК«Системныетехнологии», 2016.- 608с.- С. 427 – 462.

3. Pryadko N., Muzyka L., Strelnikov H., Ternova K. Acoustic method of jet grinding study and control // E3S Web of Conferences 109, 00074 (2019) Essays of Mining Science and Practice 2019 p.1-11https://doi.org/10.1051/e3sconf/201910900074

4. Muzyka L.V., Pryadko N.S., Strelnikov H.A., Grenev A.F. Control of mass flow in jet mill on base of acoustic monitoring //Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2019. – №4. – P.5-10.http://nv.nmu.org.ua/index.php/ru/DOI:10.29202/nvngu/2019-4/3

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.010

ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ОХОЛОДЖЕННЯ БУНТОВОГО ПРОКАТУ ЗІ СТАЛЕЙ ПЕРЛІТНОГО КЛАСУ В ЛІНІЇ ДРІБНОСОРТНО-ДРОТОВОГО СТАНА

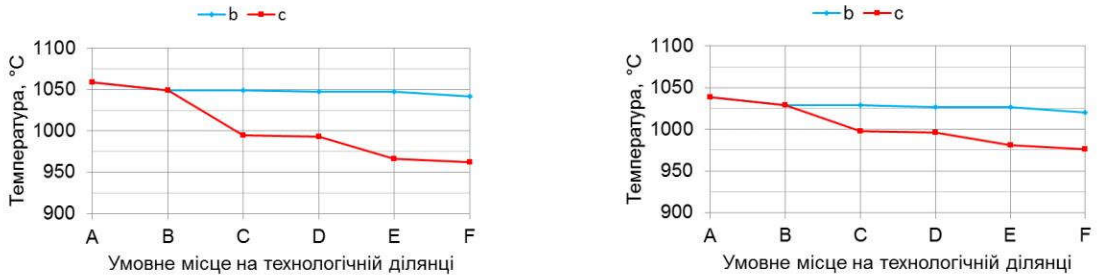
[1]Парусов Е. В. к.т.н., с.н.с., [2]Губенко С. І. д.т.н., проф.,
[1]Воробей С. О. д.т.н., с.н.с., [1]Чуйко І. М. к.т.н.

[1]Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (Україна)
[2]Національна металургійна академія України (Україна)

Вступ. Бунтовий прокат зі сталей перлітного класу й вмістом вуглецю 0,7…0,9 % відносять до відповідального сортаменту металопродукції, тому до його показників якості нормативною документацією пред'являються дуже жорсткі вимоги. При виробництві такого прокату зазвичай використовують безперервні дрібносортно-дротові стани, оснащені швидкісними блоками чистових клітей і лінією охолодження типу Стелмор [1]. Після останньої чистової кліті дротового блоку прокат піддають охолодженню водою, далі він розкладається витками на транспортер і остаточно охолоджується повітрям за допомогою дуттьової вентиляторної системи. Окрім впливу субструктури гарячої деформації [2] на формування остаточної структури суттєво впливає інтенсивність стадій водяного та повітряного охолодження прокату [3, 4]. Під час водяного охолодження між поверхневими і центральними шарами прокату виникає градієнт температур, який зумовлює формування структурної нерівномірності за поперечним перерізом прокату, що посилюється зі збільшенням його діаметру. Приймаючи до уваги викладене, необхідно дослідити після завершення гарячого пластичного деформування вплив параметрів режиму охолодження на розподіл температур у поперечному перерізі прокату перед початком повітряного охолодження.

Результати досліджень та їх обговорення. Вплив параметрів режиму завершальної стадії деформаційно-термічної обробки (ДТО) на особливості розподілу температур у поперечному перерізі прокату зі сталі із вмістом вуглецю 0,8 % визначали за допомогою розрахункового методу для діаметрів 5,5 мм та 14,0 мм з використанням водяного охолодження і без нього. Для розрахунку розподілу температур у поперечному перерізі прокату

використовували метод кінцевих різниць. В якості вихідної приймали температуру прокату на вході в дротовий блок. Додатково враховували розігрів прокату в дротовому блоці. Коефіцієнт тепловіддачі розраховувався за емпіричним рівнянням з урахуванням температури поверхні прокату, витрат води і діаметру форсунок (в разі застосування водяного охолодження). На рис. 1 наведено зміну середньомасової температури прокату при його переміщенні на ділянці «остання чистова кліть дротового стану → початок повітряного охолодження» за умови відсутності та застосування водяного охолодження. У відповідності до графічних даних застосування водяного охолодження викликає ступінчасту зміну середньомасової температури прокату (криві з літерою «с»). У разі відсутності водяного охолодження зменшення середньомасової температури прокату у 4,3…5,7 разів менше, ніж при застосуванні водяного охолодження (17…19 °С проти 97…82 °С). При цьому найбільше зменшення середньомасової температури при водяному охолодженні є характерним для прокату діаметром 5,5 мм.



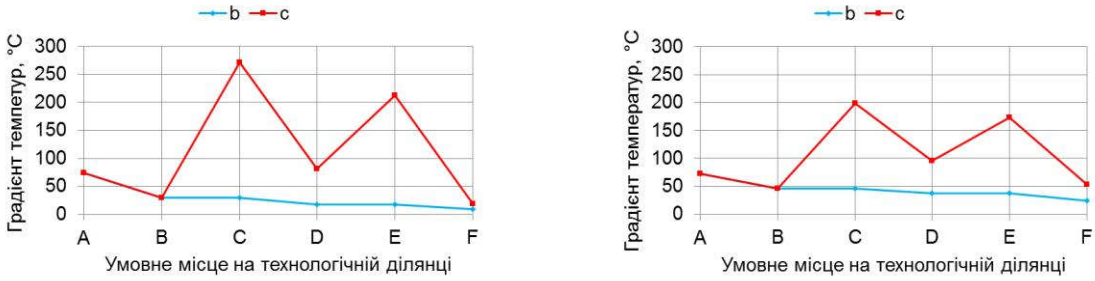
а б

а – Ø 5,5 мм; б – Ø 14,0 мм; b – водяне охолодження відсутнє; с – водяне охолодження присутнє; А – вихід з чистової кліті; В, D – вхід у перший і другий охолоджувальний пристрій відповідно; С, Е – вихід з першого і другого охолоджувального пристрою відповідно; F – початок повітряного охолодження;

Рисунок 1 – Зміна середньомасової температури прокату в лінії дротового стана

Градієнт температури між поверхнею та центром прокату досягає максимальних показників після водяного охолодження у кожній з охолоджувальних секцій (рис. 2), при цьому максимальна різниця температур в залежності від профілерозміру прокату складає 272…199 °С. При вимкненні охолоджувальних пристроїв на технологічній ділянці різниця температур між

поверхнею і центром прокату перед початком повітряного охолодження у ~ 2,0…2,2 рази менша, ніж із використанням водяного охолодження (9…24 °С проти 18…53 °С). При цьому для прокату діаметром 14,0 мм градієнт температури перед початком повітряного охолодження є найбільшим.



а б

а, б, b, c, A, B, C, D, E, F – дивись підрисункові позначення до рис. 1;
Рисунок 2 – Градієнт температури у поперечному перерізі прокату застандартної технології

Процеси статичної рекристалізації в гарячекатаній сталі (прокаті) найбільш повною мірою відбуваються на ділянці «остання чистова кліть дротового стану → початок безперервного охолодження». Температурні умови, які формуються у поперечному перерізі прокату під час водяного охолодження, зумовлюють формування різнозеренності, що викликає значну структурну неоднорідність й зниження механічних властивостей металовиробів. За рахунок підвищення середньомасової температури прокату зростає зерно аустеніту й, відповідно, збільшується його стійкість при наступному безперервному охолодженні. В цьому випадку критична точка A_{r1} зміщується в область більш низьких температур, що забезпечує термодинамічний стимул до формування більш дисперсної та однорідної структури перліту.

На відміну від зазначеного, зниження середньомасової температури перед початком безперервного охолодження чинить гальмівний вплив на процеси рекристалізації, зеренна структура аустеніту подрібнюється, а критична точка A_{r1} зміщується до більш високих температур [3]. Отже, температурно-швидкісний регламент гарячого пластичного деформування та параметри режиму охолодження прокату можна віднести до головних металургійних

чинників, які впливають на рівномірність розподілу структурних складових у поперечному перерізі прокату.

Висновки. Результати досліджень свідчать про те, що у промислових умовах існують усі необхідні передумови щодо ефективного впливу ДТО на процеси структуроутворення й забезпечення більш рівномірного розподілу структурних складових у поперечному перерізі бунтового прокату. Підвищення середньомасової температури збільшує стійкість аустеніту перед початком безперервного охолодження, а разом з відсутністю водяного охолодження забезпечує формування більш дисперсної та однорідної структури прокату зі сталей перлітного класу.

Література

1. Режим двухстадийного охлаждения катанки из стали 80КРД на линии Стилмор / Э. В. Парусов и др. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2006. № 3. С. 64–67.

2. Парусов Э. В., Губенко С. И., Сычков А. Б., Сагура Л. В. О влиянии дислокационной субструктуры горячей деформации и микродобавок бора на формирование пластинчатого перлита в процессе непрерывного охлаждения бунтового проката. Металловедениеитермическаяобработкаметаллов. 2016. № 3. С. 40–46

3. Парусов Э. В., Парусов В. В., Сагура Л. В. Влияние температуры аустенитизации на дисперсность перлита углеродистой стали. Металловедение и термическая обработка металлов. 2015. № 2. С. 14–18.

4. Парусов Е. В., Чуйко І. М., Парусов О. В., Голубенко Т. М., Сівак Г. І. Про вплив швидкості безперервного охолодження та тепла рекалесценції на особливості дифузійного розпаду аустеніту в високовуглецевих сталях. Теорія і практика металургії. 2019. № 6. С. 33–40.

DETERMINATION OF RATIONAL PARAMETERS OF COOLING OF PEARLITIC GRADE STEELS WIRE ROD IN THE LINE OF WIRE ROLLING MILL

Parusov Eduard, Gubenko Svitlana, Vorobei Serhii, Chuiko Ihor

Abstract. Wire rod from pearlitic steels and carbon content of 0.7-0.9 % is attributed to the responsible range of metal products, so its quality indicators are subject to very strict regulatory requirements. The results of research indicate that in industrial conditions there are all the necessary prerequisites for the effective

impact of deformation-heat treatment on the processes of structure formation and ensure a more uniform distribution of structural components in the cross section of the wire rod. Increasing the average mass temperature increases the stability of austenite before the start of continuous cooling, and together with the lack of water cooling provides the formation of a more dispersed and homogeneous structure of wire rod of pearlitic grade steel.

Keywords: wire rod, pearlitic grade steel, deformation-heat treatment

References

1. Parusov E. V. et al. Rezhim dvustadiynogo okhlazhdeniya katanki iz stali 80KRD na linii Stelmor [Two-stage cooling mode for 80KRD steel wire rod on the Stelmore line]. Metallurgical and mining industry. 2006. No. 3. Pp. 64–67.

2. Parusov E. V., Gubenko S. I., Sychkov A. B., Sahura L. V. O vliyanii dislokatzionnoi substruktury goryachei deformatzii i mikrodobavok bora na formirovanie plastinchatogo perlita v protzesse nepreryvnogo okhlazhdeniya buntovogo prokata [About the influence of the dislocation substructure of hot deformation and microadditions of boron on the formation of lamellar pearlite in the process of continuous cooling of wire rod]. Metal science and heat treatment of metals. 2016. No. 3. Pp. 40–46.

3. Parusov E. V., Parusov V. V., Sahura L. V. Vliyanie temperatury austenitizatsii na dispersnost' perlita uglerodistoi stali [Influence of the austenitizing temperature on the dispersion of pearlite in carbon steel]. Metal science and heat treatment of metals. 2015. No. 2. Pp. 14–18.

4. Parusov E. V., Chuiko I. M., Parusov O. V., Golubenko T. M., Sivak G. I. Pro vplyv shvydkosti bezperervnogo okholodzhennya ta tepla rekalestzentzii na osoblyvosti dyfuziinogo rozpadu austenitu v vysokovugletzevykh stalyakh [About the influence of the rate of continuous cooling and heat of recovery on the features of diffusion decay of austenite in high-carbon steels]. Theory and practice of metallurgy. 2019. No. 6. Pp. 33–40.

РОЗВИТОК ТРУБОПРОВІДНИХ СТАЛЕЙ УКРАЇНИ ТА ПОРІВНЯННЯ ЗІ СВІТОВИМИ СТАНДАРТАМИ

Петрина Д.Ю.[1], Кикавець В.М.[2]

[1]Професор, д. т. н., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна
[2]Студент групи ПМ-20-1К., Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

Вступ. За рахунок своїх механічних характеристик сталь являється єдиним матеріалом для виготовлення трубопроводів великого діаметру в цілому світі. Перелік вимог до стану трубопровідних сталей є значним: границя міцності та текучості, твердість, ударна в’язкість, відносне видовження, корозійна стійкісь та стійкість до водневого розтріскування, хороша зварюваність. Відповідні вимоги формують базові характеристики сталей, які змінювалися відносно першого використання трубопроводів.У минулому столітті механічні властивості сталей, особливо міцність і в'язкість, поступово зростали завдяки досягненню металургії та технологій виробництва у відповідь на попит ринку на більш легкі та міцні сталі [1-5].

Завдяки розвитку технологічних процесів отримання відповідної структури металу, та оптимізації термообробки було досягнуто більш високу міцність та в'язкість, з покращеною корозійною стійкістю та зварюваністю та достатньою пластичністю. Розробка високоміцних низьколегованих сталей дала можливість отримати найефективніші співвідношення характеристик міцності та опору до корозійного окрихчення.

Ці сталі, як правило, містять від 0,05 до 0,2 макс.% вуглецю та невеликі добавки (у кількості менше 0,1 макс.% кожного елемента) Nb, Ti та V. Сталі можуть також містити інші легуючі елементи, такі як Mn та Mo, в кількості, що перевищує 0,1 макс.% [2]. Найбільш розповсюджені високоміцні низьколеговані сталі за Американським нафтовим інститутом (API) X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70, X80, X100 та X120)[3, 5]. Позначення X відповідає класу трубопроводу, а цифри відповідають мінімальній заданій границі текучості в ksi. Таке маркування прийнято у загальносвітовій практиці спорудження магістральних трубопроводів. Хоча в окремо взятих країнах відповідники

будуть залежати від фірми виробника та внутрішнього стандарту. Так у Російській Федерації стандартами ТУ(технічними умовами) передбачені класи міцності трубних сталей К34, К50, К55, К60, К65, де К – клас, цифрові значення – границя міцності у кгс/мм^2.

Високоміцні низьколеговані сталі мають високу міцність і чудову в'язкість, що пояснюється мікроструктурою – ферит/ голчастий ферит/бейніт. Тип мікроструктури залежить від хімічного складу сталей і від термообробки та температури прокату)[5, 6].

Основними «польовими» матеріалами труб на даний момент є сталі Х70, Х80 та їх аналоги (російська К65, німецька StE 550). Сталь Х70 була розроблена понад 35 років тому, а перший трубопровід зі сталі Х80 побудований в середині 80-х років минулого століття. Загальний тоннаж труб цих марок зростає з року в рік, хоча ще не перевищив тоннаж більш старіших сталей Х52, Х56. Проте останнім часом саме сталь Х80 вибирається як основна у проектах трубопроводів великої протяжності та підвищеного тиску.

Основними Українськими виробниками сталей магістральних нафтогазопроводів є міжнародний концерн «Метінвест» («Metinvest»), заснований на базі металургійного комбінату «Азовсталь» та містить у своїй структурі такі комбінати як: ММК ім. Ільїча, АКХЗ, «Інкор і КО», Promet Steel та інші; та міжнародна компанія «Інтерпайп» («Interpipe»), яка є вертикально інтегрована і складається з ряду заводів: Інтерпайп Втормет, Інтерпайп сталь, Інтерпайп НМТЗ (Новомосковський трубний завод) та інших. Металургійний комбінат «Азовсталь» був основним виробником трубної продукції за часів СРСР. Комбінат бере участь у важливих міжнародних проектах і на даний час Метінвест пропонує в якості матеріалу труб високотемпературний прокат сталей різного класу міцності за стандартом API Х42, Х46, Х52, Х60, Х65, Х70, Х80)[8]. Основний виробник труб великого діаметру (до 1420мм) був Харцизький трубний завод, яких входив у концерн «Метінвест» та за рахунок військовим діям на Сході України фактично припинив своє існування. Основним виробником трубної продукції компанії «Інтерпайп» є Новомосковський трубний завод. Підприємство спеціалізується на виготовленні труб магістральних газопроводів діаметром до 1020мм методом

електродугового зварювання. Основними матеріалами труб є сталі К50, К52, К55, К60 (17Г1С-У, 09Г2С, 13Г1С-У, 10Г2ФБЮ)[7]. Компанія виготовляє захисне поліетиленове покриття, яке варіюється в залежності від умов експлуатації труб та забезпечує можливість безпечної роботи в діапазоні температур від -40°С до +80°С.

Наступним етапом у виробництві труб великого діаметру стали матеріали класу міцності Х100 та Х120. Лідери у цьому виробництві, а це компанії Dillinger Hiitte, Mannesmannrohren Miilheim, JFE Nippon Steel розробили власні варіанти відповідних матеріалів. Основна потреба у сталях Х100 та Х120 – це зниження собівартості за рахунок зменшення товщини стінки труби за рахунок збільшення міцності трубопроводів при транспортуванні вуглеводнів на значні дистанції. Дані сталі застосовують на експериментальних ділянках трубопроводів Канади та Північної Америки)[2, 5]. Основною концепцією хімічного складу цих сталей є достатньо низьке значення вмісту вуглецю – приблизно 0,04%.

Таблиця – Основні механічні характеристики трубних сталей

Сталь	Границя плинності σ_y, МПа	Границя міцності σ_u, МПа	Відносне видовження δ, %
17Г1С	363	510	20
Х52	366	490	21
Х70	510	580	23
Х80	550	780	22
StE550	550	690	22
10Г2ФБЮ	550	620	20
К65	600	705	22
Х100	690	850	
Х120	883	1023	

Висновок. Основна тенденція розвитку трубобудування сконцентрувалася на здешевленні продукції та збільшенні робочих тисків за рахунок покращення

механічних характеристик матеріалів і, тим самим, зменшення металоємності вихідних труб. З середини 70-х років у світовій практиці застосовують нові методи високотемпературного прокату, який дозволив отримати структуру голчатого фериту та бейніту, що суттєво покращило міцність та в'язкість сталей трубопроводів. Це сталі типу Х70 та Х80, які стали основними матеріалами магістральних газопроводів за останні десятиріччя у міжнародній практиці. Сталі нового покоління типу Х100, Х120 мають покращені показники міцності і технологія їх виготовлення базується на отриманні структури бейніту за рахунок використання низько вуглецевих сталей, легування та керування процесу високо термічного прокату. Проте використання цих сталей не є масовим за рахунок підвищеної чутливості до в'язкого руйнування і зосереджене на дослідних ділянках вже існуючих газопроводів з додатковими механічними вкладками для безпеки зупинки повздовжніх тріщин.

Література

1. Zvirko, O., Tsyrulnyk, O., Nykyforchyn, H. Non-destructive evaluation of operated pipeline steel state taking into account degradation stage. Procedia Structural Integrity, 2020, 26, pp. 219–224. DOI: 10.1016/j.prostr.2020.06.025

2. T.N.Baker, "Microalloyedsteels," Ironmaking & Steelmaking, 43 (2016), 264-307.

3. Fulvio Siciliano, Douglas G. Stalheim J. Malcolm Gray. Modern High Strength Steels for Oil and Gas Transmission Pipelines. Metals Processing and Manufacturing Conference MPM 2007, Cairo, Egypt, 19-22 November, 2007, P. 75-83 DOI: 10.1115/IPC2008-64292

4. Ниркова Л.І., Гаврилішина О.В., Борисенко Ю.В. Електрохімічні та корозійно-механічні властивості трубної сталі різної категорії міцності в модельному грунтовому електроліті. ВІСНИК КНУТД №5 (126), 2018, С. 99-105 DOI:10.30857/1813-6796.2018.5.11.

5. Xiaodong Shao. Research on the Steel for Oil and Gas Pipelines in Sour Environment. MATEC Web of Conferences 238, 04010 (2018), ICNFM2018. Doi:10.1051/matecconf/201823804010

6. Ю. Ф. Морозов, М. Ю. Матросов, С. Ю. Настич, А. Б. Арабей Высокопрочные трубные стали нового поколения с феррито-бейнитной структурой / Металлург. – 2008. – № 8. – С. 39–42.

7. INTERPIPE / ИНТЕРПАЙП – международная Компания, производитель бесшовных и сварных труб, а также железнодорожных колес. Каталог продукції. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://interpipe.biz/clients/clientstubes/catalogs/1.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.043

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ДРОБНО-ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДЛЯ ОПИСУ ПРОЦЕСУ ЖИВЛЕННЯ ДВОФАЗНОЇ ЗОНИ, ЩО УТВОРЮЄТЬСЯ ПРИ ЗАТВЕРДІННІ МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

[1]Селівьорстова Т.В., [1]Селівьорстов В.Ю., [2]Мала Ю.А.

[1]Національна металургійна академія України

[2]Університет митної справи та фінансів

Двохфазна зона, що утворюється при переході розплаву з рідкого в твердий стан, часто може характеризуватись аномальною кінетикою протікання. Особливості кінетики в цьому випадку виникає у зв’язку з виникненням ефектів просторової нелокальності і, в ряді випадків, ефектів пам'яті, що підкоряються різним ступеневим законам [1-3]. Математичним апаратом, що дозволяє адекватно описувати такі процеси, є теорія інтегро-диференціювання дробового порядку [4-6].

Основна ідея моделювання полягає в заміні реального неоднорідного середовища двофазної зони модельним однорідним шраристим середовищем зі ступеневою пам’яттю та просторовою нелокальностю. При цьому реалізується неповний опис фільтраційного процесу диференціальним рівнянням дробового порядку, а наявність дробових похідних в модифікаціях основних законів і співвідношень свідчить про наявність, так званих, прихованих змінних [7].

Розглянемо випадок однофазного течії. Відправною точкою для виведення моделі, як і в класичному випадку, служить рівняння нерозривності, яке для течії в шпаристому середовищі має вигляд

$$\frac{\partial(\phi\rho)}{\partial t}+\operatorname{div}(\rho\mathbf{w})=q, \qquad (1)$$

де ϕ - шпаристість середовища, ρ – щільність рідини, що фільтрується, $\mathbf{w}$ – вектор швидкості рідини, q – щільність внутрішніх джерел маси, t – час.

У загальному випадку шпаристість залежить як від тиску рідини, так і від напруженодеформованого стану середовища [8]. Дендритно-шпаристе середовище часто проявляє в’язкопружні властивості [9]. При цьому наявність розвиненої мережі дендритів з фрактальною структурою призводить до

неадекватності класичних реологічних рівнянь Максвелла, Кельвіна-Фойгта або Зенера і вимагає переходу до їх дробнодіфференційних аналогів [10]. В результаті шпаристість буде функцією не тільки тиску, а й дробової похідної (або дрібного інтеграла) від тиску:

$$\varphi = \varphi\left(p, {}_0D_t^{\alpha}\left(p\right)\right),\ \alpha \in \left(-1,1\right), \tag{2}$$

де p – тиск, α – порядок дробової похідної, ${}_0D_t^{\alpha}\left(p\right)$ – дробова похідна.

Вплив тріщин в шпаристому середовищі на фільтрацію рідини може бути враховано модифікацією закону Дарсі. У роботах [11-13] запропоновані різні дробнодіфференціальні узагальнення даного лінійного закону. Однак в загальному випадку закон фільтрації є нелінійним. Однією з можливих нелінійних модифікацій закону фільтрації є

$${}_0D_t^{\gamma}\left(\nabla p\right) = -F\left(\left|\mathbf{w}\right|\right)\frac{\mathbf{w}}{\left|\mathbf{w}\right|},\ \gamma \in \left(0,1\right), \tag{3}$$

де $F\left(z\right)$ – задана функція. У граничному випадку $\gamma = 1$ рівняння (3) переходить у відомий [14] нелінійний закон фільтрації цілого порядку.

Закон (3) є за своєю природою субдиффузійним і може бути використаний для моделювання фільтрації в природних дендритно-шпаристих середовищах, в яких дендрити розподілені в середньому рівномірно за обсягом. У цьому випадку основний потік рідини визначається саме плином по міждендритним каналам, а шпариста частина середовища справляє гальмуючу дію на потік і грає роль областей захоплення частинок рідини.

Література

1. Газизов Р.К. Дробно-дифференциальный подход к моделированию процессов фильтрации в сложных неоднородных пористых средах / Р.К. Газизов, С.Ю. Лукащук // Информатика,вычислительнаятехникаиуправление.– 2017. – №4. – С. 104–112.

2. Аномальная диффузия радионуклидов в сильнонеоднородных геологических формациях / под. Ред.Л. А. Большова. М.: Наука, 2010. 342 с.

3. Sahimi M. Flow and transport in porous media and fractured rock: from classical methods to modern approaches. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. 733 p.

4. Самко С. Г., Килбас А. А., Маричев О. И. Интегралы и производные дробного порядка и некоторые их приложения. Минск: Наука и техника, 1987. 688 с.

5. Kilbas A. A., Srivastava H. M., Trujillo J. J. Theory and applications of fractional differential equations. Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 p.

6. Учайкин В. В. Метод дробных производных. Ульяновск: изд-во «Артишок», 2008. 512 с.

7. Учайкин В. В. Механика. Основы механики сплошных сред. СПб.: изд-во Лань, 2017. 860 с.

8. Николаевский В. Н. Геомеханика и флюидодинамика. М.: Недра, 1996. 448 с.

9. Ba J., Du Q., Carcione J. M., Zhang H., Muller T. M. Seismic exploration of hydrocarbons in heterogeneous reservoirs. Amsterdam: Elsevier, 2014. 370 p.

10. Mainardi F. Fractional calculus and waves in linear viscoelasticity. An introduction to mathematical models. Singapore: Imperial College Press, 2010. 367 p.

11. Caffarelli L., Vazquez J. L. Nonlinear porous medium flow with fractional potential pressure // Archive for Rational Mechanics and Analysis. 2011. V. 202. No. 2. P. 537–565.

12. Raghavan R. Fractional diffusion: performance of fractured wells // Journal Petroleum Science and Engineering. 2012. V. 92–93. P. 167–173.

13. Abiola O. D., Enamul H. M., Kassem M., Sidqi A. A. A modified memory-based mathematical model describing fluid flow in porous media // Computers and Mathematics with Applications. 2017. V. 73. No. 6. P. 1385–1402.

14. Чарный И. А. Подземная гидрогазодинамика. М.–Ижевск: РХД, 2006. 416 с.

FEATURES OF THE FRACTIONAL-DIFFERENTIAL APPROACH IMPLEMENTATION TO DESCRIBE THE PROCESS OF FEEDING A TWO-PHASE ZONE DURING SOLIDIFICATION OF METALS AND ALLOYS

Selivyorstova Tatjana, Selivyorstov Vadim, Mala Yuliia

Abstract. To describe filtration processes in complex dendritic-porous media, a number of fractional-differential mathematical models of diffusion type have been proposed.

A nonlinear equation containing fractional Riemann-Liouville derivatives with respect to time is described, which can be used to correctly describe the single-phase filtration of a non-Newtonian fluid in a porous medium.

Keywords: filtration; mathematical model; fractional derivative; fine differential equation; generalized Darcy's law.

References

1. Gazizov R.K. Fractional-differential approach to modeling filtration processes in complex heterogeneous porous media / R.K. Gazizov, S.Yu. Lukashchuk // Informatics, computer technology and management. - 2017. - No. 4. - S. 104–112.

2. Anomalous Radionuclide Diffusion in Highly Heterogeneous Geological Formations, ed. By L. A. Bolshov, (in Russian). M.: Nauka, 2010.

3. Sahimi M. Flow and transport in porous media and fractured rock: from classical methods to modern approaches. Weinheim: Wiley-VCH, 2011. 733 p.

4. S. Samko, A. Kilbas, O. Marichev, Fractional Integrals and Derivatives. Theory and Applications, (in Russian). Minsk: Nauka I technika, 1987.

5. Kilbas A. A., Srivastava H. M., Trujillo J. J. Theory and applications of fractional differential equations. Amsterdam: Elsevier, 2006. 523 p.

6. Учайкин В. В. Метод дробных производных. Ульяновск: изд-во «Артишок», 2008. 512 с. [V. V. Uchaikin, Fractional derivatives method, (in Russian). Ul'yanovsk: izd-vo “Artishok”, 2008.]

7. V. V. Uchaikin, Mechanics. Basics of continuum mechanics, (in Russian). SPb.: izd-vo Lan’, 2017.

8. V.N. Nikolaevsky, Geomechanics and fluidodynamics, (in Russian). M.: Nedra, 1996.

9. Ba J., Du Q., Carcione J. M., Zhang H., Muller T. M. Seismic exploration of hydrocarbons in heterogeneous reservoirs. Amsterdam: Elsevier, 2014. 370 p.

10. Mainardi F. Fractional calculus and waves in linear viscoelasticity. An introduction to mathematical models. Singapore: Imperial College Press, 2010. 367 p.

11. Caffarelli L., Vazquez J. L. Nonlinear porous medium flow with fractional potential pressure // Archive for Rational Mechanics and Analysis. 2011. V. 202. No. 2. P. 537–565.

12. Raghavan R. Fractional diffusion: performance of fractured wells // Journal Petroleum Science and Engineering. 2012. V. 92–93. P. 167–173.

13. Abiola O. D., Enamul H. M., Kassem M., Sidqi A. A. A modified memory-based mathematical model describing fluid flow in porous media // Computers and Mathematics with Applications. 2017. V. 73. No. 6. P. 1385–1402.

14. I. A. Charnyi, Underground hydro-gas dynamics, (in Russian). M.-Izhevsk: RChD, 2006.

СТАТИЧНИЙ І ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ Н-РОТОРІВ ДАР'Є З РОЗСУВНИМИ ЛОПАТЯМИ І ТРАВЕРСАМИ

Тарасов С.В., Дорош О.В.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України

Потужність вітроустановок безпосередньо пов'язана з геометричними розмірами їх роторів. Для горизонтально-осьових ВЕУ визначальним геометричним параметром в цьому сенсі є діаметр ротора, що залежить від довжини лопатей. У вертікально-осьових ВЕУ, в першу чергу з Н-ротором Дар'є. це діаметр ротора і довжина лопатей, які є незалежними параметрами. Природним обмеженням зазначених геометричних параметрів роторів є граничні механічні навантаження, що виникають в процесі роботи. Проектувальники вітроустановок зазвичай адаптують розміри ротора до типової середньої швидкості вітру в місці їх розташування.

Для досягнення максимально можливої потужності в умовах швидкості вітру, що сильно варіюється, було запропоновано використовувати лопаті і траверси змінної довжини. Зміна довжини лопатей і траверс дозволяє варіювати енерговіддачу ротору, адаптуючись до поточних параметрів вітрового потоку. Кероване варіювання довжини траверс збільшуватиме або зменшуватиме захоплення вітрового потоку і забезпечуватиме кероване вироблення механічної енергії.

Розроблена двохстадійна процедура оптимізації вертикально осьових Н-роторов Дар'є передбачає два базових етапи. На першому етапі виконується оптимізація геометричних і енергетичних параметрів ротора з метою набуття максимального значення коефіцієнта потужності залежно від коефіцієнта швидкохідності. На другому етапі параметри ротора оптимізуються з метою отримання максимальної річної енерговіддачі на одиницю ометаємої площі ротора. Розрахунки першого етапу виконуються з використанням отриманого на основі однотрубчатої імпульсної моделі обтікання ротора співвідношення для коефіцієнта потужності.

Із співвідношення для коефіцієнта потужності виходить, що істотним резервом для підвищення ефективності Н-ротора Дар'є є можливість варіювання його радіусу. Конструктивно це виражається у виконанні траверс у

вигляді телескопічно розсовувних конструкцій. Величина коефіцієнта потужності значною мірою визначається коефіцієнтом заповнення ометаємой площіа, отже, радіусом ротора від якого вона зокрема залежить.

В процесі дослідження напружений-деформованого стану трансформованих (розсувних) лопатей розглядалися два варіанти частини, що висувається, – вона або «одягається» на нерухому частину, або всовується всередину неї. Такі ж варіанти виконання можливі і для траверс. Розроблено конструктивний варіант Н-ротора Дар'є з траверсами і лопатями змінною довжини, дані оцінки силових факторів, що їх навантажують. Проведений статичний і динамічний розрахунок експериментальних конструкцій розсувних лопатей і траверс.

При виборі граничних умов для лопаті вона фіксувалася на одному кінці. Довжина висунення лопаті і силові дії варіювалися. Розглядалися мінімальне, середнє і максимальне висунення рухомої частини лопаті (траверси). В рамках досліджень проведений статичний і динамічний розрахунок експериментальних конструкцій розсувних лопатей і траверс. Розглядалися напруги і переміщення при різних величинах висунення рухомих частин. Визначений рівень напружено-деформованого стану і небезпечні перетини.

СЕКЦІЯ 3

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

SECTION 3

MATHEMATICAL MODELING OF COMPLEX SYSTEMS

ISSN-online 2708-0102

ДЕКОМПОЗИЦІЯ МАТРИЧНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Базилевич Ю. М., д.ф.-м.н., доцент

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

В роботі широке коло задач декомпозиції зведено до задачі про знаходження перетворення подібності допоміжних квадратних матриць, що дозволяє розглядати різні задачі декомпозиції з єдиних позицій; сформульовано й доведено теорему єдиності розв'язку задачі декомпозиції; розроблено спосіб виявлення систем, близьких до розщеплюваних; отримано необхідні й достатні умови існування перетворення подібності, що приводить одночасно кілька матриць до блочно-трикутного вигляду; розроблено алгоритм обчислення матриці цього перетворення; таким чином, вирішено задачу про найкращу ієрархічну декомпозицію системи рівнянь; розроблено новий підхід до вирішення систем лінійних диференціальних рівнянь в приватних похідних першого порядку.

Література

1. Базилевич Ю. Н. Численные методы декомпозиции в линейных задачах механики / Ю. Н. Базилевич. — Киев: Наук. думка, 1987. — 156 с.

2. Базилевич Ю. Н. Наилучшее приведение матриц к блочно-треугольному виду для задачиерархическойдекомпозиции / Ю. Н. Базилевич // Кибернетика и системный анализ. — 2017. — Т. 53, № 3. — С. 145—153.

3. Bazylevych Yu. Matrices diagonalization in solution of partial differential equation of the first order / Yu. Bazylevych, I. Kostiushko /AIP Conference Proceedings **2164**, 060004 (2019);https://doi.org/10.1063/1.5130806

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.011

УДК 626.862.35.32.01

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛУ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК

Балакін В.Ф., д.т.н., проф., Савкин С.В., аспірант

Національна металургійна академія України, Україна.

Вступ. Питанням експериментальних досліджень вібраційного обробки металів при зварюванні присвячена велика кількість робіт [1-5], при цьому відсутні описи моделей, що дозволяють визначати залишкові напруги в процесі релаксації. У наявних публікаціях описані лише тільки загальні принципи створення таких моделей [6], а також наводяться залежності, що дозволяють оцінити загальний рівень зниження залишкових напружень [7,8].

Таким чином, виникає необхідність в створенні математичної моделі вібраційної обробки для конструкцій різної форми, при якій можливе визначення всіх компонентів тензора напружень в довільній точці.

Основний матеріал. Для зварних з'єднань циліндричної форми, згідно [7], зварні конструкції розглядаються як нескінченно-довгі товстостінні циліндри, навантажені рівними тисками на поверхнях сполучення. Розрахунок напружень, що виникають в з'єднанні, проводиться за умови, що зварні поверхні знаходяться в плоскому деформованому стані.

При побудові математичної моделі зварювання труб вводяться такі припущення.

1. Матеріал труб, що зварюються є ідеально пружним і лінійно деформуємим.

2. Температурне поле в кожній точці поверхонь зварювання не залежить від координат точки.

Для побудови математичної моделі вібраційного обробки труб, що зварюються вводимо такі припущення:

- відбувається миттєве укладання шва по всій довжині;
- лінії зварювальних швів є лініями нагріву до температури зварювання;
- зварювані тіла і деформація їх матеріалу є пружно-пластичними;
- пластична течія матеріалу має хвильовий характер.

При цьому вважається, що пластична деформація розглядається як сукупність послідовно протікаючих елементарних релаксаційних актів, в ході яких, в області поблизу концентраторів напружень, зароджуються зрушення.

Осцилюючий характер пластичної течії дозволяє розглядати цей процес як автоколивальний. Визначивши власну частоту осциляцій пластичної течії, можна за допомогою резонансного зовнішнього вібраційного впливу викликати штучне підвищення інтенсивності пластичної течії твердого тіла (металу або сплаву), і за рахунок цього домогтися зниження величини зусилля деформації [9].

Математична модель трубного зварного з'єднання, в умовах вібраційного впливу має вигляд:

$$U = \iint_V Wrdrdz \to min, \quad (1)$$

$$u_{\tau\vartheta} = u_{\tau\chi}; \quad (2)$$

$$u_{\gamma\vartheta} = u_{\gamma\chi}; \quad (3)$$

$$m\omega_0 + min\, Q(\alpha) < \omega < m\omega_0 + \max Q(\alpha). \quad (4)$$

Рівняння (1) представляє собою мінімізацію функціоналу потенційної енергії, що накопичується в з'єднанні; (2), (3) – обмеження у вигляді рівності, що описують умови зчеплення шарів; (4) – обмеження у вигляді нерівностей для частот вібраційного пристрою.

Співвідношення (4) описує межу частотної смуги, в межах якої вібраційний вплив має стимулюючу дію на процес пластичної деформації.

Тут: W – питома потенційна енергія, що накопичується в одиничному шарі металу; $u_{\tau\vartheta}, u_{\tau\chi}, u_{\gamma\vartheta}, u_{\gamma\chi}$ - дотичні компоненти вектора переміщень шарів металу з діаметрами ϑ и χ; $Q(\alpha)$ – функція зовнішнього впливу; V – об'єм зварювальних шарів; ω – циклічна частота навантаження; ω_0 – власна циклічна частота осциляцій; α – початкова фаза навантаження; m – число шарів.

Питома потенційна енергія одиничного шару складається з потенційних енергій взаємодії окремих частинок [10]:

$$W = \sum_{i=1}^{n} W_i, \quad (5)$$

де W_i – питома потенційна енергія i – ої частинки; n – число частинок в шарі.

Для питомої потенційної енергії частинки має місце наступна формула [9]:

$$W_i = \theta \cdot \frac{A}{d^m}\left(\frac{d^m}{r} - \left(\frac{d}{r}\right)^n \cdot \frac{m}{n}\right) \quad (6)$$

Тут: d – діаметр частинки; r – відстань між найближчими сусідніми частинками; A, θ – постійні для заданої речовини ($A \geq 0$; $\theta \geq 0$); m – число шарів.

Для знаходження об'єму V зварювальних шарів має місце наступна формула:

$$V = \pi n m (\chi - \vartheta)^2/4. \quad (7)$$

У процесі зварювання пластична течія втрачає автоколивальний характер і повністю підпорядковується зовнішній дії вібрації, тобто настає так званий вібропластичний ефект, при цьому компоненти тензора напружень знаходяться з рішення диференціального рівняння:

$$\ddot{y} + 2\delta \cdot \dot{y} + \omega_0^2 \cdot y = \mathrm{F}(\omega t + \alpha; y_a; \varepsilon; t), \quad (8)$$

Тут: ε – оператор тензора деформацій ε_{ij}; t – час; y_a – вихідні напруги, створені зовнішнім впливом; $\mathrm{F}(\omega t + \alpha; y_a; \varepsilon; t)$ – функція вібраційного змушуючого впливу; y – оператор тензора напружень y_{ij}.

Висновки. В процесі чисельного експерименту визначалося вплив геометричних, фізико-механічних властивостей матеріалів, що зварюються, частотних характеристик вібраційного впливу на величини напружень в зварному з'єднанні.

Наведені вище залежності дозволяють зробити висновки про доцільність застосування математичного моделювання з метою прогнозування величини залишкових напруг у зварних швах і біляшовних зонах зварних труб в залежності від застосовуваної в процесі зварювання частоти вібрації.

Література

1. Скаковский В.Д. Разработка технологии вибрационной обработки сварных конструкций балочного типа / автореферат диссертации на соискание ученой степени к.т.н., К., 1987.-16 с.

2. Рагульскис К.М. и др. Вибрационное старение. Л.: Машиностроение, 1987.- 72 с.

3. Анистратов В.Д., Гини Э.Ч. Вибрационное старение корпусных чугунных деталей станков: Обзор.- М.: НИИМАШ, 1981.- 36 с.

4. Иванова Г.Н., Могильнер М.Н., Полнов В.Г., Чикадали О.Д. Вибростабилизирующая обработка металлических деталей. - Алма-Ата, 1987. - 61 с.
5. Лащенко Г.И. Вибрационная обработка сварных конструкций. - К.: «Экотехнология», 2001. - 56 с.
6. Эльдарханов А .С. Применение физических методов моделирования для изучения влияния вибрации на процессы затвердевания сплавов // Дис. д-ра техн. наук. – Киев, 1996. – 321 с.
7. Балакин Ю. А., Гладков М. И. Расчет параметров вибрационной обработки кристаллизующихся металлов // Изв. вузов. Чер. металлургия. –2003.– № 9. – С. 56-60.
8. Полнов В.Г., Могильнер М.П. Определение режимов вибрационной обработки сварных конструкцій с целью снижения остаточных напряжений / Сварочное производство. - 1984. - №2. - С.32-33.
9. Дидык Р.П., Кузнецов Е.В., Забара В.Н. Физические основы прочности. Учебник. - Днепропетровск: «Наука и образование», 2005. – 608 с.
10. Подгорный А.Н., Марченко Г.А., Пустынников В.И. Основы и методы прикладной теории упругости. - К.: Вища школа, 1981. - 328 с.

MATHEMATICAL MODEL OF VIBRATION PROCESSING OF METAL DURING WELDING OF BILLETS

Balakin Valeriy, Savkyn Svyatoslav

Abstract. This article discusses methods for numerical measurement of the effect of vibration frequency on the physical properties of the metal. A literature review of known studies on the effect of vibration on the physical properties of metal. According to the wave theory of vibration, by determining the natural frequency of oscillations of the plastic flow, it is possible to intensify the process of metal processing by pressure and to achieve a reduction in the magnitude of the deformation force. The mathematical model of pipe welded connection in the conditions of vibration influence taking into account the assumptions necessary for approximation of calculations is offered. Particular attention was paid to the specific potential energy of a single layer, which consists of the potential energies of interaction of individual particles. The dependences presented in the work allow to make positive conclusions about the application of mathematical modeling in order to predict the level of residual stresses in welds.

Keywords: vibration, residual stresses, mathematical model, welded joint, specific potential energy.

References

1. Skakovsky V.D. Development of technology of vibration processing of welded structures of beam type / dissertation author's abstract on scientific degree competition Ph.D., K., 1987.-16 p.
2. Ragulskis K.M. and others. Vibration aging. L.: Mechanical Engineering, 1987.- 72 p.
3. Anistratov V.D., Gini E.Ch. Vibration aging of body cast-iron parts of machine tools: Review.- Moscow: NIIMASH, 1981.- 36 p.
4. Ivanova G.N., Mogilner M.N., Polnov V.G., Chikadali O.D. Vibration stabilizing treatment of metal parts.- Alma-Ata, 1987.- 61 p.
5. Lashchenko G.I. Vibration treatment of welded structures. - Kiev: "Ecotechnology", 2001. - 56 p.
6. Eldarkhanov A.S. Application of physical methods of modeling to study the effect of vibration on the solidification of alloys // Dis. Dr. tech. sciences. - Kiev, 1996. - 321 p.
7. Balakin Yu. A., Gladkov MI Calculation of the parameters of vibration treatment of crystallizing metals. Izv. universities. Black metallurgy. - 2003.– No. 9. - S. 56-60.
8. Polnov V.G., Mogilner M.P. Determination of modes of vibration processing of welded structures in order to reduce residual stresses / Welding production.- 1984.- No. 2.- P.32-33.
9. Didyk R.P., Kuznetsov E.V., Zabara V.N. Physical foundations of strength. Textbook. - Dnepropetrovsk: "Science and Education", 2005. - 608 p.
10. Podgorny A.N., Marchenko G.A., Pustynnikov V.I. Fundamentals and Methods of Applied Theory of Elasticity.- Kiev: Vischa Shkola, 1981.- 328 p

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.012

USING EVOLUTIONARY GAMES THEORY FOR PLAYERS BEHAVIOR ANALYSIS IN COMPETITIVE SHOOTING GAMES: A LITERATURE REVIEW

Baryshych L., Phd student, Baklan I., docent

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Kyiv, Ukraine

Introduction. The game theory is getting more attention as reinforced learning becomes more advanced and popular. The evolutionary approach means that we determine one's strategy selection process based on the changing environment. The term 'evolution' has to be interpreted as the process of learning based on the information exchange between agents and has its connection with its biological counterpart.

Evolutionary game is an any formal game theory model, in which [1]:

1. Strategies are shifting in time replacing lower payoff strategies with higher payoff.

2. There is an inertia in decision making process of an agent.

3. Agents do not systematically attempt to influence each other's strategies. We will further use Friedman's definition and would not narrow definition with assumptions as large population, bounded rationality, observable strategy and random matching. [1]

History of the Evolutionary games theory and finance. The evolutionary game theory applications differ from the orthodox game theory. Initially, it was used to address problems in evolutionary biology (Maynard Smith and Price, 1973; Maynard Smith, 1982; Taylor and Jonker, 1978). There, tendency of a strategy to change presented by behaviour of the population and ability to adapt. Later in economics evolutionary approach was used to investigate foundations of Nash Equilibrium and selection between several NE (e.g. Bin-more, 1991; Fudenberg and Kreps, 1993; Samuelson and Zhang, 1992)

Replicator dynamics. In finance, a research was focused on properties of the replicator equation. [2] It describes the evolution of the population strategy distribution and allows fitness function to incorporate the distribution of the population types (or agents types, as in economics). [3]

Behaviour analysis in cybersports. Cybersport is a competitive computer game, where players compete with each other. From a game theory point of view it can be subdivided to the set of strategies to be studied and analyzed. To narrow the subject we will further use ”Counter Strike: Global Offensive” (referred as CS:GO) as a prime example of a cybersports title. Counter Strike: Global Offensive is a competitive team-based shooting game, where players play either as attacking, or defending side. One game lasts 30 rounds, or until one team scores 16 points. After 16 round teams switch sides. They have to manage in-game economy to allocate resources, apply both tactical and strategic thinking and rely on mechanical skills. [7]

Game analysis. Mathematically speaking, CS:GO is:

– Both cooperative (in a team) and non-cooperative as a whole,

– Asymmetric, as two teams have different roles. It can be considered partly symmetrical if strategy considers only a half term,

– Non-zero-sum,

– Simultaneous,

– Imperfect information,

– Possibly combinatorical,

– Continuous and possibly differential,

– Evolutionary.

Evolutionary game theory applications in behaviour analysis in cybersport. Still to be done. Evolutionary strategy could be applied at the scale of a whole game if we use changing ingame economy as a target reward function

Conclusion. The game theory, by itself, is a well-studied field. But its applications are limited and its models can, and may, be narrowed to a more specific topics. Cybersport, as it is relatively fresh topic, is mostly unresearched.

References

1. Friedman, D. (1998). On economic applications of evolutionary game theory. Journal of EvolutionaryEconomics,8(1),15–43. doi:10.1007/s001910050054

2. Hofbauer J, Sigmund K. Evolutionary games and population dynamics. Cambridge: CambridgeUniversityPress; 1998

3. Roca, C. P., Cuesta, J. A., Sanchez, A. (2009). Evolutionary game theory: Temporal ´ and spatial effects beyond replicator dynamics. Physics of Life Reviews, 6(4), 208–249. doi:10.1016/j.plrev.2009.08.001

4. Borgers, T., Sarin, R. (1997). Learning Through Reinforcement and Replicator Dynamics. ¨ Journal of Economic Theory, 77(1), 1–14.doi:10.1006/jeth.1997.2319

5. Ippolito, P. (2019, September 20). Game Theory in Artificial Intelligence. Retrieved November 29, 2020, from https://towardsdatascience.com/game-theory-in-artificial-intelligence57a7937e1b88

6. Babak, O.V. Gasanov, A.S. Baklan, Igor. (2001). An algorithm for solving discriminant analysis problems using a multiplicative generalized variable. 14-20.

7. Counter Strike: Global Offensive. (n.d.). Retrieved December 23, 2020, from https://blog.counter-strike.net/

8. A reachability-based strategy for the time-optimal control of autonomous pursuers. (n.d.). Retrieved December 23, 2020, from https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03052150701593133

USING EVOLUTIONARY GAMES THEORY FOR PLAYERS BEHAVIOR ANALYSIS IN COMPETITIVE SHOOTING GAMES: A LITERATURE REVIEW

Baryshych Luka, Phd student, Baklan Igor, docent

Abstract. The paper is dedicated to the overview of current state of the evolutionary games approach to the building of environments to analyze players behavior. The evolutionary game theory applications differ from the orthodox game theory. Initially, it was used to address problems in evolutionary biology and later was suited for broader range of problems.

We will oversee the development of the evolutionary games theory in finance and its applications in behavior analysis in competitive gaming.

The paper is focused on replicator dynamics, learning model based on it and its possible application to behavior analysis based on fuzzy algorithms and approaches used in economics to be applied to the new emerging field of cybersports.

Keywords: game theory, cybersports, evolutionary games, behavior analysis, replicator strategy.

АСИМПТОТИЧНИЙ МЕТОД РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ПРО КОНТАКТ СКРІПЛЕНИХ ОРТОТРОПНИХ ПЛАСТИН, ПОСИЛЕНИХ СТРИНГЕРОМ

Білова О.В.,к.ф.-м.н.[1], Білова Ю.О.[2]

[1]Національна металургійна академія України

[2]НТУ «Дніпровська політехніка»

Введення. В різних галузях техніки, зокрема, авіа- та судобудуванні широко використовуються тонкостінні конструкції, посилені для збільшення їх міцності тонкими вузькими накладками (стрингерами) з жорсткішого матеріалу. Попри те, що добре відомо про існування і єдиність розв'язку подібних задач, проблема побудови саме рішень, а також знаходження НДС конструкцій залишаються в загальному випадку невирішеними. У зв'язку з цим була і залишається актуальною як проблема розробки нових методів рішення вказаних типів задач, так і дослідження напруженого стану конкретних видів конструкцій, зокрема пластин, посилених різними комбінаціями стрингерів (ребер жорсткості). Задачі такого типу мають довгу історію і насьогодні добре досліджені як для пружних ізотропних, так і анізотропних нескінченних або напівнескінченних тіл [1-5]. Відповідні ж задачі для тіл кінцевих розмірів, особливо багатошарових, вивчені в набагато меншому ступені [6, 7]. У даному дослідженні авторами якраз і продовжується аналіз розглянутих у попередніх публікаціях таких випадків передачі навантаження. Для вирішення використовується асимптотичний метод, грунтований на ідеях Л.І. Маневича та А.В. Павленка[1].

Основна частина. Розглядається контактна завдача про передачу навантаження пружним підкріплюючим елементом (стрингером) пружній пластині, що складається з двох сполучених між собою ортотропных прямокутників з різних матеріалів. Пластина закріплена з двох сторін. Стрингер розташований в середині вільних кромок (вісь стрингера перпендикулярна кромці пластини) і безперервно скріплений з нею. Приймається схема контакту по лінії.

Нехай пружна пластина, що складається з двох прямокутників $0 \le x \le h_1$, $h_1 \le x \le h_2$, $|y| \le b$, закріплена по гранямх $y = \pm b$ і вздовж осі Ох посилена стрингером, який в граничній точці $x=0$ навантажений подовжньою силой P_0.

Матеріали прямоукутників ортотропни і різні, головні напрямки анізотропії співпадають з декартовими осями координат x, y. Потрібно визначити закон зміни зусилля в стрингері, а також розподіл контактних зусиль взаємодії між стрингером та пластиною.

Задача зводиться до інтегрування рівнянь рівноваги (1) для кожного з прямокутників.

$$B_1 u_{xx} + G u_{yy} + (\nu^* B_1 + G)\upsilon_{xy} = 0, \qquad (1)$$
$$B_2 \upsilon_{yy} + G \upsilon_{xx} + (\nu_* B_2 + G) u_{xy} = 0,$$

за наступних граничних умов:

$$\sigma_{11} = B_1(u_x + \upsilon^* v_y) = 0, \sigma_{12} = G(u_y + v_x) = 0 (x = 0, x = h_1 + h_2);$$
$$u = u_c, v = 0 (y = 0); u = v = 0 (y = \pm b),$$

при x=h_1 переміщення прямокутників рівні, при цьому переміщения стрингера u_c задовольняють наступним співвідношенням

$$E_c F_c u_{cxx} = 2q(x), N = E_c F_c u_{cx} = P_0 (x = 0); N = 0 (x = h_1 + h_2).$$

Тут u, υ - компоненти вектора переміщень відповідних смуг, B_1, B_2 - жорсткості смуг на розтяг-стискання вздовж головних напрямів, G - жорсткість на зсув, $E_c F_c$ - жорсткість на розтяг-стискання стрингера, σ_{11}, σ_{12} - нормальне та дотичне зусилля в пластині, ν_*, ν^* - коефіцієнти Пуасона матеріалів смуг, $q(x)$ - контактне зусилля взаємодії між стрінгером та пластиною, $N(x)$ - зусилля в стрингере. Індекси x, y означають диференціювання за відповідними координатами. Так як при $y = 0$ $\upsilon = 0 (\upsilon_x = 0)$, то контактне зусилля взаємодії між стрингером та пластиною визначається за формулою (2).

$$q(x) = -\sigma_{12}\big|_{y=0} = -G u_y\big|_{y=0}. \qquad (2)$$

Зусилля в стрингере N(x) та контактне зусилля взаємодії між стрингером та пластиною q(x) знаходиться за формулами (3).

$$N(x) = E_c F_c u_x(x,0), \quad q(x) = -G u_y\big|_{y=0}, \qquad (3)$$

де функції $u_{ix}(x,0), u_{iy}\big|_{y=0}$ виражаються співвідношеннями (4) та (5).

$$u_{ix}(x,0) = -\frac{2}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\delta_i\left[\frac{P_i}{E_c F_c} - f(0)(-1)^n\right]\frac{\sin\alpha_i(n)x_i}{[n + g_i cth(\omega_i \alpha_i(n) b)]}, \qquad (4)$$

$$u_{iy}\Big|_{y=0} = -\frac{2\omega_i}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty}\delta_i\left[\frac{P_i}{E_c F_c} - f(0)(-1)^n\right]\frac{cth(\omega_i\alpha_i(n)b)\cos\alpha_i(n)x_i}{\left[n + g_i cth(\omega_i\alpha_i(n)b)\right]}, \quad (5)$$

$(i = 1,2).$

Висновки. Отримано розподіл напруження у стрингері, зусилля контактної взаємодії між стрингером та пластиною, а також напружень у пластині. Для дослідження застосований метод збурень Маневича-Павленка, що дозволив звести розв'язання крайових задач теорії пружності до послідовного розв'язання крайових задач теорії потенціалу. Також досліджена задача про передачу навантаження пружним стрингером пружному анізотропному тілу кінцевих розмірів, що складається із двох шарів із різних матеріалів (з циліндричною анізотропією). Розглянута також просторова задача про передачу навантаження від пружного підкріплюючого елемента до в'язкопружнього півпростору, головні напрямки анізотропії якого співпадають з декартовими осями координат.

Література

1. Маневич Л. И. Асимптотический метод в микромеханике композиционных материалов/Л. И. Маневич, А.В. Павленко. – К.: Вища шк., – 1991. – 131 с.

2. Гузь А. Н., Бабич С.Ю., Рудницкий В. Б. Контактное взаимодействие упругих тел с начальными (остаточными) напряжениями. Развитие идей Л. А. Галина в механике: монографія, Москва; Ижевск: Изд-во Ин-т/ компьютерных исследований, 2013. 480с.

3. Приварников А.К., Спиця О. Г. Осесиметричні контактні задачі для пружних багатошарових плит. Вісник Донецького університету. Серія А. Природничі науки, 2005. Вип. 1. С. 53–57.

4. Калоеров С. А., Самодуров А. А. Задача электровязкоупругости для многосвязных пластинок. Математичні методи та фізико-механічні поля, 2014. Т. 57. № 3. С. 62–77.

5. Кагадий Т. С. Метод возмущений в механике упругих (вязкоупругих) анизотропных и композиционных материалов: монографія, Днепропетровск: РИК НГА України, 1998. 260 с.

6. Кагадій Т.С., Білова О.В., Щербина І.В. Застосування методу малого параметру при моделюванні задач теорії в´язкопружності. Вісник Херсонського національного університету. 2(69) .Ч.3. Херсон, 2019. С. 69-76.

7. Кагадий Т.С. Передача нагрузки двуслойным телам конечных размеров. Вісник Дніпропетровського університету. Механіка. Дніпропетровськ. ДДУ, 2000. Вип.3. Т.2. С. 38-46.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАСЛІДКІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ СИТУАЦІЙ НА ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ

Біляєв М.М., д.т.н., проф.[1], Біляєва В. В., к.т.н., доц.[2], Берлов О. В., к.т.н., доц.[3]

[1]Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна
[2]Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна
[3]Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

Екстремальні ситуації на промислових об'єктах, при перевезенні небезпечних вантажів створюють загрозу життю працівників, які перебувають поблизу джерела небезпеки [1-3, 5] У доповіді розглянуті чисельні моделі, розроблені для прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій на промислових об'єктах, транспорті. Моделі орієнтовані на вирішення прикладних завдань, характерних при аваріях, теракти: пожежі, вибухи, емісія хімічно небезпечних речовин.

Перший клас комп'ютерних моделей розроблений для прогнозування хімічного забруднення повітряного середовища при аварійних викидах в транспортному коридорі або на території хімічно небезпечного об'єкта. Моделювання проводиться на базі фундаментальних рівнянь аеродинаміки і масопереносу [1, 4].

Розроблені математичні моделі дозволяють враховувати наступні фактори:

1. будівлі на території промислового об'єкта;
2. метеоумови;
3. рельєф;
4. рух джерела емісії;
5. режим викиду хімічно небезпечної речовини;
6. стратифікацію атмосфери.
7. емісію хімічно небезпечної речовини від рухомого джерела.

Для чисельного інтегрування моделюючих рівнянь використовуються неявні різницеві схеми розщеплення.

Особливістю застосовуваних різницевих схем є уявлення розрахункових залежностей у вигляді явних формул. Це дозволяє:

1. здійснити просту реалізацію граничних умов;

2. проста програмна реалізація розрахункових залежностей;

3. проста реалізація «внутрішніх» граничних умов;

4. проста «настройка» моделі на рішення нових завдань.

Другий клас моделей розроблений для оцінки ризику термічного ураження людей при тепловому забрудненні повітряного середовища (пожежа на АЗС, горіння вантажу в цистерні, пожежа на території промислового об'єкта). Чисельне моделювання проводиться на базі рівнянь аеродинаміки і теплопереносу [1, 5]. Розроблені моделі дозволяють оцінювати ризик термічного ураження людей і загоряння сусідніх об'єктів.

Розроблені математичні моделі дозволяють врахувати наступні фактори:

1. режим теплової емісії;

2. наявність будівель на шляху руху теплового фронту;

3. рух джерела теплової емісії;

4. метеоумови;

5. ймовірність різних аварійних сценаріїв на об'єкті.

Для чисельного інтегрування рівняння теплопереносу застосовуються дві групи різницевих схем [1, 2, 4, 5]. Кожна група схем відноситься до класу явних схем.

Для чисельного інтегрування рівняння Лапласа (модель потенційного течії) використовуються явні і неявні різницеві схеми.

Третій клас моделей розроблений для прогнозування наслідків надзвичайних ситуацій, при яких з'являється ударна хвиля (промисловий вибух, теракт на промисловому об'єкті, транспорті). Для моделювання процесу поширення ударної хвилі використовується рівняння Ейлера (модель нев'язкої надзвукової течії). Для чисельного інтегрування рівнянь Ейлера застосовується неявна різницева схема розщеплення. Розщеплення базових рівнянь проводиться так, щоб на кожному дробовому кроці розрахунок невідомих значень – щільності газу, компонент вектора швидкості, тиску перебував за явною формулою біжучого рахунку.

Представлені результати обчислювальних експериментів, проведені на базі розроблених моделей. Виконано розрахунки за оцінкою ризику ураження людей в разі наступних екстремальних ситуацій:

1. пожежа на АЗС;

2. вибух на АЗС;

3. пожежа на залізничній станції;

4. вибух на залізничній станції;

5. вибух на хімічному заводі;

6. хімічне забруднення атмосфери при аварійній емісії небезпечних речовин на хімічному об'єкті.

Час розрахунку одного варіанта завдання, на базі розроблених моделей, становить 5-15 секунд.

Розроблені чисельні моделі дають можливість швидко проводити серійні розрахунки за оцінкою розмірів зон ураження. Створені пакети прикладних програм дозволяють проводити прогнозні розрахунки на комп'ютерах малої і середньої потужності.

Література

1. Беляев Н. Н. Математическоемоделированиевзадачахэкологическойбезопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: монография [Текст] / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько,П. Б. Машихина.– Д. : Акцент ПП, 2013. – 159 с.

2. Беляев, Н. Н. Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов // Зб. наук. пр. НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. – № 42. – С. 160–167.

3. Беляев Н.Н., Берлов А.В., Козачина В.А., Калашников И.В., Шевченко А.В. Оценка риска термического поражения людей на промышленномобъекте в случае аварийного горения твердого ракетного топлива. Наука та прогрес транспорту. 2020. № 1 (85). С. 7–16. DOI:https://doi.org/10.15802/stp2020/200752

3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде [Текст] / М. З. Згуровский,В. В. Скопецкий,В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К. : Наук. думка, 1997. – 368 с.

4. Berlov O. V. Atmosphere protection in case of emergency during transportation of dangerous cargo / O. V. Berlov // Наука та прогрес транспорту. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. – Вип. 1 (61). – С. 48–54.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.013

КОНЦЕНТРАЦІЯ НАПРУЖЕНЬ В ОДНОРІДНІЙ ПЛАСТИНІ З КРУГОВИМ ОТВОРОМ, ПІДКРІПЛЕНИМ ВКЛЮЧЕННЯМ ІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ГРАДІЄНТНОГО МАТЕРІАЛУ

Гарт Е. Л., д-р фіз.-мат. наук, Терьохін Б. І., аспірант

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

В інженерній практиці тонкостінні конструкції, елементами яких є пластини і оболонки, знаходять широке застосування. Досить часто, за різних – конструктивних або технологічних міркувань, в них порушується суцільність різного роду отворами, що призводить до появи локальної концентрації напружень, яка може у декілька разів перевищувати основні напруження в елементі, неослабленому концентратором. Тому дуже важливо шукати способи впливу на розподіл напружень в тілі, зокрема, на величину коефіцієнта концентрації напружень (ККН) з метою підвищення міцності конструкції. Один із таких способів полягає у застосуванні навколо отворів включень, різних геометричних форм і механічних властивостей [2].

В останні роки все частіше використовуються функціонально-градієнтні матеріали (ФГМ), які характеризуються плавною просторовою зміною складу і властивостей. Градієнт властивостей дозволяє впливати на напружено-деформований стан (НДС) елементів конструкції. Особливість ФГМ робить їх дуже корисними для зниження міжфазних напружень, і тому вони знаходять широке застосування в аерокосмічній, енергетичній, електронній, хімічній, оптичній і біомедичній інженерії та ін. Механіка ФГМ в останні два десятиліття викликала великий інтерес, і було виконано багато робіт з теоретичних, числових та експериментальних досліджень ФГМ [1, 3].

У цій роботі проведено скінченноелементний аналіз НДС тонкої однорідної прямокутної пластини розмірами a×b з круговим отвором радіусу R та кільцевим включенням радіусу R_1 за дії одноосьового розтягувального навантаження. Розглянуто такі випадки: 1) включення із однорідного матеріалу ($E_{вкл} = 2E_0$, E_0 – модуль пружності пластини), 2) включення із ФГМ, що має радіальні довільні пружні властивості (лінійний і нелінійний закони змінення модуля пружності). Вважалося, що включення змодельовані

вставками, які розташовані у площині пластини і мають однакову з нею товщину; на границях включень задано умови жорсткого зчеплення.

Числовий аналіз. У числових прикладах вибрано три модельних матеріали з однаковим коефіцієнтом Пуассона ν_0 = 0,25, але з різними модулями пружності включення:

$$E_{-}(r) = E_0(1 + e^{-5(\frac{r-R}{R_1})}), \quad (1)$$

$$E_{\pm}(r) = 2E_0(1 - \frac{r-R}{2R_1}), \quad (2)$$

$$E_{+}(r) = 2E_0(1 - 0{,}5e^{-5(1-\frac{r-R}{R_1})}), \quad (3)$$

де $E_0 = 50 ГПа$ – модуль пружності пластини; r – відстань від центру отвору до довільної точки включення; R – радіус отвору; R_1 – радіус включення.

Вид залежності для модельного матеріалу (1) подібний [3].

На рис. 1 наведено графічне зображення законів змінення модуля пружності ФГМ-включення. Лінії 1–3 відповідають залежностям (1)–(3). Тут і далі на рисунках по осі абсцис відкладено нормалізовану параметричну відстань $0 \le l \le 1$ в радіальному напрямку від центру отвору по ширині включення $h_{вкл} = R_1 - R$: $l = (r - R)/(R_1 - R)$.

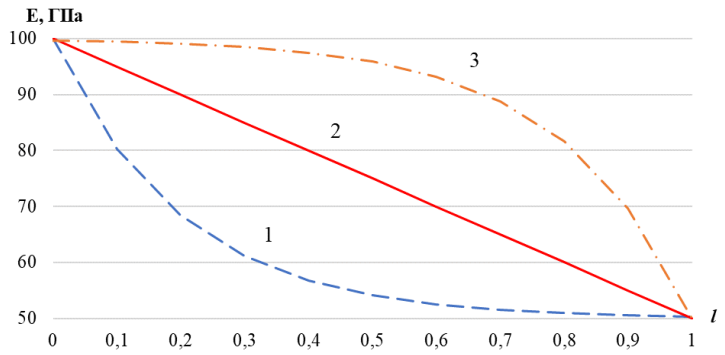


Рисунок 1 – Законизміненнямодуляпружності ФГМ-включення

Числові дослідження проведено для квадратних пластин товщини h=0,01 м зі стороною a=b=0,2 м, радіус кругового отвору R=a/20, навантаження розтягу p = 10 МПа.

У результаті проведених обчислювальних експериментів на основі методу скінченних елементів отримано розподіл інтенсивностей напружень і деформацій в пластині в зонах локальних концентраторів напружень. Розраховано коефіцієнт концентрації напружень (ККН) при одноосьовому розтягуванні пластини при ширині включення R і 2R, результати показані у табл. 1 і табл. 2 відповідно.

Таблиця 1

Задача	ККН	δ_1, %	ε_i^{max}, 10^{-4}	δ_2, %
Включення з однорідного матеріалу	4,20	+37,8	2,92	-31,3
ФГМ-включення 1	4,58	+50,0	3,53	-16,9
ФГМ-включення 2	4,55	+49,2	3,23	-24,0
ФГМ-включення 3	4,34	+42,4	3,03	-28,7

Тут δ_1 і δ_2 – відхилення ККН і максимального значення інтенсивності деформацій ε_i^{max} від відповідного значення для пластини без включення.

У випадку кільцевого включення ширини R із ФГМ максимальні деформації і ККН в пластині дещо більше, ніж за наявності «жорсткого» включення з однорідного матеріалу. Так, в разі ФГМ-включень 1 і 2 відмінність за максимальними напруженнями становить близько 12%, проте у разі ФГМ-включення 3 – відмінність менше 5%. Як видно з рис. 2, при використанні ФГМ, напруження по ширині включення в перерізі АВ в інтервалі $l \in [0,2;\ 0,9]$ виявляються менше, ніж при наявності включення з однорідного матеріалу. За характером розподілу напружень в даному перерізі всі три види ФГМ-включень близькі до параболічної закономірності і відрізняються від включення із однорідного матеріалу.

У разі ФГМ-включень 1 має місце механічний ефект: на стику включення і матриці можна спостерігати деяке збільшення відносної величини напружень σ_y/p (рис. 2).

Аналогічні розрахунки проведені для пластини з шириною включення, що дорівнює 2R. Результати наведені в табл. 2.

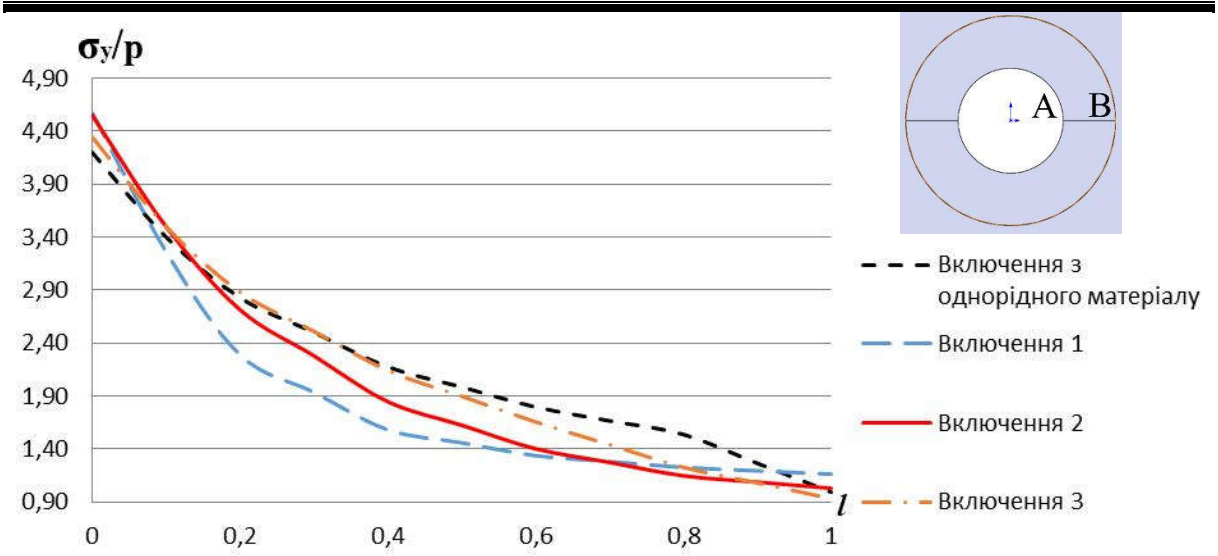


Рисунок 2 – Графікзмінивідноснихнапружень σ_y/p за шириноювключення у перерізі АВ при $h_{вкл}$=R

Таблиця 2

Задача	ККН	δ_1, %	ε_i^{max}, 10^{-4}	δ_2, %
Включення з однорідного матеріалу	3,80	+24,5	2,65	-37,7
ФГМ-включення 1	4,60	+50,9	3,41	-19,8
ФГМ-включення 2	4,32	+41,7	3,04	-28,5
ФГМ-включення 3	3,99	+30,7	2,79	-34,4

Тут ККН і максимальні деформації в пластині за наявності включень із ФГМ також виявляються дещо більше, ніж у випадку однорідного жорсткого включення. Однак, як видно з рис. 3, у цьому випадку напруження у перерізі АВ в інтервалі $l \in [0,2;\ 0,9]$ виявляються менше, ніж за наявності включення з однорідного матеріалу. За характером розподілу напружень у даному перерізі всі три види ФГМ-включень, так само, як у випадку включення ширини R, близькі до параболічної закономірності і відрізняються від включення з однорідного матеріалу.

Висновки. В результаті проведеного числового дослідження впливу зміни модуля пружності включення за радіальним напрямком на розподіл інтенсивностей напружень і деформацій в тонкій однорідній пластині поблизу

кругового отвору встановлено, що за наявності ФГМ-включень з певними механічними властивостями виникає можливість впливати не тільки на величину ККН в пластині поблизу локальних концентраторів напружень, а й на напруження по ширині включення. Використання ФГМ-включень призводить до плавного розподілу напружень в матриці без стрибкоподібних збурювань на відміну від однорідного жорсткого включення. Ширина ФГМ-включень впливає на характер розподілу напружень: чим більше ширина включення, тим плавніше відбувається перерозподіл напружень в матриці.

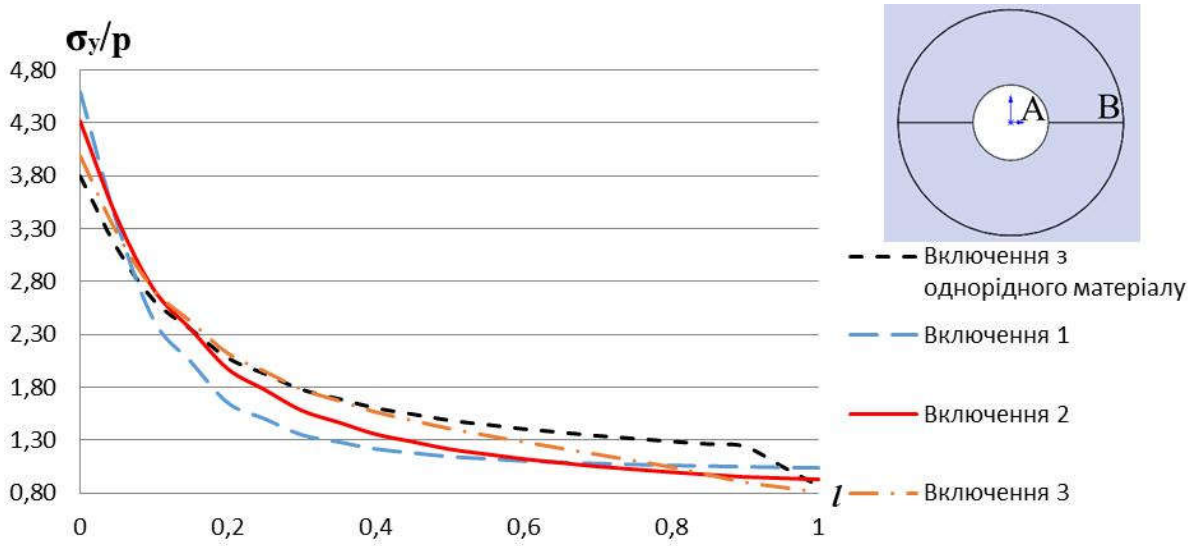


Рисунок3 – Графікзмінивідносних напружень σ_y/p заширинюювключення у перерізі АВ при $h_{вкл}$=2R

Література

1. Аналитические решения смешанных осесимметричных задач для функционально-градиентных сред / С.М. Айзикович [и др.]. М.: Физматлит, 2011. 192 с.

2. Гарт Е. Л., Терьохін Б. І. Вибір раціональних параметрів підкріплюючих елементів при комп'ютерному моделюванні поведінки циліндричної оболонки з двома прямокутними отворами // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій: зб. наук. праць. Дніпро: Ліра, 2019. Вип. 30. С. 19–32. DOI: https://doi.org/10.15421/4219024

3. Yang Q., Gao C.-F., Chen W. Stress analysis of a functional graded material plate with a circular hole // Arch. Appl. Mech. 2010. Vol. 80. P. 895-907. DOI: https://doi.org/10.1007/s00419-009-0349-3

STRESS CONCENTRATION IN A HOMOGENEOUS PLATE WITH A CIRCULAR HOLE REINFORCED BY AN INCLUSION FROM A FUNCTIONAL-GRADIENT MATERIAL

Hart Eteri, Bohdan Terokhin

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

Abstract. Computer simulation of the stress-strain state of a thin rectangular homogeneous isotropic plate with a circular hole, reinforced by an annular inclusion made of a functional-gradient material (FGM) has been carried out. The influence of the geometric (width) and mechanical (elastic modulus) parameters of the inclusion is investigated when various laws of change in the elastic modulus of the FGM are set on the stress concentration around the hole. Recommendations for the use of inclusions are given. If there is a "hard" annular inclusion in a homogeneous plate with a hole, it is expedient to use an FGM with a nonlinear law of change in the modulus of elasticity in comparison with an inclusion made of a homogeneous material. Despite the fact that the inclusion leads to a slight increase in the stress concentration factor in comparison with a homogeneous material, it makes it possible to increase the rigidity of the system as a whole. The width of FGM inclusions affects the nature of the stress distribution: the wider the inclusion, the more smoothly the stress redistribution in the main matrix occurs.

Keywords: homogeneous plate, circular hole, inclusions, functional-gradient material, stress-strain state, stress concentration, finite element method.

References

1. Analytical solutions of mixed axisymmetric problems for functional-gradient media / S.M. Aizikovich [and others]. Moscow: Fizmatlit, 2011. 192 p.

2. Hart E. L., Terokhin B. I. Choice of rational parameters of reinforcement elements in computer simulation of behavior of a cylindrical shell with two rectangular holes // Problems of Computational Mechanics and Strength of Structures: Col. of sci. art. Dnipro: Lira, 2019. Vol. 30. P. 19–32. DOI: https://doi.org/10.15421/4219024

3. Yang Q., Gao C.-F., Chen W. Stress analysis of a functional graded material plate with a circular hole // Arch. Appl. Mech. 2010. Vol. 80. P. 895-907. DOI: https://doi.org/10.1007/s00419-009-0349-3

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ КЕРАМІКИ НА ОСНОВІ НІТРИДУ КРЕМНІЮ

Гнилиця І.Д., к.т.н.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, Україна

При проведенні високотемпературного деформування встановлено, що різні механізми переносу маси вносять різний вклад у загальну деформацію і формування структури. Ступінь проявлення кожного окремого механізму залежить від початкового стану матеріалу (розмір зерен у вихідній структурі, кількість β-фази, кількість анізометричних зерен, кількість і склад між зернової фази) та умов деформування (температура, зусилля, ступінь обтиску).

Максимальний вплив на швидкість деформації в'язкий плин між зернової фази буде мати на початковому етапі, коли між зернами основного матеріалу є товсті шари рідкої між зернової фази, які можуть взаємно переміщатись. Із збільшенням часу ізотермічної витримки під навантаженням вплив в'язкого плину буде зменшуватись внаслідок витіснення між зернової фази на поверхню зразка і поступової її кристалізації. Хоча між зернова фаза поступово кристалізується, деяка її кількість все ж залишається в аморфному стані і саме ця частина між зернової фази буде дозволяти подальше проходження в'язкого плину.

Початок ковзання по границях зерен є первинним і основним механізмом пластичної деформації. Для проявлення пластичності нітридокремнієвих матеріалів, необхідна наявність дуже дрібних зерен розмір яких не перевищує 1 мкм.

На початковому етапі деформування в присутності великої кількості рідкої між зернової фази існують умови для інтенсивного протікання зерно граничного ковзання і воно разом з в'язким плином між зернової фази визначає найвищу швидкість деформації. По мірі витіснення між зернової фази на поверхню зразка і її кристалізації, зерно граничне ковзання буде поступово зменшуватись до моменту коли частина видовжених зерен почне проходити положення в якому значення дотичних напружень максимальні. На протязі часу коли видовжені зерна будуть проходити положення максимальних дотичних напружень, в якому зерно граничне ковзання найбільш полегшене, будемо спостерігати сталу швидкість деформації. Після закінчення цього інтервалу часу інтенсивність зерно граничного ковзання продовжує знижуватись до досягнення стадії встановленого деформування зі сталою швидкістю де зерно граничне ковзання характеризується певною сталою швидкістю.

На стадії встановленого деформування ми маємо справу з високотемпературною повзучістю, але протікання якої проходить в певних специфічних умовах. При повзучості зерно граничне ковзання значно стримується наявними в структурі матеріалу хаотично орієнтованими видовженими зернами β-Si_3N_4. При високотемпературній екструзії створюються умови, які сприяють переорієнтації видовжених зерен, в результаті чого останні перестають бути стримуючим фактором, зерно граничне ковзання полегшується і приводить до зростання швидкості деформації.

В перехідній зоні матриці видовжені зерна знаходяться в неоднорідному полі напружень. Під дією моменту сил, який виникає в цьому полі, видовжені зерна β-Si_3N_4 займатимуть положення співвісне з поздовжньою віссю симетрії матриці. Поворот зерен також здійснюється шляхом проковзування по границях зерен, але не в поздовжньому, а в поперечному напрямку. Оскільки переорієнтація зерен проходить завдяки ковзанню по границях, то вона теж суттєво залежить від кількості і в'язкості

рідкої між зернової фази. Поздовжній рух зерен при зерно граничному ковзанні в свою чергу також може сприяти їх повороту.

Під час високотемпературного деформування за рахунок різної рівноважної концентрації для зерен різних розмірів і за рахунок особливостей кристалохімічної будови гексагональних зерен β-фази, між зернами основного матеріалу буде проходити перенос маси за механізмом розчинення– перехід через між зернову фазу – осадження. На початковій стадії процес розчинення переважає над процесом осадження, атоми основного матеріалу надходять в рідку фазу, але ще не встигають пройти через неї і осісти на новому місці. Тому кількість рідкої між зернової фази в початковий період максимальна, в'язкий плин між зернової фази, зерно граничне ковзання та поворот зерен полегшені і, відповідно, максимальна швидкість деформування. Із збільшенням часу ізотермічної витримки при температурі деформування проходить витіснення між зернової фази в периферійні області зразка і поступова кристалізація рідкої між зернової фази, що в свою чергу приводить до зниження інтенсивності процесу розчинення – осадження. На стадії встановленого деформування в неоднорідному полі напружень розчинення – осадження буде проходити через зерно граничні шари аморфної між зернової фази, забезпечуючи подальший ріст видовжених зерен β-фази в здовжна напрямку деформування.

При ізотермічній витримці і кристалізації між зернової фази деформування відбувається зі сталою швидкістю за рахунок повороту існуючих видовжених зерен в перехідній зоні матриці та зерно граничного ковзання по тонких зерно граничних шарах аморфної між зернової фази, а компенсація викликаних ковзанням зерен розмірних змін проходить завдяки в'язкому плину між зернової фази.

Загальну швидкість деформації після закінчення перерозподілу зерен і між зернової фази, тобто на спадаючій ділянці кривої швидкості деформації можна представити через суму окремих складових:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_{2\max} \quad (1)$$

де ε – загальна швидкість деформації після припинення ядоущільнення; ε_0 – швидкість деформації за рахунок зерно граничного ковзання по тонких зерно граничних шарах аморфної між зернової фази; ε_1 – швидкість деформації за рахунок в'язкого плину між зернової фази та зерно граничного ковзання; ε_2 – швидкість деформації за рахунок повороту видовжених зерен; $\varepsilon_{2\max}$ – збільшення швидкості деформації за рахунок повороту видовжених зерен при проходженні ними кута максимальних дотичних напружень.

Швидкість сталого деформування ε_0 для кожного конкретного матеріалу (вид матеріалу і вид активуючих добавок) є деякою константою на протязі відрізку часі коли стан структури матеріалу дозволяє деформування в стані пластичності.

Швидкість деформації за рахунок в'язкого плину між зернової фази та зерно граничного ковзання ε_1 може бути представлена рівнянням виду:

$$\varepsilon_1 = \frac{PK_1}{TU} \cdot e^{-\frac{t}{K_1}} \quad (2)$$

де P – тиск на пуансоні; K_1 – кількість між зернової фази під час деформування; T – температура під час деформування; U – ступінь обтиску; t – час деформування.

Дане рівняння відображає прямо пропорційну залежність швидкості деформації за рахунок в'язкого плину між зернової фази та зерно граничного ковзання від прикладеного тиску та кількості між зернової фази і обернено пропорційну залежність цієї величини від температури і ступені обтиску. Залежність швидкості деформації від часу деформування вибрана оберненоекспоненціальною, причому крутизна спадання залежить від кількості між зернової фази.

Швидкістьдеформації за рахунок повороту видовжених зерен ε_2 та величину збільшення швидкості деформації за рахунок повороту видовжених зерен при проходженні ними кута максимальних дотичних напружень ε_{2max} можна виразити рівняннями:

$$\varepsilon_2 = \frac{PK_2K_3}{TUK_1t} \quad (3)$$

$$\varepsilon_{2max} = \frac{PK_2}{TU} \cdot e^{-K_2 \cdot (t-t_0)^2} \quad (4)$$

де P – тиск на пуансоні; K_2 – кількість видовжених зерен в структурі матеріалу; K_3 – середня довжина видовжених зерен; T – температура під час деформування; U – ступінь обтиску; K_1 – кількість між зернової фази під час деформування; t – час деформування; t_0 – час максимуму проходження видовженими зернами положення найбільшихдотичнихнапружень.

Рівняння (3), (4) відображають прямо пропорційну залежність швидкості деформації за рахунок повороту видовжених зерен від прикладеного тиску та кількості видовжених зерен в структурі і обернено пропорційну залежність цієї величини відтемпературиі ступеня обтиску.

Рівняння (3) представляє основний вклад повороту видовжених зерен в загальну швидкість деформації. Чим більша довжина видовжених зерен (коефіцієнт K_3) тим більший вклад вони вносять в загальну деформацію. Присутність кількості між зернової фази (коефіцієнт K_1) в знаменнику даного рівняння відображає повільніше спадання складової швидкості за рахунок повороту видовжених зерен при більшій кількостіміжзернової фази.

Рівняння (4) являє собою функцію нормального розподілу і буде вносити вклад в загальну швидкість деформації лише в околі часу t_0 під час проходження зернами положення під кутом 45^0 до осі матриці. Поєднання складових швидкості, виражених рівняннями (2), (3) і (4) в деякий момент часу приведе до появи горизонтальної ділянки на кривій швидкості деформації. Тривалість часу проявлення складової вираженої рівнянням (4) визначається коефіцієнтом K_2, тобто кількістю видовжених зерен в структурі.

Підставляючи рівняння (2), (3), (4) в рівняння (1) отримаємо рівняння загальної швидкостідеформації:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 + \frac{P}{TU} \cdot \left(K_1 \cdot e^{-\frac{t}{K_1}} + K_2 \cdot \left(\frac{K_3}{K_1 t} + e^{-K_2 \cdot (t-t_0)^2} \right) \right) \quad (5)$$

В загальному випадку представлене рівняння можна застосовувати для опису кривої швидкості деформації іншого керамічного матеріалу, який має добавки, що при високій температурі формують міжзернову фазу, і видовжені зерна в структурі.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.044

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ЗАЛІЗНИЧНОГО АВТОНОМНОГО ТЯГОВОГО МОДУЛЯ

Буреш Франтішек
АТ «Українські залізниці»

Створення сучасних транспортних засобів, як правило, супроводжується теоретичними та експериментальними дослідженнями динамічних та міцністних якостей створюваних конструкцій. Актуальним науково-прикладним завданням на сучасному етапі розвитку залізничного транспорту є розробка конструкцій автономних транспортних засобів, здатних виконувати транспортування рухомого складу залізниць на далекі відстані у безпілотному виконанні. При цьому перевезення можуть здійснюватися як вантажів, так і пасажирів. Унікальність даних транспортних засобів складається в тому, що їх конструктивне виконання дозволяє забезпечувати не тільки необхідну швидкість руху залізничною колією, а й отримувати необхідні динамічні характеристики та показники безпеки руху. Це можливо завдяки використанню оригінальних технічних рішень в конструкції механічної частини автономних тягових модулів. Дослідження динамічних якостей інноваційних конструкцій автономних тягових модулів можливо виконати за допомогою відповідної математичної моделі динаміки даного транспортного засобу з урахуванням параметрів взаємодії між екіпажною частиною та рейковою колією. Дана модель і пропонується автором для досліджень. Математична модель автономного тягового модуля, як складної механічної системи, представляє собою систему диференційних рівнянь.

Диференційні рівняння руху чотиривісного автономного тягового модуля складено у формі рівнянь Лагранжа другого роду [1-4]:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial \dot{q}_i} = Q_i + S_i^*, \quad (i = \overline{1,50})$$

де T и Π – кінетична та потенційна енергія системи; Φ – функція розсіювання; $q_i, \dot{q}_i$ – узагальнені координати та їх швидкості; Q_i – відповідні їм узагальнені сили, які не мають потенціалу; S_i^* – зовнішні сили.

Математична модель враховує типи зв'язків між твердими тілами системи, а також характер сил просковзування між колесами та рейками. Розроблена математична модель представляє собою систему диференційних рівнянь 100-го порядку, для вирішення якої розроблену відповідну програму розрахунків. Даний математичний апарат є основою для проведення комплексних теоретичних досліджень залізничних автономних тягових модулів як у одиночному русі, так і у складі поїзду. Математична модель враховує різні конструктивні виконання механічної частини автономних тягових модулів за аналогією з екіпажною частиною локомотивів [5-7], що дозволяє виконувати різноманітні теоретичні дослідження з визначенням

впливу конструктивного виконання та параметрів візків на показники динаміки та безпеки руху.

Література

1. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств : избр. тр. / В. А. Лазарян. – Киев : Наук. думка, 1985. – 528 с.
2. Garg V. Dynamics of Railway Vehicle Systems / V. Garg, R. Dukkipati. – Toronto : Academic press, 1984. – 407 p.
3. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей / Ю. В. Демин, Л. А. Длугач, М. Л. Коротенко, О. М. Маркова. – Киев : Наук. думка, 1984. – 160 с.
4. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, В. С. Иккол и др. – Киев : Наук. думка, 1989. – 240 с.
5. Мямлин С. В. Совершенствование конструкции ходових частей локомотивов / С. В. Мямлин, Л. А. Недужая // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – №5. – С. 124–136. DOI: 10.15802/stp2013/17977
6. Мямлин С. В. Особенности конструкции ходовых частей тягового подвижного состава / С. В. Мямлин, О. Лунис, Л. А. Недужая // Наука та прогрес транспорту. – 2017. – №3 (69). – С. 130–146. DOI: 10.15802/stp2017/104824
7. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomoties / Sergey Myamlin, Mukolaj Luchanin, Larysa Neduzha // TEKA. Commision of Motorization and Power Indastry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, №3. – P. 162–169.

MATHEMATICAL MODEL OF RAILWAY DYNAMICS AUTONOMOUS TRACTION MODULE

Bures Frantisek

Abstract. In the report the author offers a mathematical description of the model of the dynamics of the railway autonomous traction module. The autonomous traction module is a multi-mass complex system moving on a railway track. The mathematical model takes into account the parameters and types of connections between the solids of the system, as well as takes into account the sliding forces between the wheels and rails. The mathematical model developed by the author can be applied at theoretical researches of innovative designs of autonomous traction means on railway transport.

Keywords: mathematical model, autonomous traction module, system of differential equations, motion dynamics.

References

1. Lazaryan V. A. Dynamics of vehicles: selected. tr. / V. A. Lazaryan. - Kiev: Nauk. Dumka, 1985 .-- 528 p.
2. Garg V. Dynamics of Railway Vehicle Systems / V. Garg, R. Dukkipati. – Toronto : Academic press, 1984. – 407 p.
3. Autooscillations and stability of movement of rail vehicles / Yu. V. Demin, LA Dlugach, ML Korotenko, OM Markova. - Kiev: Nauk. Dumka, 1984 .-- 160 p.
4. Mathematical modeling of oscillations of rail vehicles / VF Ushkalov, LM Reznikov, VS Ikkol et al. - Kiev: Nauk. dumka, 1989 .-- 240 p.
5. Myamlin S. V. Improvement of the design of running parts of locomotives / S. V. Myamlin, L. A. Neduzhaya // Science and progress of transport. Visn. Dnipropetr. nat. un-tu zalizn. transport im. acad. V. Lazaryan. - 2013. - No. 5. - P. 124-136. DOI: 10.15802 / stp2013 / 17977
6. Myamlin S. V. Design features of running gears of traction rolling stock / S. V. Myamlin, O. Lunis, L. A. Neduzhaya // Science and progress in transport. - 2017. - No. 3 (69). - S. 130-146. DOI: 10.15802 / stp2017 / 104824
7. Construction Analysis of Mechanical Parts of Locomoties / Sergey Myamlin, Mukolaj Luchanin, Larysa Neduzha // TEKA. Commision of Motorization and Power Indastry in Agriculture. – 2013. – Vol. 13, №3. – P. 162–169.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ ТА ПЕРЕНОСУ ТЕПЛОТИ В ПОТОЦІ РІДИНИ В ЦИЛІНДРИЧНОМУ КАНАЛІ

Горячкін В.М., к.т.н., доцент, Могилевець В.А., студент

Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна, Україна

Вступ. Нагрівальний ізотермічний канал є найбільш застосовуваним в кожухотрубних теплообмінниках [1]. Розрахунок теплообміну та переносу теплоти в таких каналах, як правило, базується на визначенні коефіцієнту тепловіддачі α за допомогою критеріальних співвідношень, отриманих з експериментальних даних. Разом з тим, сучасний стан розвитку обчислювальної техніки дозволяє використовувати методи розрахунку, які не будуть потребувати використання експериментальних даних по коефіцієнтам тепловіддачі.

Розробці чисельних методів, які можуть бути використані для вирішення задачі про нагрівання рідини та перенесення теплоти в каналі теплообмінника присвячені, наприклад, роботи [2, 3], а в роботі [4] розроблений числовий метод розрахунку нагрівання в циліндричному та кільцевому каналах при ламінарному русі високов'язкої рідини. В даній роботі наведено результати розробки чисельного методу розрахунку нагрівання рідини в циліндричному каналі при русі з $\mathrm{Re}>\mathrm{Re}_{кр}$.

Математична модель теплообміну та переносу теплоти в потоці рідини. Розподіл температури в каналі теплообмінного апарату визначається з рівняння збереження енергії, записаного у безрозмірному вигляді

$$\bar{U}\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{z}} = \frac{\partial}{\partial \bar{r}}\left(\frac{1}{Pe_m}\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{r}}\right) + \frac{1}{\bar{r}Pe_m}\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{r}} + \frac{\partial}{\partial \bar{z}}\left(\frac{1}{Pe_m}\frac{\partial \bar{T}}{\partial \bar{z}}\right) + \frac{\Lambda^2}{\mathrm{Re}_m}\left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial \bar{r}}\right)^2. \qquad (1)$$

де $\bar{r} = \frac{r}{R}$, $\bar{z} = \frac{z}{R}$, $\bar{T} = \frac{T - T_0}{T_0}$, $\bar{U} = \frac{U}{U_m}$, $Pe_m = \mathrm{Re}_m \mathrm{Pr}_m$, $\mathrm{Re}_m = \frac{RU_m}{\nu_m}$, $\mathrm{Pr}_m = \frac{c_p \rho \nu_m}{\lambda_m}$,

$\Lambda = \frac{U_m}{\sqrt{c_p T_0}}$.

Особливістю рівняння (1) є те, що ефективна в'язкість і теплопровідність входять під знак похідних як залежні від радіуса.

В якості профілю швидкості використовується параболічний профіль, запропонований Бай Ши-и [5]

$$\frac{U}{U_m} = 1 + \frac{s-n}{n-1}\left(\frac{r}{R}\right)^2 + \frac{1-s}{n-1}\left(\frac{r}{R}\right)^{2n},$$

де $s = \frac{R\tau_0}{2U_m \rho \nu}$, $\tau_0 = \frac{\lambda}{8}\rho U_{cp}^2$, $\lambda = 0{,}3164\,\mathrm{Re}^{-0{,}25}$, $\mathrm{Re} = \frac{U_{cp}\cdot 2R}{\nu}$. Коефіцієнт n визначали із співвідношення середньої та максимальної швидкості. Такий профіль швидкості узгоджується з профілями отриманими експериментально [6].

Розподіл ефективної в'язкості по радіусу визначали з умови лінійності розподілу дотичної напруги

$$\frac{\nu_m}{RU^*} = -\frac{U^*}{U_m}\bar{r}\left(\frac{d\bar{U}}{d\bar{r}}\right)^{-1}.$$

Зміну ефективної температуропровідності по радіусу каналу враховували залежністю виду

$$a_m = A + B(1-r)^m.$$

Коефіцієнти A і B визначали з умов: $r = 0$ $\mathrm{Pr}_m = 0{,}72$; $r = R$ $a_m = a$; показник степені m – з експериментальних даних.

Для чисельного розв'язку кінцево-різницевий аналог рівняння (1) був записаний у вигляді

$$U_i\frac{T_{i,j}-T_{i,j-1}}{l} = \Lambda^2 U_i\left(\frac{dP}{dz}\right)_j + \frac{1}{h^2}\left(\frac{T_{i+1,j}-T_{i,j}}{Pe_{me}} - \frac{T_{i,j}-T_{i-1,j}}{Pe_{mw}}\right) + \\ + \frac{T_{i+1,j}-T_{i-1,j}}{2hr_i Pe_{mi}} + \frac{T_{i,j+1}-2T_{i,j}+T_{i,j-1}}{l^2 Pe_{mi}} + \frac{\Lambda^2}{\mathrm{Re}_{mi}}\left(\frac{dU}{dr}\right)_i^2 \qquad (2)$$

r_i=hi, i=0,...N; j=0,...,M.

Граничні умови приймали вигляд:

$T_{i,0} = 0,\qquad T_{i,M} = T_{i,M-1};$

$T_{0,j} = T_{1,j},\quad T_{N,j} = T_{cm}$

На рис. 3 показаний розрахунковий розподіл температури води в поперечному перерізі, визначений з (2), а також середня температура та локальний коефіцієнт тепловіддачі від стінки по довжині каналу при d=0,01 м, l/d=10, T_0=293 K, $T_{ст}$=392 K, $U_{ср}$=1,65 м/с.

З графіків видно, що ядро потоку залишається холодним, а прогрівається тільки пристінний шар. Втрати тиску знижуються внаслідок зменшення молекулярної в'язкості біля стінки каналу і складають 110,4 Па. При цьому середній коефіцієнт тепловіддачі, розрахований як відношення теплового потоку до середньологарифмічного температурного напору, складає 7168 Вт/(м^2·К), що відповідає значенню коефіцієнта тепловіддачі, розрахованого для тих же умов за емпіричними формулами з [7] з відхиленням не більше 2%.

Висновки. Запропонована математична модель дозволяє визначити величину теплового потоку від стінок циліндричного каналу. Використання в розрахунках ефективної в'язкості і температуропровідності дає змогу врахувати перенесення теплоти всередині потоку не тільки за рахунок теплопровідності, але і внаслідок внутрішнього перемішування рідини. Порівняння отриманих з розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі з коефіцієнтами, визначеними на основі відомих критеріальних співвідношень, засвідчило адекватність отриманих з математичної моделі результатів.

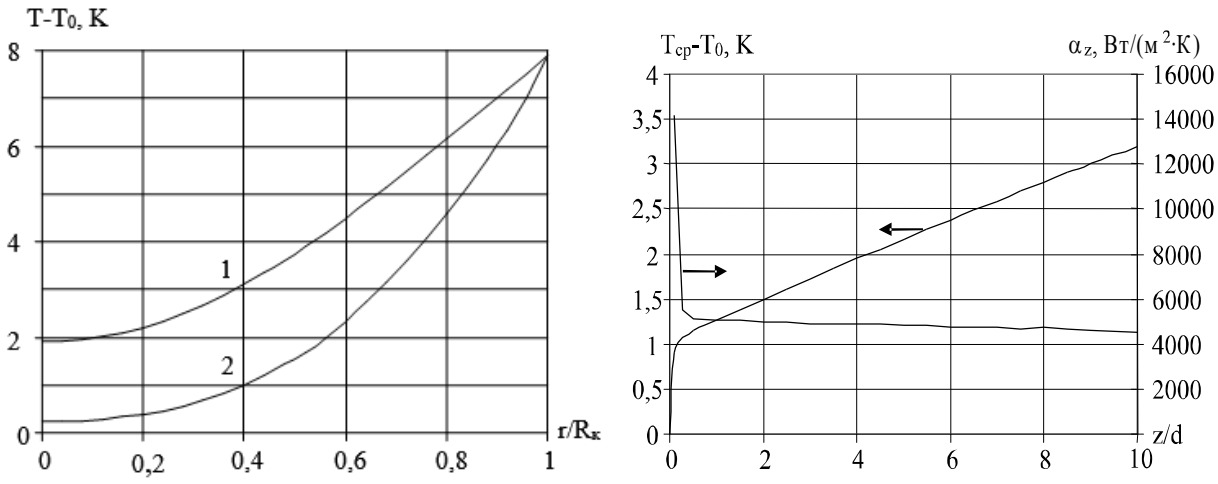


Рисунок 1 – Температура води в поперечному перерізі та зміна середньої температури і локального коефіцієнту тепловіддачі по довжині каналу: 1 – z/d=5, 2 – 10

Література

1. Лисиенко В.Г. Хрестоматия энергосбережения: В 2 кн. / В.Г. Лисиенко, Я.М. Щелоков, М.Г. Ладыгичев – М.: Теплоэнергетик, 2002. – Кн. 1. – 688 с.

2. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости: Пер. с англ. / С. Патанкар – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 152 с.

3. Андерсон Д. Вычислительная гидромеханика и теплообмен. В 2-х т. Т.2: Пер. с англ. / Д. Андерсон, Дж. Таннехилл, Р. Плетчер – М., Мир, 1990. – 392 с.

4. Коваль В.П. Тепловая и гидродинамическая оптимизация подогревателя высоковязких нефтепродуктов / В.П. Коваль, В.Н. Горячкин // Металлургическая теплотехника – Днепропетровск: НМетАУ, 2002. – Т.6. – с. 21-29.

5. Бай Ши-и. Турбулентное течение жидкостей и газов: Пер. с англ. / Бай Ши-и. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. – 344 с.

6. Пустовойт Б.В. Механика движения жидкостей в трубах / Б.В. Пустовойт – Л.: Недра, 1971. – 144 с.

7. Справочник по теплообменникам: Пер. с англ. В 2-х т. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 561 с.

ОСНОВНІ НАПРЯМИ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕГУЛЯРИЗАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В ТЕОРІЇ ГРАВІТАЦІЇ

Грищенко А.А., аспірант

Дніпровський державний технічний університет, Україна

Вступ: Ми надаємо огляд основних сучасних напрямів досліджень, що стосуються регуляризації енергії. Розглядаються статі у яких наведено методи розв'язання різних задач сучасної теоретичної фізики, а саме проблеми інфрачервоної та ультрафіолетової розбіжностей енергії в теорії гравітації, видалення інерційних ефектів, проблеми обчислення повної енергії та інших. Також розглянуті деякі статі з теми математичного моделювання складних систем, які наводять методи, що дозволять локально видалити енерційні ефекти з дії, вирішити проблему інфрачервоної розбіжності дії в коваріантному формулюванні телепараллельної теорії гравітації в асимптотично плоскому просторі-часі, розглядають властивості гравітаційної 3-форми енергії-імпульсу і суперпотенціальної 2-форми в коваріантній телепаралельній структурі, обговорюють властивості гравітаційної 3-форми енергії-імпульсу в тетрадному формулюванні загальної теорії відносності.

М.Крсак і Г.Перейра у своїй статті «Спінова зв'язність та перенормування телепаралельної дії» показали, що в рамках підходу телепаралельної гравітації кожній тетраді природним чином відповідає спінова зв'язність, яка локально видаляє інерційні ефекти з дії. Використання відповідної спінової зв'язності можна розглядати як процес перенормування в тому сенсі, що обчислення енергії і імпульсу природним чином дає фізично релевантні значення.

М.Крсак у своїй статі «Голографічне перенормування в телепаралельній теорії гравітації» розглядає проблему інфрачервоної розбіжності дії в коваріантному формулюванні телепараллельної теорії гравітації в асимптотично плоскому просторі-часі. Автор показує, що помилкові інерційні вклади можуть бути усунені за умови використання належним чином обраних телепараллельної та спінової зв'язностей.

Т.Лукас, Ю.Обухов та Г.Перейра у своїй статі «Регулююча роль телепараллелізма» розглядають властивості гравітаційної 3-форми енергії-імпульсу і суперпотенціальної 2-форми в коваріантній телепаралельній

структурі, де зв'язність Вейценбьока представляє інерційні ефекти, пов'язані з вибором системи відліку. Вони показують, що телепараллельна з'вязність грає роль інструменту, що регуляризує, який позбавляє інерційних ефектів, не спотворюючи гравітаційний внесок. У своїй статі вони надають дієвий підхід для обчислення повної енергії системи, який не призводить до нескінчених величин.

У статі Д.Малуфа та М.Вейги «Регуляризований вираз для гравітаційної енергії-імпульсу в телепаралельній теорій гравітації і принцип еквівалентності» вираз гравітаційної енергії-імпульсу, визначений в контексті телепаралельного еквівалента загальної теорії відносності, розширюється до довільного набору дійсних тетрадних полів шляхом додавання відповідного системно залежного доданку. Характеристика тетрадних полів як систем відліку розглядається в контексті простору-часу Керра.

Ю.Обухов та Г.Рубілар у своїй статі «Коваріантні властивості і регуляризація струмів, що зберігаються, в тетрадній теорії гравітації» обговорюють властивості гравітаційної 3-форми енергії-імпульсу в тетрадному формулюванні загальної теорії відносності. Автори запропонували природний метод регуляризації, який дає кінцеві значення для повної енергії-імпульсу системи, і продемонстрували, як він працює, на ряді явних прикладів.

Висновок: Було надано огляд сучасних статей, які стосуються теми регуляризації енергії. У яких автори розглядають успішні підходи у математичному моделюванні складних систем, для вирішення проблем інфрачервоної та ультрафіолетової розбіжностей енергії в теорії гравітації видалення інерційних ефектів, проблеми обчислення повної енергії та інших.

Література

1. М.Крсак, Г.Перейра. «Спінова зв’язність та перенормування телепаралельної дії». Евр.фіз.журнал C75 (2015) 11,519. [[gr-qc] arXiv:1504.07683]

2. М.Крсак. «Голографічне перенормування в телепаралельній теорії гравітації» Евр.фіз.журнал C77 (2017) ном.1,44. [arXiv:1510.06676 [gr-qc]]

3. Т.Лукас, Ю.Обухов, Г.Перейра. «Регулююча роль телепараллелізма». Phys.Rev.D80:064043,2009(2009)[arXiv:0909.2418 [gr-qc]]

4. Д.Малуф, М.Вейги «Регуляризований вираз для гравітаційної енергії-імпульсу в телепаралельній теорій гравітації і принцип еквівалентності». Gen.Rel.Grav. 39:227-240, (2007) [arXiv:gr-qc/0507122]

5. Ю.Обухов, Г.Рубілар. «Коваріантні властивості і регуляризація струмів, що зберігаються, в тетрадній теорії гравітації». Phys.Rev.D79:124017, (2006). [arXiv:gr-qc/0605045]

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.014

ПРОСТОРИ ЗМІННОЇ РОЗМІРНОСТІ

Грищенко А.А., аспірант

Дніпровський державний технічний університет, Україна

Вступ: Зазвичай вчені будують фізичні моделі в залежності від того,як вони сприймають світ. Але сучасний стан справ у науці показав, що там, де масштаби дуже малі порівняно з нашим звичним світом, не виправдано використання моделей які б могли застосовуватись у макро світі. Один із варіантів який може мати місце у мікро світі, але не має аналогів у нашому звичайному світі, який ми спостерігаємо кожен день, це те, що простір може змінювати чи мати дробову розмірність. Можливо, що розмірність простору буде мати ті чи інші значення, в залежності від умов в яких спостерігається наша складна система у просторі, або в залежності від системи відліку спостерігача. І таким чином розрахунки при математичному моделюванні складних систем потрібно регулювати у відповідності з розмірністю простору.

Ідея дробової розмірності застосовується в деяких математичних розрахунках для отримання більш коректних результатів. Наприклад, існує прийом у теоретичній фізиці званий розмірною регуляризацією. Він полягає в тому, що замість 4-мірного простору-часу розглядають D-мірний простір-час, причому розглядаються не тільки цілі, а всі дійсні значення D. Перехід до нецілих D регуляризує не тільки ультрафіолетово, але і інфрачервоно розбіжні інтеграли. Крім того, розмірна регуляризація зручна тим, що на всіх проміжних етапах зберігає як Лоренц-інваріантність, так і калібровальну інваріантність. Розмірна регуляризація дуже зручна для обчислення Фейнмановских інтегралів.[1]

Відомим фактом є те, що у загальній теорій відносності часова вісь може стати просторовою, а просторові вісі можуть ставати часовою. Отже відразу припадає до уваги те, що якщо простір може стати часом, а час може стати простором, то час і простір мають одну природу. На зразок того,як електрика і магнетизм -це проявлення одного і того самого поля, яке проявляє себе по різному за різних умов, та в різних системах відліку. Тоді можливо припустити, що час так само як і простір має три координати, але за певних причин у

нашому макросвіті ми можемо "спостерігати" тільки одну вісь часу, тоді як у мікросвіті час "розвертається" і має три вісі.

Таким же чином за певних умов і в певних системах відліку просторові координати можуть "редукуватися" до одної координати. Можливо, це зможе вирішити проблему точкової частинки. Якщо елементарні частинки існують у масштабах мікросвіту де простір має кількість просторових координат, яка відмінна від трьох, то очевидно, що розрахунки зроблені виходячи з припущень, що простір має три координати, будуть давати беззмістовні результати.

У деяких теоріях крім трьох просторових і однієї часової координати, розглядаються різні варіанти додаткових координат, які можуть бути як замкненими так і не замкненими. Одним із прикладів такої теорії може бути п'ятивимірна теорія гравітації Т. Калуци, яка дозволила об'єднати гравітацію і електромагнетизм. Зазвичай у цих теоріях координати не змішуються і не переходять одна в одну. Але природньо припустити, що якщо час і простір можуть мінятися місцями, то і будь-яка координата, який би фізичний зміст вона не мала в теорії, може переходити у будь-яку іншу координату.

Таким чином не тільки маса, час, розмір об'єкта залежить від системи відліку, але і деякі інші характеристики, які можна описати координатою в якійсь теорії, будуть залежити від спостерігача. Отже координати нашого простору можуть мати різний фізичний зміст, і за певних умов, в певних системах відліку і масштабах переходити одна у іншу, збільшувати чи зменшувати свою кількість.

Висновок: Виходячи із наведених вище аргументів можна сказати, що простір у якому ми живемо в залежності від навколишніх умов та системи відліку може мати не постійну розмірність, тобто може змінюватися з часом. Також можливими є не цілочисельні значення розмірності простору, який являє собою складну систему.

Література

1. Гол. ред. Прохоров А. М. Фізична енциклопедія / А. М. Прохоров - М.:Радянська енциклопедія (т. 1-2); Велика Російська енциклопедія (т. 3-5), 1988-1999. - ISBN 5-85270-034-7.

SPACES OF VARIABLE DIMENSION

Hryshchenko Alice

Annotation: Usually scientists build physical models depending on how they perceive the world. But the current state of affairs in science has shown that where the scale is very small compared to our usual world, it is not justified to use models that could be used in the macro world. One of the options that can take place in the micro world, but has no analogues in our ordinary world, which we observe every day, is that space can change or have a fractional dimension. It is possible that the dimension of space will have certain values, depending on the conditions in which our complex system is observed in space, or depending on the frame of reference of the observer. And thus the calculations in the mathematical modeling of complex systems must be adjusted in accordance with the dimension of space.

Keywords: space, dimension, complex system, coordinates, time, mathematical modeling.

References

1. Prokhorov A.M. Physical encyclopedia / A.M. Prokhorov - M .: Soviet encyclopedia (v. 1-2); Great Russian Encyclopedia (v. 3-5), 1988-1999. - ISBN 5-85270-034-7.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.015
УДК 65.012.32:517.977.1

МОДЕЛЮВАННЯ І ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ТРЬОХ ПІДПРИЄМСТВ В ЄДИНІЙ ВИРОБНИЧІЙ СИСТЕМІ

Єршова Н.М., д. т. н., професор, Вельмагіна Н.О., к. ф.-мат. н, доцент

Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, Україна

Вступ. В даний час багато підприємств, не витримавши конкуренції ринку, припиняють функціонування. Вирішальне значення при використання обмежених виробничих ресурсів має тісну і безперервну взаємодію підприємств в єдиній виробничій системі на користь отримання взаємної вигоди при рішенні сумісних задач по задоволенню потреб суспільства [3]. З погляду системного підходу об'єктом дослідження є види і форми взаємодії, тобто об'єктом дослідження є не суб'єкти, а процес взаємодії між ними.

Основної матеріал. Виробнича система має три підприємства, що випускають різну продукцію. Перше підприємство є фондотворчим. Друге і третє підприємства випускають взаємозамінну, в сенсі споживання, продукцію. Проміжна продукція всіх підприємств йде на розвиток власного виробництва, кінцева продукція фондотворчого підприємства розподіляється порівну між двома іншими підприємствами. Кінцева продукція другого і третього підприємства спрямовується на зовнішнє споживання.

Структурна схема представлена на рисунку 1 [4].

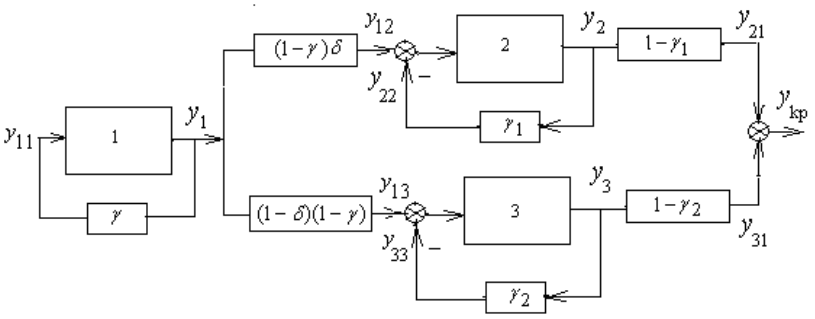


Рисунок 1 – Структурнасхема

На рис. 1 позначено: y_i – виробнича потужність i – го підприємства; $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ – частка потоку, що випускається, залишена підприємствами на

розвиток власного виробництва; δ – частка потоку кінцевої продукції фондотворчого підприємства, що розподіляється між другим і третім підприємствами; y_{kp} – кінцева продукція виробничої системи. Отже,

$$y_1 = y_{11} + y_{12} + y_{13}; y_{kp} = y_{21} + y_{31}; y_2 = y_{21} + y_{22}; y_3 = y_{33} + y_{31}; \quad y_{13} = (1-\gamma)(1-\delta)y_1;$$

$$y_{11} = \gamma\, y_1; \quad y_{12} = (1-\gamma)\delta\, y_1; \; y_{22} = \gamma_1\, y_2;$$

$$y_{21} = (1-\gamma_1)\, y_2; \quad y_{33} = \gamma_2\, y_3; \quad y_{31} = (1-\gamma_2) y_3,$$

У цьому випадку математична модель процесу взаємодії трьох підприємств запишеться у вигляді:

$$\dot{y}_1 + a_{11} y_1 = 0, y_1(0) = y_{10}; \dot{y}_2 + a_{22} y_2 = a_{12} y_1, y_2(0) = y_{20};$$

$$\dot{y}_3 + a_{33} y_3 = a_{13} y_1, y_3(0) = y_{30}. \qquad (1)$$

де $a_{11} = \dfrac{\beta_1 - \gamma}{m_1}; a_{22} = \dfrac{\beta_2 - \gamma_1}{m_2}; a_{33} = \dfrac{\beta_3 - \gamma_2}{m_3}; a_{12} = \dfrac{(1-\gamma)\delta}{m_2}; \quad a_{13} = \dfrac{(1-\delta)(1-\gamma)}{m_3}$, m_i, β_i – відповідно фондомісткість і коефіцієнт вибуття ОВФ i – го підприємства.

В роботі [2] доведено, що оптимальні параметри можна визначати на математичних моделях без зовнішнього впливу, так як при будь-якому впливі у синтезуючої функції буде складова, що гасить його. Тому запишемо математичну модель (1) у вигляді

$$M\dot{Y} + FY - CY = 0, \qquad (2)$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}; \quad F = \begin{bmatrix} \beta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_2 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_3 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} \gamma & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_1 & 0 \\ 0 & 0 & \gamma_2 \end{bmatrix}; \quad Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}; \quad \dot{Y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{bmatrix}.$$

Математичну модель (2) приймемо в якості моделі-аналога проектованого процесу. Вирішимо задачу проектування матричним методом динамічного програмування. Математична модель керованого процесу має вигляд:

$$\dot{Y} = -M^{-1}(FY + BU), \qquad (3)$$

де U – вектор управління; В - одинична матриця. В якості критерію оптимальності приймемо квадратичний функціонал

$$J = \int_0^\infty (Y' PY + U' GU) dt, \qquad (4)$$

де P; G – матриці вагових коефіцієнтів.

Ставиться завдання - встановити розрахункові формули для параметрів проектування: частки потоку валової продукції $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$, що направляється підприємствами на розвиток власного виробництва. Фізичний смисл функціоналу - витрати грошових коштів на підтримку стабільного функціонування процесу. При цьому кінцева продукція виробничої системи, яку направляють на зовнішнє споживання повинна бути максимальна. Необхідною умовою оптимальності є рішення нелінійного алгебраїчного рівняння Ріккаті

$$P + SF + F'S - SBG^{-1}B'S = 0, \tag{5}$$

де S симетрична позитивно визначена матриця. В загальному вигляді рівняння (5) вирішити неможливо. У матриці C моделі аналога процесу проектовані параметри $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$ розташовані на головній діагоналі, інші елементи матриці дорівнюють нулю. Тоді елементи матриці S обчислюються по формулах

$$S_{ii} = \mu_i(\beta_i + \sqrt{\beta_i^2 + \alpha_i / \mu_i}), \quad i = 1,2,3 \tag{6}$$

Вектор управління визначається матричним вираженням

$$U = -G^{-1}B'SY = -DY. \tag{7}$$

Підставимо вектор управління (7) в (3) і врахуємо, що $BU = U$, отримаємо

$$\dot{Y} = -M^{-1}(FY - DY), \text{ або } M\dot{Y} + FY - DY = 0, \tag{8}$$

Порівнюючи (8) з моделлю-аналогом (2), відзначаємо рівність матриць $C = D$ і отримаємо аналітичні залежності для визначення параметрів проектування $\gamma, \gamma_1, \gamma_2$:

$$\gamma_i = \beta_i + \sqrt{\beta_i^2 + \alpha_i / \mu_i}, i = 1,2,3. \tag{9}$$

У таблиці 1 наведено результати моделювання в системі моделювання МВТП 3.7 [5] процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі.

Таблиця 1 – Результати моделювання

Вар.	γ	γ_1	γ_2	y_1	y_2	y_3	y_{kp}
1	0,7	0,7	0,75	36327	31178	24257	7218
2	0,7	0,75	0,75	36327	37378	24257	8079
опт.	0,74	0,736	0,8	48451	35924	28917	8023

Висновки. Варіант з оптимальними параметрами проектування забезпечує збільшення виробничої потужності підприємств і відповідає області раціональних значень часток проміжної продукції підприємств, що встановлена шляхом моделювання в роботі [1].

Література

1. Вельмагіна Н. О., Єршова Н. М., Шибко О. М. Розробка теоретичних основ проектування підприємств і формування виробничих систем: монографія. Дніпро: ПДАБА, 2020. 272 с.

2. Ершова Н. М. Современные методы теории проектирования и управления сложными динамическими системами: монография. Днепропетровск: ПГАСА, 2016. 272 с.

3. Микрюков В. Ю. Теория взаимодействия экономических субъектов. Москва: Вузовская книга, 1999. 96 с.

4. Сиразетдинов Т. К. Динамическое моделирование экономических объектов. Казань: «Фан», 1996. 223 с.

5. Системы автоматического регулирования: практикум по математическому моделированию / Под ред. Б. А. Карташова. Изд. 2-е, перераб. и доп. Ростов на Дону: Феникс, 2015. 458 с.

SIMULATION AND OPTIMIZATION OF INTERACTION PROCESS PARAMETERS THREE ENTERPRISES IN A SINGLE PRODUCTION SYSTEM

Ershova Nina, Velmagina Natalia

Abstract. The article presents a method of designing the process of interaction of three enterprises in a single production system. The matrix method of dynamic programming establishes calculation formulas for design parameters: the share of the flow of gross output, which is sent by enterprises for the development of their own production. The quadratic functional is accepted as a criterion of optimality, the physical meaning of which is the expenditure of funds to support the stable functioning of the process. In this case, the final product of the production system, sent to external consumption should be maximum. The software product is created and the optimum decision is received. Modeling in the modeling system of MVTP 3.7 of the process of interaction of three enterprises for three variants is performed. The option with optimal design parameters provides an increase in the production

capacity of enterprises and corresponds to the area of rational values of the shares of intermediate products of enterprises, which is established by modeling.

Keywords: modeling, optimization, matrix method of dynamic programming, process of interaction of three enterprises.

References

1. VelmagIna N. O., Ershova N. M., Shibko O. M. Rozrobka teoretichnih osnov proektuvannya pidpriemstv i formuvannya virobnichih sistem: monografiya. Dnipro: PDABA, 2020. 272 s.
2. Ershova N. M. Sovremennyie metodyi teorii proektirovaniya i upravleniya slozhnyimi dinamicheskimi sistemami: monografiya. Dnepropetrovsk: PGASA, 2016. 272 s.
3. Mikryukov V. Yu. Teoriya vzaimodeystviya ekonomicheskih sub'ektov. Moskva: Vuzovskaya kniga, 1999. 96 s.
4. Sirazetdinov T. K. Dinamicheskoe modelirovanie ekonomicheskih ob'ektov. Kazan: «Fan», 1996. 223 s.
5. Sistemyi avtomaticheskogo regulirovaniya: praktikum po matematicheskomu modelirovaniyu / Pod red. B. A. Kartashova. Izd. 2-e, pererab. i dop. Rostov na Donu: Feniks, 2015. 458 s.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.045

КЕРУВАННЯ ПАРАМЕТРАМИ ОПТИМІЗАЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ШТУЧНОЇ ІМУННОЇ СИСТЕМИ

Желдак Т.А. к.т.н. доц., Зіборов І.К. аспірант

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Україна

Вступ. Вирішення оптимізаційних задач в сучасних умовах багатоетапного та багатокомпонентного промислового виробництва є повсякденною практикою. Особам, які приймають рішення доводиться враховувати декілька критеріїв, що мають у загальному випадку різну значимість та вирішувати задачі в багатовимірному просторі. Одним з механізмів, які дозволяють вирішувати подібні математично складні задачі, є еволюційні технології прийняття рішень.

Особливістю подібних еволюційних технологій є евристичний (зазвичай не обумовлений математичним доведенням) характер алгоритму прийняття рішень, який може бути вдосконалений за застосування рахунок нових, більш ефективних на практиці евристик. Багато з останніх відносяться до методів аналогії – інструменту прикладного системного аналізу, що застосовує для вивчення та моделювання складних системи аналогії з живої чи неживої природи.

Одною з таких евристик є алгоритми моделювання штучних імунних систем, що дозволяє знайти рішення задачі умовної або безумовної оптимізації за рахунок використання певної комбінації еволюційних операторів, що моделюють роботу імунної системи людини. Докладний аналіз різних реалізацій алгоритмів моделювання штучної імунної системи при вирішенні оптимізаційних задач наведено в [1].

Мета дослідження. Підвищити ефективність оптимізаційного алгоритму на основі моделювання штучної імунної системи за рахунок збільшення ефективності окремих його операторів.

Опис дослідження. В [2] запропонований гібридний адаптивний алгоритм оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи, який використовує оператори клональної селекції, кросоверу, мутації, локального пошуку та стиснення популяції. Особливостями викладеного алгоритму є:

1) побудова оператора селекції на основі оцінки пристосованості рішень з використанням методу аналізу ієрархії Сааті;

2) застосування парного адаптивного кросоверу для генерації нових клітин, що містять генетичні дані двох різних клітин попереднього покоління;

3) використання адаптивного оператора мутації, що залежно від результативності пошуку на попередніх етапах обирає мутацію нащадків за нормальним або поліноміальним законами розподілу ймовірностей;

4) обмежений покоординатний локальний пошук методом золотого перетину, який інтенсифікує пошук оптимуму в околі поточного рішення.

Результати дослідження показали високу ефективність запропонованого алгоритму при мінімізації стандартних тестових цільових функцій, що при розмірності простору до 100 вимірів. Останнє робить алгоритм ефективним в якості апарату навчання нейронних мереж прямого поширення, що мають велику кількість змінних.

У згаданому алгоритмі адаптація полягає у оцінці рішень в кожному поколінні й зміні налаштувань окремих операторів залежно від якості цих рішень. Окрема, оператор кросоверу має ступінь схрещування, залежний від того, чи фенотипічно близькі клітини, що обмінюються генами. Оператор мутації не лише змінює радіус мутації залежно від номера покоління, поступово зменшуючи його, а й використовує різні види мутацій залежно від якості рішення, що описується клітиною. Ближчі до кращого в поколінні клітини і їх нащадки мутують за поліноміальним законом, гірші – за гаусівським.

Втім, розглянутий алгоритм має ще один оператор, який визначає успішність пошуку рішень саме в парадигмі штучних імунних систем – запобігає передчасній збіжності й застряганню в локальних оптимумах, що властиво всім еволюційним алгоритмам. В більшості джерел [1, 2] так званий радіус схожості особин, який визначає мінімальну відстань у просторі рішень між особинами, що переходять з покоління в покоління, визначається емпірично і визначається як константа, або ж як величина, що рівномірно спадає.

Пропонується зв'язати радіус схожості з радіусом мутації нащадків у поточному поколінні. Таким чином, головним оператором, що відповідає за пошук рішення, в запропонованому алгоритмі, як і в більшості реалізацій методу штучних імунних систем, залишається оператор мутації. Водночас оператор стиснення популяції приймає на себе головну роль в якості диверсифікатора.

Згідно із запропонованою методикою, в околі поточного розташування кожної з клітин, що є пошуковими агентами, за пошук відповідає саме оператор мутації, тоді як за межами цього околу, що дорівнює радіусу мутації, тоді як оператор стиснення відповідає за пошуки за межами околу, який здійснюють інші пошукові агенти. Сам радіус мутації, а відповідно і пропорційний йому радіус схожості, мають поступово зменшуватись в ході роботи алгоритму, по-перше, по мірі досягнення оптимального рішення (зменшення відносного його покращення), по-друге. У відповідності до номеру ітерації (починаючи з широкого околу, завершуючи вузьким, порівняним з заданою точністю пошуку).

Запропонований підхід був випробуваний для вирішення ряду задач як у дійсному просторі – з використанням алгоритму в нотації [2], так і в його бінарній версії, де замість евклідової відстані використана відстань за Хемінгом. Остання версія алгоритму була застосована до комбінаторної задачі паралельного використання декількох замовлень на прокатну продукцію за математичною моделюю, запропонованою в [3]. Результати, отримані на тестових функціях та при рішенні комбінаторної задачі на дійсних даних, показали високу ефективність запропонованого алгоритмічного підходу.

Одним з безсумнівних успіхів слід вважати збільшення долі покращення рішень, що припадає на оператор мутації у порівнянні з базовим варіантом алгоритму для розв'язання типових задач в багатовимірному дійсному просторі.

Зокрема, відсоток корисних кроків алгоритму (покращення рішення), що припадають на оператор мутації у версії оптимізаційного алгоритму моделювання штучної імунної системи з радіусом схожості, пропорційним радіусу мутації, зростає майже вдвічі: з 31,4% до 60,8%. Водночас значно

зменшується доля кращих рішень, знайдених за рахунок локального пошуку (з 55,2% до 29,3%) та за рахунок кросоверу (з 19,3% до 8,8%). Підвищення ефективності мутації, обумовлене відсутністю передчасної збіжності дозволяє в певних рішеннях відмовитись від деяких операторів. Зокрема, при оптимізації у дійсному просторі можна обійтися без громіздкого SBX-кросовера, який вносить високу випадкову складову, а при вирішенні комбінаторних задач – від часткового локального пошуку, який набуває сенсу повного або обмеженого перебору.

Відмова від певних операторів робить алгоритм універсальним та швидшим без суттєвої втрати збіжності. В подальшому пропонується підвищення ефективності оптимізаційного алгоритму за рахунок пошуку кращих налаштувань операторів селекції та кросоверу (за потреби), які б підвищували ефективність кожної ітерації розглянутого алгоритму.

Висновки. Авторами запропоновано покращити ефективність відомого алгоритму оптимізації на основі моделювання штучної імунної системи за рахунок адаптивного оператора стиснення популяції. Радіус схожості особин, який відповідає за те, чи зможуть вони бути представлені в наступному поколінні, пропонується зробити пропорційним радіусу мутації клітин - пошукових агентів. При цьому радіус мутації, а відповідно і пропорційний йому радіус схожості, мають поступово зменшуватись в ході роботи алгоритму, по мірі досягнення оптимального рішення та у відповідності до номеру ітерації. Запропонований підхід був випробуваний на ряді задач у дійсному та бінарному просторі. Результати розв’язання тестових задач показали високу ефективність запропонованого алгоритмічного підходу.

Література

1. Gao Sh. Revisiting Immunological Algorithms for Numerical Optimization / Shangce Gao, Yuki Todo, Beibei Chen, Jianhong Chai // IC: International Journal of Immune Computation. 2013. Vol.1. Pages 9-17.

2. Zheldak T. A. The algorithm of artificial immune system simulation with Saaty selection operator and one-dimensional local search / T. A. Zheldak, V. V. Slesarev, I. G. Gulina // Науковий вісник Національного гірничого університету. 2016. №5 с. 149-156.

3. Желдак Т.А. Оптимізація двоетапного виробництва металопрокату шляхом формування зливків / Т.А. Желдак, Л.С. Коряшкіна // Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем. CMOCS-2020: тези доповідей 6-ї міжн. наук.-техн. конф. – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ. 2020. с. 80-81. https://doi:10.32434/CMOCS-2020

MANAGEMENT OF THE OPTIMIZATION ALGORITHM ON THE BASIS OF MODELING ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM

Zheldak Timur, Ziborov Illia

Abstract. The efficiency improvement of the known optimization algorithm based on modeling of the artificial immune system due to the adaptive population compression operator is proposed. The radius of similarity of individuals, which is responsible for whether they can be represented in the next generation, is proposed to be proportional to the radius of mutation of cells - search agents. In this case, the radius of the mutation, and accordingly the radius of similarity proportional to it, should gradually decrease during the operation of the algorithm, in accordance with the optimal solution achievement and proportionally to the iteration number. The proposed approach was tested on a number of problems in real and binary space. The results of solving the test problems showed the high efficiency of the proposed algorithmic approach.

Keywords: algorithm, mutation, artificial neural systems, compression, operator, optimization, radius of similarity.

References

1. Gao Sh. Revisiting Immunological Algorithms for Numerical Optimization / Shangce Gao, Yuki Todo, Beibei Chen, Jianhong Chai // IC: International Journal of Immune Computation. 2013. Vol.1. Pages 9-17.

2. Zheldak T. A. The algorithm of artificial immune system simulation with Saaty selection operator and one-dimensional local search / T. A. Zheldak, V. V. Slesarev, I. G. Gulina // NaukovyjvisnykNacional'nogogirnychogouniversytetu. 2016. №5 s. 149-156.

3. Zheldak T.A. Optymizacija dvoetapnogo vyrobnyctva metaloprokatu shljahom formuvannja zlyvkiv / T.A. Zheldak, L.S. Korjashkina // Komp'juterne modeljuvannja ta optymizacija skladnyh system. CMOCS-2020: tezy dopovidej 6-i' mizhn. nauk.-tehn. konf. Dnipro: DVNZ UDHTU. 2020. s. 80-81. https://doi:10.32434/CMOCS-2020.

ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Калюжняк А. В., аспірантка, Гоменюк С. І., д.т.н, проф.

Запорізький національний університет, Україна

Ключові поняття: МРТ – магнітно-резонансна томографія, КТ – комп'ютерна томографія, ОФЕКТ – однофотонна емісійна комп'ютерна томографія, CAD – computer-aided design, CSG - Constructive Solid Geometry.

Вступ. До появи тривимірного моделювання, художники і архітектори користувалися традиційними методами малювання – папір і полотно. Це була колосальна, трудомістка робота, яка до того ж витрачала багато часу. А вносити будь-які правки в роботу було дуже важко, адже це ручна праця.

Тривимірні анатомічні поверхні являють собою важливий інструмент в медицині. Зображення цих поверхонь, побудовані з масиву 2D знімків, отриманих від комп'ютерної томографії (КТ), магнітно-резонансної томографії (МРТ) та емісійної комп'ютерної томографії (ОФЕКТ), допомагають лікарям розпізнати складні анатомічні процеси в знімках. Інтерпретація медичних 2D зображень вимагає спеціальної підготовки, і хоча радіологи мають ці навички, вони повинні часто повідомляти про свої інтерпретаціях лікарями, які іноді відчувають труднощі з візуалізацією в 3D анатомії.

Основна частина. Існують декілька підходів до вирішення завдання побудови 3D поверхні. Більш ранній метод починається з визначення контуру поверхні і з'єднання контуру один за одним зі зрізами зображення трикутниками. Якщо існує більше одного контуру поверхні на відрізку, виникають складнощі при визначенні того, які контури необхідно з'єднати. Безпосереднє втручання користувача може допомогти вирішити деякі з цих неясностей. Проте, в клінічних умовах взаємодія з користувачем має бути зведено до мінімуму.

Інший підхід, розроблений Г. Германом і його колегами [2] створює поверхні з cuberilles. Cuberille – це розсічення простору на рівні куби (так звані вокселі) за допомогою трьох ортогональних наборів паралельних площин [3]. Фаррелл використовує метод «кидання променів», щоб знайти 3D поверхню,

але замість тіні зображення з сірою шкалою, використовує освітленість для відображення поверхні.

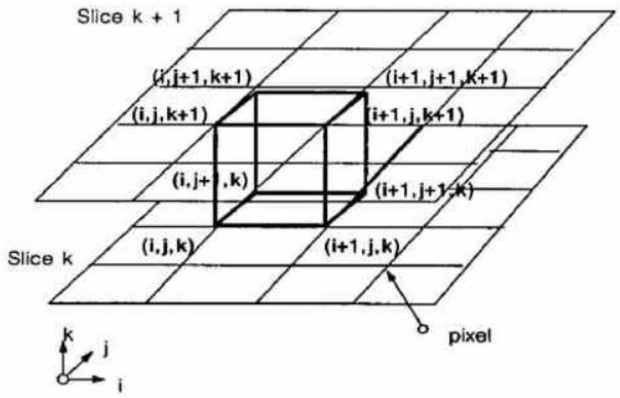


Рисунок 1 – Маршируючікуби

Алгоритм «маршируючих кубів» використовує підхід «розділяй і властвуй», щоб знайти поверхню в логічному кубі, створеного з восьми пікселів; для кожної з двох суміжних сторін (див. рис. 1).

Алгоритм визначає, як поверхня перетинає цей куб, потім переміщається (або марширує) до наступного кубу. Щоб знайти поверхневий перетин в кубі, ми присвоюємо 1 до вершини куба, якщо значення даних в цій вершині перевищує (або дорівнює) значенням поверхні, яку ми будуємо[1]. Ці вершини знаходяться всередині (або на) поверхні. Вершини куба зі значеннями нижче поверхні отримують нульове значення і знаходяться поза поверхнею. Поверхня перетинає ребра куба, де одна вершина знаходиться поза поверхні (один), а інша знаходиться всередині поверхні (нуль). При такому допущенні ми визначаємо топологію поверхні всередині куба, знаходження перетину визначається пізніше.

Оскільки існує вісім вершин в кожному кубі і два можливих значення, всередині і зовні, є тільки 256 способів з якими поверхню може перетинатися з кубом. Перераховуючи ці 256 випадків, ми створюємо таблицю, щоб розглянути області перетину поверхні, враховуючи номери вершин куба. Таблиця містить області перетину для кожного конкретного випадку. На рисунку 2 показана триангуляції для 14 моделей. Даний підхід в моделюванні часто використовується при створенні ігор.

Тут класичною областю застосування об'ємних уявлень являється дизайн твердих об'єктів з логічними операціями. Кожна операція може бути виконана простим порівнянням значень відстаней в сітці точок. Це також справедливо для представлення поля напрямленої відстані. Для реалізації використовують розширені «маршируючі куби» для створення сітки з моделі CSG. Функція чутливої вибірки дуже важлива в цьому контексті, так як гострі краї і кути позначають перетину основних об'єктів і несуть значну інформацію про конструкцію[4]. Дуже важливим практичним застосуванням даної методики є моделювання процесів фрезерування.

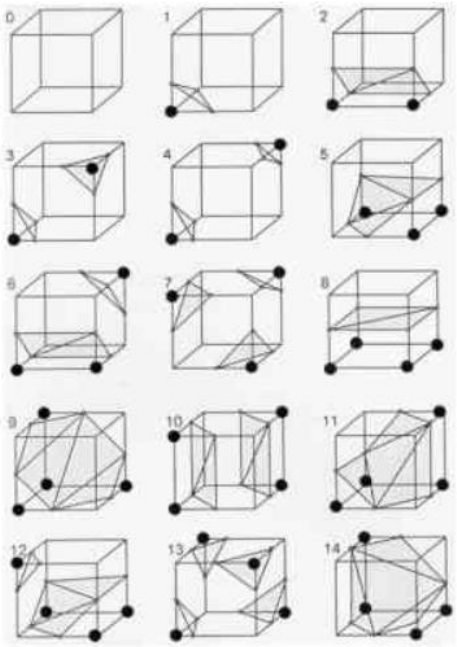


Рисунок2 – Триангульованікуби»

Полігональні сітки, які генеруються на деякій проміжній стадії в промисловому процесі CAD, часто мають низьку якість. Вироджені трикутники, топологічні невідповідності ускладнюють використання таких моделей в будь-якому наступному додатку. Щоб зробити ці дані доступними до інших застосувань, ніж проста візуалізація, необхідно перетворити моделі в збільшені теселяційні області.

Застосування розширеного алгоритму «маршируючих кубів» в такому обсязі дозволяє повторно створити сітку оригіналу з рівномірним розподілом вершин, що необхідно для створення ігор.

Висновок. «Маршируючі куби» – це новий алгоритм для побудови 3D поверхні, який доповнює знімки КТ, МРТ, дозволяючи лікарям отримати тривимірні анатомічні зображення. Алгоритм використовує таблицю областей перегинів, щоб описати, як поверхня прорізає кожен куб в 3D наборі даних. Додатковий реалізм досягається шляхом розрахунку, з вихідних даних, нормованого градієнта. Отримана багатокутна структура може відображатися на звичайних системах відображення графіки. Даний підхід також віднайшов своє відображення в розробці графіки ігор, що дозволяє на сьогоднішній день робити елементи більш реалістичними.

Література

1. Bretonnet L., Li Y., Hirsch Ch. 3D Navier–Stokes cutcell solver for octree meshes. Academy Colloquium on Immersed Boundary Methods. Amsterdam, 2009

2. William E. Lorensen, Harvey E. Cline: Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. In: Computer Graphics, Vol. 21, Nr. 4, July 1987

3. Wu Z. Accurate and efficient three-dimensional mesh generation for biomedical engineering applications//Ph.D. Dissertation. Worcester Polytechnic Institute, 2001.

4. Хасаева Д. З. Визуализация 3D моделей сложных объектов с помощью метода марширующих кубов на платформе Windows Presentation Foundation / Д. З. Хасаева, А. Ю. Дёмин ; науч. рук. А. Ю. Дёмин // Технологии Microsoft в теории и практике программирования : сборник трудов XIII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г.Томск,. — Томск: Изд-во ТПУ, 2016. — [С. 132-134].

МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ АКТИВНОГО ДОЩУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАКРИТОЇ ЗРОШУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ

Карпенко С.Л.[1], Лебеденко Ю.О.[1] к.т.н., доц.,
Рудакова Г.В.[1] д.т.н. проф., Рудакова А.А.[2]

[1]Херсонський національний технічний університет, Україна

[2]Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна

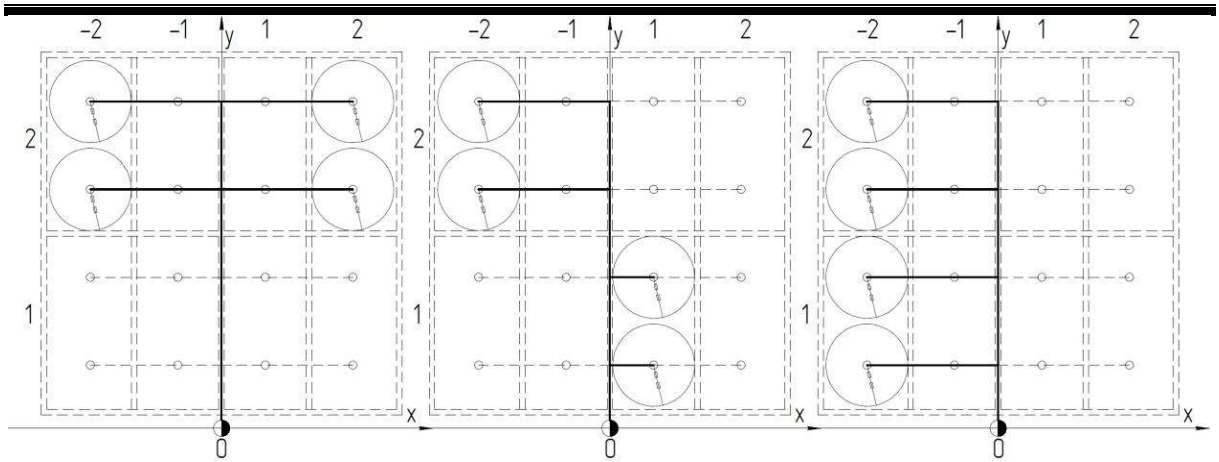
Перетворення сільськогосподарського виробництва у високо розвинутий сектор економіки неможливе без послаблення його залежності від несприятливих природно-кліматичних умов[1].

Широке впровадження сучасних комп'ютерно-інтегрованих технологій у тому числі в сільськогосподарське виробництво, так звані системи точного землеробства [2], обумовлюють економне використання водних і енергетичних ресурсів за рахунок впровадження інформаційно-керуючих систем з підсистемами моніторингу і методів адаптивного керування.

Поширеного використання набули закриті зрошувальні системи (ЗЗС) із застосуванням меліоративного обладнання такого як універсальні дощувальні машини (ДМУ). Існуючий парк роботоспроможних дощувальних машин на 64% складеться з дощувальних машин «Фрегат»[3].

Одночасно у роботі зазвичай знаходяться не всі зрошувальні установки, а тільки частина з них, тобто схема їхнього розташування постійно змінюється згідно с планом поливних робіт. Для ефективної роботи такого складного меліоративного комплексу необхідно своєчасне перемикання режимів роботи насосного обладнання ЗЗС. Для аналізу ЗЗС як об'єкту керування зі змінної структурою в першу чергу необхідно визначити схему розташування саме активного дощувального обладнання у системі.

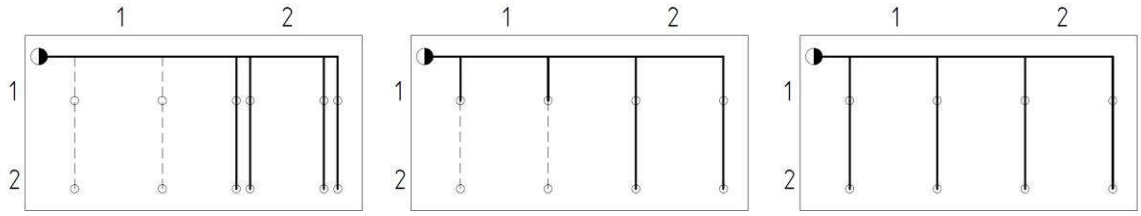
Для побудови загальної моделі, що враховує всі варіанти розташування дощувального обладнання, було проведено аналіз усіх варіантів підключення дощувальних установок, декілька варіантів яких приведені на рис. 1.



а) (-22;22) б) (-22;11) в) (-22;-21)

Рисунок 1 – Варіантирозміщенняввімкнутихдощувальнихустановок

Через симетричність схемі ЗЗС можна перейти до розгляду односторонньої схеми, як показано на рис.2.



а) (-22;22) б) (-22;11) в) (-22;-21)

Рисунок 2 – ПрикладиодносторонніхсхемпідключенняДУ

Структуру підключення, приведену на рис.2, можна задавати за допомогою матриці:

$$S_{V_{(-22;22)}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \qquad S_{V_{(-22;11)}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad S_{V_{(-22;-21)}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Своєчасне перемикання режимів роботи насосного обладнання ЗЗС, можливе при наявності коректно працюючої системи керування, підтвердженої ефективності. Робота якої повинна засновуватися, обов’язково на основі результатів комп’ютерного моделювання. При побудові математичної моделі для аналізу ЗЗС як об’єкту керування розглянута

процедура є першочерговим завданням. Тому що, дозволяє на основі заданої схеми розташування активного дощувального обладнання, швидко отримувати певні числові значення геометричних розмірів в системі, які є основою для подальших розрахунків. Для наступного аналізу ЗЗС необхідно розглянути всі окремі компоненти моделі.

Література

1. Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року. Указ Президента України від 24.05.2012 р. № 4836

2. Система точного землеробства економить ваші гроші / М. Циганенко, М. Макаренко // Пропозиція. — 2017. — №2 — С. 56-60

3. Гурин В. А., Степаненко М.Г., Степаненко М. П. Технологія зрошування: навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 382 с.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.016

СИНТЕЗ МОДЕЛІ ТРИПРОМІНЕВОГО ДАТЧИКА ОЗОНУ

Кісельов Є.М., к.т.н., доц., Алексієвський Д.Г., д.т.н., доц., Туришев К.О.

Запорізький національний університет

Розробка оптимальної системи озонування є складним завданням і потребує безперервного моніторингу її продуктивності. Наразі існує тенденція до розширення діапазону вимірювань впродовж до нижчих меж визначення концентрацій озону. Це зумовлено сучасними санітарними стандартами, що вимагають зменшення припустимих концентрацій на робочих місцях, а також необхідністю регулювання значень залишкового озону на виході з установки озонування. Аналіз структури і параметрів озонаторної станції [1] показав раціональність реалізації вимірювача озону на основі абсорбційних методів поглинання УФ - випромінювання. Відповідно до цього було запропоновано трипроміневий оптичний датчик озону [2] з УФ опорним і вимірювальним каналами та широкосмуговою відкритою оптопарою, що враховує похибки до зміни макроскладу робочого середовища. Для дослідження датчика було синтезовано його візуально-блочну модель (рис. 1) і проведено моделювання у середовищі Matlab Simulink.

Модель містить випромінювачі у вигляді УФ світлодіодів UV LED і UV LED1 вимірювального і опорного каналів, а також світлодіод LED широкосмугового датчика. Ці блоки мають спільне живлення від генератору прямокутних імпульсів, що керує джерелом напруги Controlled Voltage Source3. Приймачам випромінювання відповідають блоки фотодіодів UV Photodiode і UV Photodiode1 для вимірювального і опорного каналів відповідно. У якості моделі широкосмугового приймача застосовується блок Voltage Sensor. Сигнали з виходів блоків приймачів Sample, Ozone і Error відповідають напругам опорного каналу, вимірювального каналу і широкосмугового датчика відповідно. Останній призначено для корекції результатів вимірювань викликаних відбуттям і розсіюванням випромінювання на забрудненнях робочого середовища озонаторної станції.

Аналіз отриманих результатів дослідження розробленої моделі показує, що форма сигналів на виходах приймачів випромінювання всіх трьох оптичних

каналів співпадає одне з одним, але відрізняється від прямокутної форми напруги живлення випромінювачів. Це пояснюється тим, що при малій тривалості прямокутних імпульсів, завдяки нелінійності приймачів і випромінювачів, відбувається викривлення форми до вигляду меандрів. Також фази сингалів опорного і вимірювального каналів співпадають, а сиг-нал широкосмугового каналу випереджає їх завдяки менший інерційності широкосмугового приймача на 0,1с. Це також має відповідати геометричному розташуванню широкосмугової оптопари перед вимірювальною парою.

Додатково модель було доповнено блоками з обробки вихідних сигналів Sample, Ozone і Error приймачів випромінювання, як показано на рис. 2. Так визначається відношення сигналів вимірювального каналу і опорного каналу за допомогою блоку Divide. У блоці Math Function виконується логарифмування ступені послаблення сигналів і обчислюється коефіцієнт поглинання УФ – випромінювання молекулами озону – сигнал Alfa.

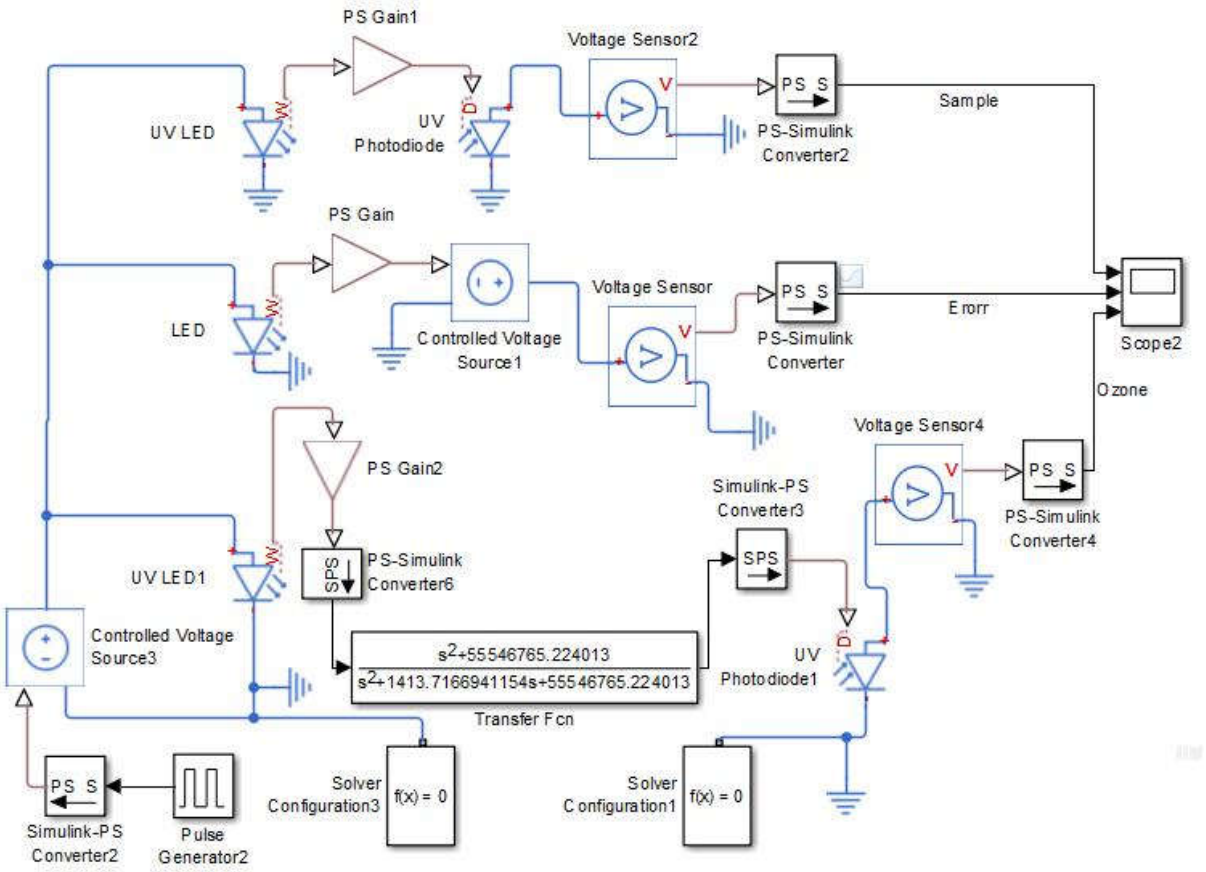


Рисунок 1 – Структура моделі датчика озону

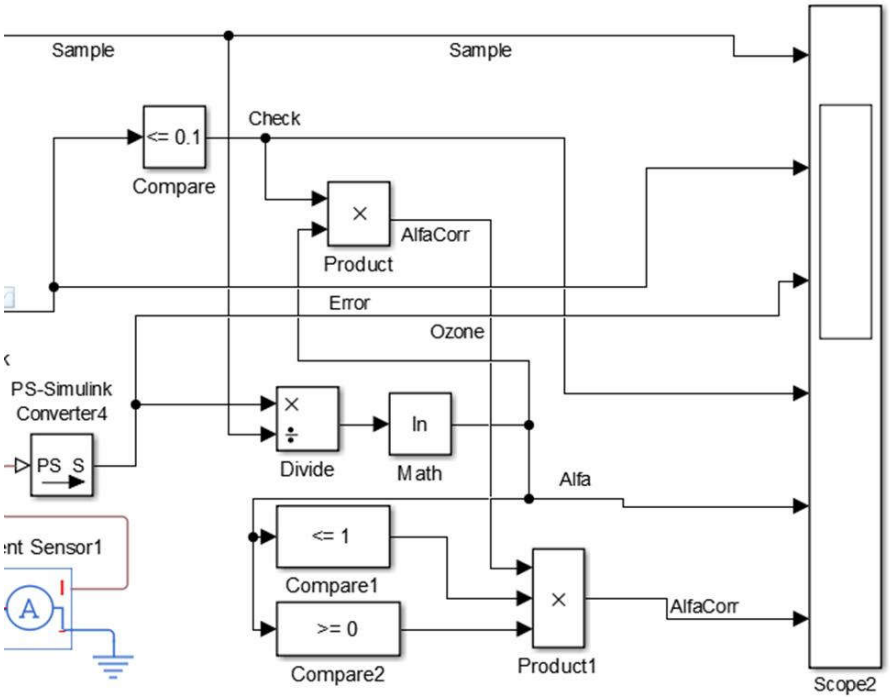


Рисунок 2 – Фрагмент моделі з додатковою обробкою вихідних сигналів

На основі блоку компаратора Compare To Constant реалізовано детектування непрозорих макрочастинок у робочому середовищі і скидання, шляхом твору його вихідного значення Check на величину сигналу Alfa, результатів вимірювань до нуля (блок Product). Такому скоригованому сигналу відповідає величина AlfaCorr. При перевищенні вихідним сигналом широкосмугового приймача граничного значення відбувається скидання стану компаратора до нуля і величина AlfaCorr також буде дорівнювати нулю. На наведених епюрах такий стан спостерігається на початкових ділянках часу, коли встановлюється рівноважний стан функціонування випромінювачів і приймачів системи. Аналіз результатів моделювання обробки сигналів датчика показує, що амплітуда сформованого імпульсу AlfaCorr є інформативним показником з визначення поглинання випромінювання. При цьому похибка визначення концентрації озону стабілізується на рівні 0,1 %.

Також було виконано моделювання завадостійкості розробленої моделі для різних значень частоти модуляції випромінювання, але при незмінності всіх інших умов. Результати досліджень показано на рис. 3 у вигляді залежності величини похибки вимірювань від частоти модуляції випромінювання.

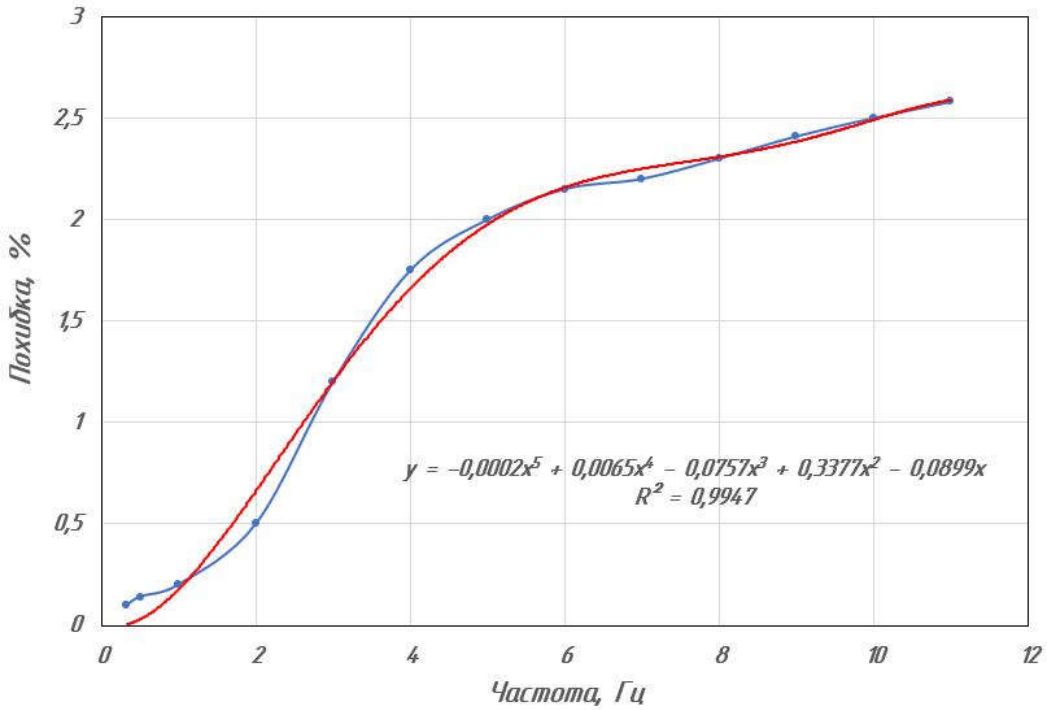


Рисунок 3 – Залежністьвеличинипохибкивимірюваньвідчастоти

З рис. 3 слід, що величина похибки зростає зі збільшення частоти модуляції випромінювання за нелінійних законом від 0,1% до 2,62%. Оцінка точності апроксимації оцінювалась за допомогою коефіцієнту множинної кореляції $R^2 = 0,9947$.

Таким чином, проведені дослідження дозволили ідентифікувати структуру блоку обробки сигналів приймачів і режимів проведення вимірювання, що дозволяє мінімізувати величину похибки під дією випадкових завад.

Література

1. Кісельов Є. М., Алексієвський Д. Г., Туришев К. О. Візуальнемоделюваннякерування датчиками озону. Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2020: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції. Дніпро: НМетАУ, 2020. – С. 166-168.

2. Кісельов Є. М., Алексієвський Д. Г., Туришев К. О. Датчик озону для дезінфектора рідини та повітря. III Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційні системи та технології в медицині» (ISM–2020): збірник наукових праць Харків: Національнийаерокосмічнийуніверситет, 2020. – С. 186-187.

THE SYNTHESIS OF AN OPTICAL THREE-BEAM OZONE SENSOR MODEL

Yehor Kiselov, Dmytro Aleksiievskyi, Kostiantyn Turyshev

Abstract: The synthesis of an optical three-beam ozone sensor model for the Matlab Simulink simulation is performed. The structure of the sensor signal processing system is proposed. The simulation of the measuring system noise resistance is carried out on the basis of the developed visual block model. The dependence of the measurement error on the modulation frequency of the radiation in the optical channel is obtained. The operation modes are determined to minimize the ozone measurement error. It is shown that the precision of determining the ozone concentration in the working environment can be achieved at the level of 99.9% using the obtained results.

Keywords: receiver, radiation source, simulation, optical channel.

References

1. Kiselov Y., Aleksiievskyi D., Turyshev K. Visual control modeling ozone sensor // International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machinebuilding. – 2020. – P. 166-168.

2. Kiselov Y., Aleksiievskyi D., Turyshev K. Ozone sensor for liquid and air disinfectant // III International Scientific and Practical Conference «Information Systems and Technologies in Medicine»(ISM-2020). – 2020. – P. 186-187.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.017

ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХОДНІХ ПРОЦЕСІВ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ З ІНЕРЦІЙНИМ ПРИВОДОМ

Кононов Д.О., к.т.н., доц., Мірошник Є.С.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Мета роботи: дослідження перехідних процесів в вібраційній машині, які супроводжують пуск зі стану спокою та вибіг.

Лабораторна модель вібраційної машини з інерційним приводом (рис. 1) складається з наступних основних структурних вузлів і елементів: короба 1, який представляє собою зварну конструкцію, що складається з двох бортовин, з'єднаних між собою зв'язок-балками, віброзбудника 2, закріпленого на двох верхніх зв'язок-балках короба, самоочисної колосниково-карткової просіваючої поверхні 3, жорстко закріпленої хомутоподібними скобами на 4-х нижніх зв'язок-балках короба 1, системи пружних зв'язків - гумових віброізоляторів циліндричної форми 4, на які спирається короб моделі грохота, опорної рами 5 короба, жорстко закріпленого до бетонного фундаменту за допомогою анкерних болтів.

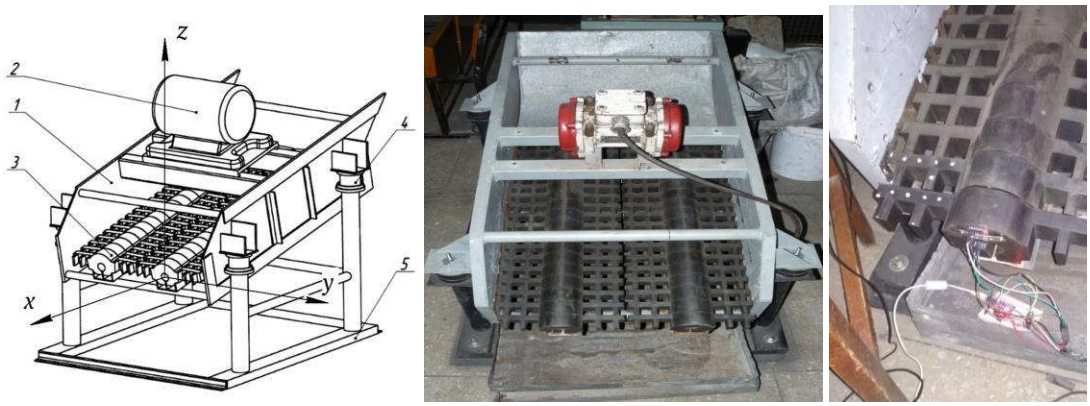


Рисунок 1 – Загальнийвидлабораторноїустановкизвстановленимакселерометром

Лабораторна модель вібраційного грохота приводиться в рух регульованим віброприводом - одновальним інерційним віброзбуджувачем, на якому встановлено дебаланси зі змінною масою.

Для вимірювання кінематичних характеристик використовується модуль GY-521, з мікросхемою MPU6050. Цей модуль дозволяє вимірювати лінійні прискорення і кутову швидкість повороту [1, 2].

На графіках (рис. 2-5) показані типові графіки зміни прискорень точок короба вібраційного грохота (поздовжня балка) при повному циклі роботи: від запуску до повної зупинки. Графіки побудовані в після математичної обробки значень, лічених з датчика MPU 6050.

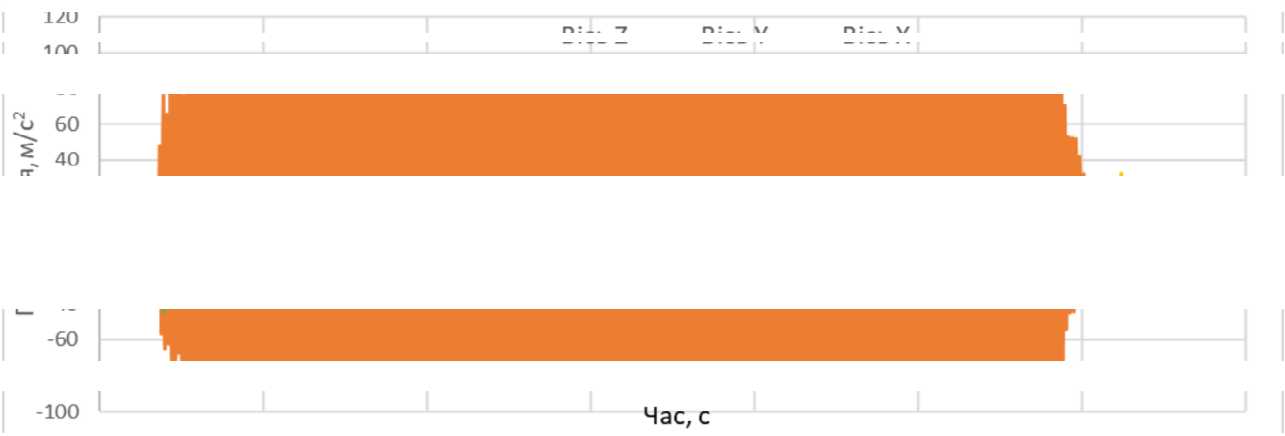


Рисунок 2 – Прискорення поперечної балки грохота (повний цикл роботи)

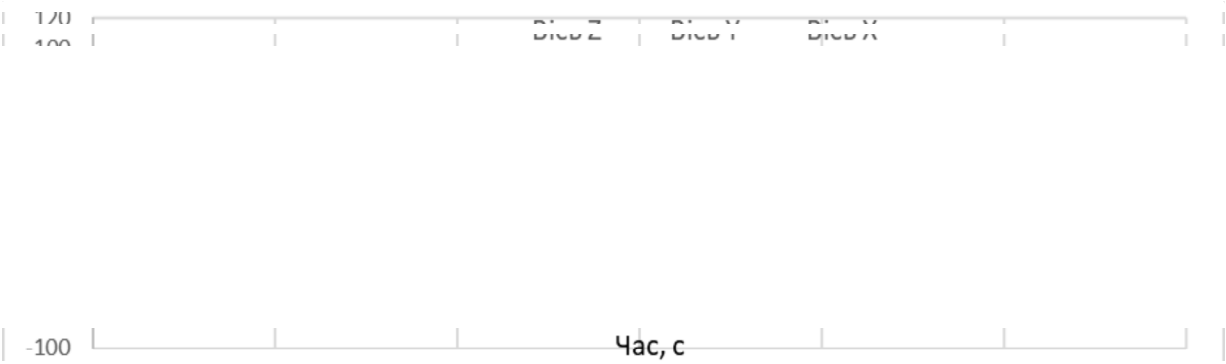


Рисунок 3 – Зміна прискорень поперечної балки грохота (збільшено)

Рисунок 4 – Прискорення поперечної балки грохота при зупинці грохота (зона вибігання)

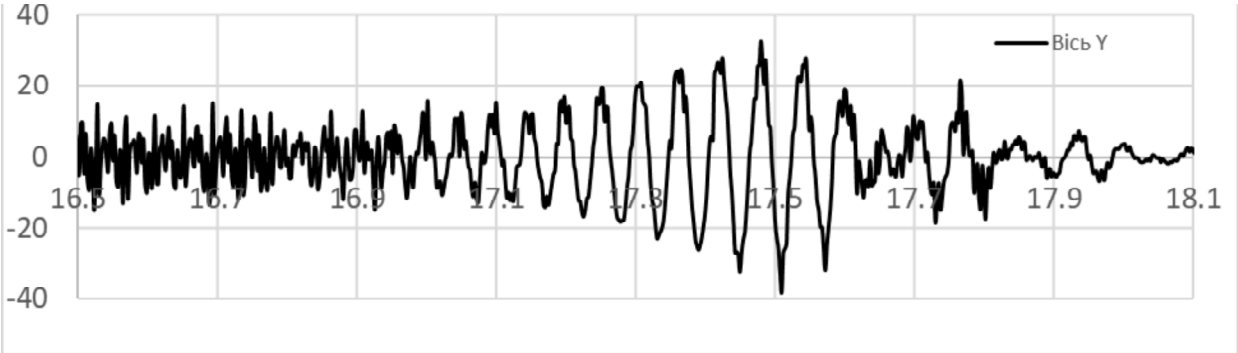


Рисунок 5 – Прискоренняпоперечноїбалкигрохотапри зупинцігрохота(зонавибігання),збільшено

На цьому графіку чітко видно зона вибігу (зупинки) грохота. Має місце збільшення амплітуди коливання прискорення короба грохота при проходженні резонансної частоти. Це явище характерне для роботи вібраційної машини з зарезонансного налаштуванням.

Література

1. Модуль GY-521 DataSheet [Электронный ресурс]. URL: https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000Datasheet1.pdf

2. Считывание, первичная обработка ускорений и углов наклона с MPU-6050 и запись их на SD карту ArduinoDUE / Михайлов В.Г., ведущий инженер, к.т.н, ООО «Мидивисана»,г.Минск.

3. Блехман И.И. Теория вибрационных процессов и устройств. Вибрационная механика и вибрационная техника / Блехман И.И. – СПб.: ИД „Руда и Металлы“, 2013. – 640с.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF TRANSITIONAL PROCESSES OF THE INERTIVE DRIVE VIBRATION MACHINE

Kononov Dmytro, Miroshnyk Yevhen

Abstract. Purpose: to study the transients in the vibrating machine that accompany the start from rest and run out.

The studies were performed on a laboratory vibrating screen. The screen is driven by an adjustable drive - a single-shaft inertial vibrator, which has imbalances with variable mass. The screen has a resonant setting, ie h natural oscillation frequency is less than the frequency of the forcing force of the drive.

The GY-521 module with the MPU6050 chip is used to measure the kinematic characteristics. This module allows you to measure linear acceleration and angular velocity.

The graphs show typical graphs of changes in the acceleration points of the vibrating screen box at full cycle: from start to complete stop.

The graphs show the run-out (stop) areas of the screen. There is an increase in the amplitude of the oscillation of the acceleration of the screen box during the passage of the resonant frequency. This phenomenon is characteristic of the vibrating machine with a resonant setting.

Keywords: vibrating machine, transients, resonant zone, acceleration, accelerometer MPU6050.

References

1. Module GY-521 DataSheet [Electronic resource]. URL: https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6000Datasheet1.pdf

2. Reading, primary processing of accelerations and tilt angles from the MPU-6050 and recording them to the SD card ArduinoDUE / Mikhailov V.G., Leading Engineer, Ph.D., Midivisana LLC,Minsk.

3. Blekhman I.I. Theory of vibration processes and devices. Vibration mechanics and vibration technology / Blekhman I.I. - SPb .: Publishing House "Ore and Metals", 2013. - 640s.

ОЦЕНКА ЧИСЛЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Косолап А.И. докт. физ.-мат. наук, проф.

Украинский государственный химико-технологический университет, Украина

Введение. Задачи оптимизации возникают в любой сфере человеческой деятельности. Решение таких задач позволяет проектировать и создавать оптимальные сложные системы с минимальным расходованием ресурсов. Такие задачи ставились и решались еще до нашей эры. Интенсивность исследований в области оптимизации сильно возросла во второй половине прошлого века. Для решения задач оптимизации было разработано большое число различных методов. Однако эти методы позволяли находить только локальные экстремумы в задачах оптимизации. Это вынуждало исследователей строить только унимодальные модели, что значительно сужало область применения оптимизации. Практика требовала решения многих задач, которые были мультимодальными. Это вынудило исследователей заняться разработкой методов для решения мультимодальных задач. Эти исследования начались только в конце прошлого века. К этому времени методы решения для решения унимодальных задач почти себя исчерпали. При построении методов глобальной оптимизации наметилось два основных подхода детерминированный и стохастический. Вначале детерминированный подход ориентировался на разработку методов ветвей и границ [1]. В этих методах область поиска разбивалась на части и на каждой части локальными методами искалась верхняя и нижняя оценка. Если эти оценки не совпадали, то такая часть разбивалась на меньшие части. Этот подход был заимствован из области дискретной оптимизации и для решения задач с булевыми переменными он является доминирующим сегодня. Однако методы ветвей и границ оказались не эффективными для решения мультимодальных задач. Это связано с размерностью решаемых задач. Уже при размерности задачи больше десяти число разбиений области решений становится очень большим. Столкнувшись со значительными вычислительными проблемами, исследователи начали разрабатывать стохастические методы для решения задач глобальной

оптимизации [2]. Этот процесс продолжается и в наше время, хотя, по мнению автора, это направление себя исчерпало. Генетические, эволюционные и другие стохастические методы иногда позволяют находить приближенные решения в тестовых задачах, но во многих случаях они находят решения далекие от оптимальных. В наше время превалируют методы получения хороших оценок решений с последующей локальной оптимизацией. Для этого используется полуопределенная или выпуклая релаксация, решение двойственных задач [3]. Этот подход преимущественно используется в программных пакетах для решения задач глобальной оптимизации. Хотя такие методы не гарантируют получение глобального экстремума, но как показали численные эксперименты на тестовых задач, эти методы позволяют находить решения близкие к оптимальным.

Результаты исследований. Иной подход предложен автором, который разработал метод точной квадратичной регуляризации для решения мультимодальных задач [4]. В этом методе задача мультимодальной оптимизации преобразуется к эквивалентной, но более простой задаче максимума нормы вектора на выпуклом множестве. Простота преобразованной задачи заключается в том, что во многих случаях она становится унимодальной. Для ее решения достаточно программы локальной оптимизации.

Для проверки эффективности методов глобальной оптимизации разработано большое число тестовых и прикладных задач. Эти тестовые функции и задачи легко найти в Internet. Число тестовых задач превышает тысячу, их размерность доходит до нескольких тысяч. Две большие базы тестовых задач можно найти по адресам https://www.minlplib.org и https://www.gamsworld.org. Большинство тестовых задач (особенно первой базы) даны с решениями, полученными различными программными пакетами глобальной оптимизации BARON, ANTIGONE, COUENNE, LINDO, SCIP и другими. Эти результаты могут использоваться для сравнительной эффективности методов. Однако эффективность этих тестовых задач условной глобальной оптимизации для проверки методов не очень высокая. Это связано

с тем, что точность решения задачи зависит от точности выполнения ограничений. Для задач условной оптимизации очень малые изменения точности выполнения ограничений часто приводят к существенным изменениям значения целевой функции задачи. В этом случае, более информативными для численной проверки эффективности методов глобальной оптимизации являются тестовые задачи безусловной оптимизации. В Internet также можно найти тестовые функции порядка двухсот. Часть из них имеют размерность n, что позволяет решать задачи произвольной размерности. Некоторые задачи имеют прикладной характер, например, задача минимизации потенциальной энергии атома, результаты решений которой даны до 1000 атомов включительно. К сожалению, большинство тестовых задач безусловной оптимизации имеют тривиальные решения. Это затрудняет проверку эффективности методов, так как программы глобальной оптимизации могут модифицироваться до получения заданного точного решения задачи. Более информативными являются задачи с неизвестными решениями. Это такие, например, как тестовые функции Rana и Egg Holder. Для этих функций получение лучших решений будет свидетельствовать о большей эффективности метода. Автор предлагает увеличить число таких тестовых задач с неизвестными решениями. Мы обобщили многие несепарабельные тестовые задачи двух переменных на задачи n переменных. Это, например, такие тестовые функции, как Bird, Adjman, Trefethen, Mishra 6 и другие. Также большое число тестовых задач предложено в работах J. Nie [5], которые еще не включены в списки для обязательного тестирования. Решение в этих задачах неизвестно, поэтому они эффективны для численной проверки эффективности методов глобальной оптимизации. Автор предлагает для проверки эффективности методов использовать размерность задач n = 100. В большинстве публикациях приводятся результаты численных экспериментов для малых размерностей, что не является информативным.

Автор при помощи метода точной квадратичной регуляризации решил большинство нетривиальных тестовых задач. Результаты этих экспериментов

убедительно свидетельствуют в значительной эффективности этого метода. Практически для всех задач с неизвестными решениями были получены лучшие решения. В частности, для функции Rana n = 100 найдено решение $f(x^*)$ = -50865,131, что значительно превосходит результат $f(x^*)$ = -47332, полученный другими методами. И это при том, что эта задача решается разными методами уже более 25 лет. Некоторые результаты численных экспериментов приведены в табл. 1 (постановка задач в [6]).

Таблица 1 – Результаты решений тестовых задач

№ п/п	Задача	n	Метод EQR	Лучшее известное решение
1	Egg Holder	100	**-89948,532**	-89938
2	Rana	100	**-50865,131**	-47332
3	Trefethen	100	**-237,73323**	-135,6185154
4	Mishra 6	100	**-289,8371385**	-279,5928(python)
5	Adjman	100	**-23,95135**	-23,30464(python)
6	Scahffer 4	100	**28,95141**	48,951266(python)
7	M. Zakharov	100	**-255133,9934**	-254808,9343(python)
8	Scahffer 4	100	**28,95141**	48,951266(python)

В книге автора [4] приведены результаты решения 350 тестовых задач методом точной квадратичной регуляризации, которые сравниваются с лучшими решениями этих задач, полученных другими методами. Все решения автора приведены с ответами, по которым легко проверить истинность решений.

Выводы. В работе приведен анализ существующих тестовых задач для проверки численной эффективности методов глобальной оптимизации. Автор предлагает модификацию и расширение этих тестовых задач, упрощающих проверку эффективности методов. Для сравнительной численной эффективности методов использовался метод точной квадратичной регуляризации, разработанный автором. Этот метод показал значительное численное преимущество при решении большинства тестовых задач.

Література

1. Horst R. Global Optimization: Deterministic Approaches. 3rd ed./ R. Horst, H. Tuy. – Berlin:Springer–Verlag,1996. – 727 p.

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

3. Ye Y. Semidefinite programming /Y. Ye. – Stanford University, 2003. – 161 p.

4. Kosolap A. Practical Global Optimization/A. Kosolap. – Dnipro: Bila K.O., 2020. – 196 p.

5. Nie J. Regularization methods for SDP relaxations in large-scale polynomial optimization / J. Nie, L. Wang // SIAM Journal on Optimization, Vol. 22, 2012, pp. 408–428.

6. Jamil M. A literature survey of benchmark functions for global optimization problems / M. Jamil, XS. Yang // Int. J. Math. Model Numer. Optim., Vol. 4, No. 2, 2013, pp. 150–194.

COMPUTER MODELLING OF SLAG FOAMING IN CONVERTOR

Krasnikov K. PhD, senior lecturer, Lyzhov M. PhD graduate

Dniprovskyi state technical university, Kamianske, Ukraine

Oxygen converters are often used in steelmaking to remove carbon from pig iron by oxygen blowing and to melt metal scrap as step on the way for producing steel. Slag on the surface of melt inside convertor slows down gas bubbles, which makes great amount of emulsion or foam. Sometime the level of foam can exceed the height of converter bath. To prevent this, metallurgists need to predict such situations and decrease gas blowing accordingly at dangerous periods of converting. After many years of using oxygen converters metallurgists get good experience and know safe modes of this process. However these modes can be improved by mathematical modeling, which takes popularity in our days because it has lower costs than real experiments in a plant or laboratory. Hydrodynamic processes in converter are complex so mathematical model needs to avoid oversimplification and to take into account important details about them. In the previous work model is presented with details about equations (Navier-Stokes) and boundary conditions. Numerical solution is simpler to get than analytical one for such complex model. To check adequacy of the model the following assumptions are used: total amount of gas must be conserved in a case of closed volume as well as field of pressure must increase correspondingly to received amount of gas; in case of moving free surface a level of foam must change accordingly to gas income and return to an initial value after all gas are gone from fluid.

Conducted experiments illustrate change of foam level in a case when gas comes to the melt during the first 20 seconds with linear decrease to zero at 20 second. Computational domain is represented by 72x144 cells. Computation performance decreases when level of foam grows, because more cells take part in solving. Other figures show gas field (quantity is represented by color gradient) and speed field (drew by arrows with related length) for two cases: when volume is closed and when surface of melt is moving. In closed volume the mentioned above assumptions are checked and correspondent chart with gas and pressure is

presented. Thus a conclusion is made about qualitative adequacy of model. 2D visualization is made by computer program developed using popular language.

References

1. Stadler S.A.C., Eksteen J.J., Aldrich C. An experimental investigation of foaming in acidic, high FexO slags. – 2007, № 20, pp. 1121-1128.

2. Wu L. S., Albertsson G. J., Sichen D. Modelling of slag foaming // Ironmaking & Steelmaking. – 2010, Vol. 37, № 8, pp. 612-619.

3. Sattar M.A., Naser J., Brooks G. Numerical simulation of slag foaming in high temperature molten metal with population balance modeling // Proceedings of 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. – 2013, № 56, pp. 421 – 428.

МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗАМКНУТОЇ МАГНІТНОЇ СИСТЕМИ

Мартинов С.О к.т.н., Лук'янова В.П. пров. інженер-програміст,
Хажмурадов М.А. д.т.н., професор

Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»

1. Вступ. Проектування тороїдальних магнітних систем, призначених для утримання плазми магнітним полем [1], є складним технічним завданням через наявність у складі конструкції об'єктів складної просторової форми і великих габаритних розмірів. До таких об'єктів належать гвинтові обмотки. Найбільш складні проблеми пов'язані з отриманням математичних моделей, що адекватно описують в аналітичному вигляді просторове розташування досліджуваних об'єктів, апаратно-орієнтованих алгоритмів отримання зображення і методів оптимізації параметрів гвинтової обмотки. Задача математичного моделювання напруженого-деформованого стану магнітних систем полягає в розробці тривимірної геометричної моделі гвинтової обмотки та виборі керованих параметрів, що забезпечують мінімальне значення напруги й деформацій елементів магнітної системи. В роботи наведено математичні моделі та методи, які визначають напружено-деформований стан обмотки замкнутої магнітної системи.

2. Формулювання функції цілі при розрахунках НДС. Для вирішення задачі математичного моделювання НДС введемо частинні критерії оптимальності характеристик [2]

$$Q_{k_i}(x_1, x_2, \ldots, x_5),$$

де $k = 1, 2, 3, 4;$ $i = 1,2,3;$ $Q_{1_i} = \sigma_{1_i}$ – головні напруги, що діють на гранях виділеного елементу полюса магнітних обмоток; $Q_{2_i} = \tau_{2_i}$ – дотичні напруги на виділеному елементі; $Q_{3_i} = \varepsilon_{3_i}$ – деформації в напрямках осей, які прикладені до характерних точок кінцевих елементів; $Q_{4_i} = \phi_{4_i}$ – кути повороту розрахункових точок кінцевих елементів у напрямі осей координат.

Рішення задачі визначення частинних критеріїв оптимальності характеристик НДС зводиться до визначення параметрів $(x_1, x_2, \ldots, x_5)$, які знаходяться в області доступних значень D і одночасно забезпечують мінімум

всіх критеріїв оптимальності Q_k. Для оптимальності по сукупності критеріїв введемо векторний критерій оптимальності $Q(X)$. Тоді функцію цілі можна записати у вигляді

$$\min_{X \in D} Q(X),$$

де $X = (x_1, x_2, \ldots x_5)$ – вектор керованих параметрів; $Q(X)$ – функція цілі або критерій ефективності системи.

До керованих параметрів відносяться:

– геометричні характеристики тора;

– закон навивки полюсів на тороїдальну поверхню

$$\varphi = \varphi(\vartheta, \alpha, \beta, m_h, \ell),$$

де ϑ – кут, що характеризує положення точки лінії навивки в меридіональному перерізі; α і β – коефіцієнти модуляції; m_h – число кроків гвинтового провідника на довжині тора; ℓ – число заходжень гвинтових провідників;

– величини, що входять до закону Біо-Савара

$$\vec{B} = f\left(\vec{J}, d\ell, \vec{S}\right),$$

де $\vec{S}$ – радіус-вектор, проведений від елементу $\vec{J}\,d\ell$ до точки, в якій розраховується вектор магнітного поля;

– ряд констант, що характеризують властивості матеріалів, з яких складається полюс обмотки;

– площа поперечного перерізу полюсів обмоток.

Головна вимога до математичної моделі НДС полягає в тому, що математичне описання повинно із заданою точністю відображати величини напруг та деформацій, що виникають в елементах магнітної системи. Точність моделі визначається достовірністю отриманих результатів в ході випробувань.

3. Методи кінематичного моделювання гвинтової обмотки замкнутої магнітної системи. Суть методу полягає в тому, що для завдання поверхні необхідно описати її каркас (створюючої та направляючої кривої), сімейство площин, що визначають розташування перерізів та граничні умови. Опис кінематичної поверхні ГО складається з опису зміни форми кривої, що малює, і опису закону руху цієї кривої у просторі. Для ГО торсатрона крива, що малює, в

кожен момент часу знаходиться в одній площині і є набором меридіональних перерізів. Для завдання кінематичній поверхні ГО необхідно задати форму кривої, що малює, в площині та закон зміни кривої в просторі. Алгоритм отримання кінематичної поверхні ГО достатньо трудомісткий. Можна значно спростити завдання, якщо використовувати растрове представлення поверхні. В цьому випадку модель поверхні ГО представляється у вигляді сітки, що складається з характерних пересічних ліній, що належать поверхні. Такими лініями є меридіональні перерізи та відрізки, що сполучають характерні точки при розбитті замкнутих ліній, що обмежують перерізи. Точки перерізу замкнутих кривих, що обмежують переріз і відрізки, утворюють вузли растру, а безліч таких точок на модельованій поверхні – растр. У випадку, якщо відстань між вузлами растру невелика, то точки растру досить точно описують поверхню ГО. Тривимірна геометрична модель ГО наведена на рис. 1. Формоутворення складної поверхні ГО здійснюється по набору меридіональних перерізів (рис. 2). Здійснюється розбиття безконечно тонких провідників, що розглядаються в якості розрахункових, на 720 дискретних струмів елемента. Довжина кожного елемента коливається від 10 до 16 мм. Розбиття здійснюється січною площиною φ=const.

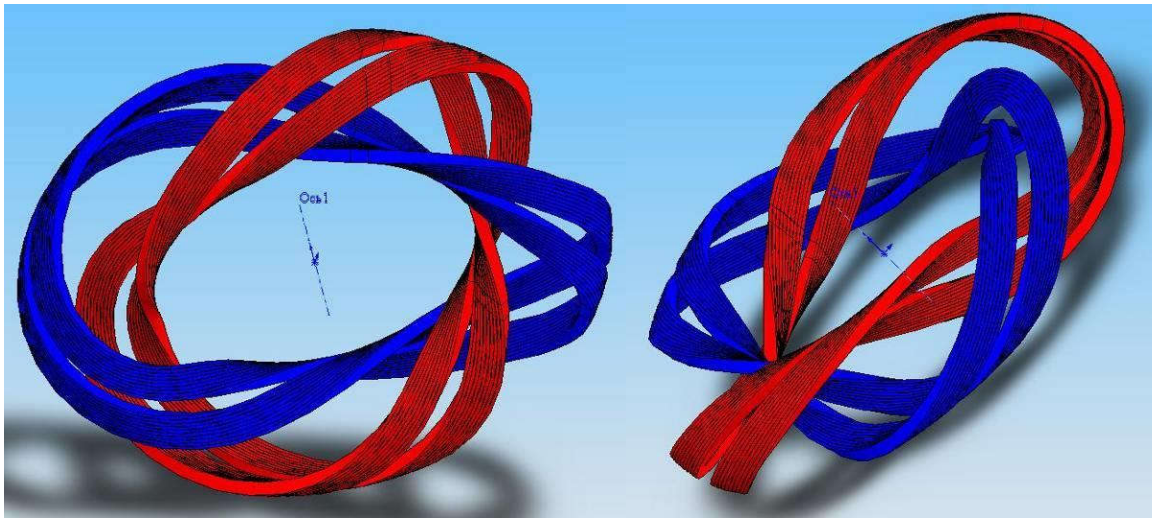


Рисунок 1 – Тривимірна геометрична модель ГО

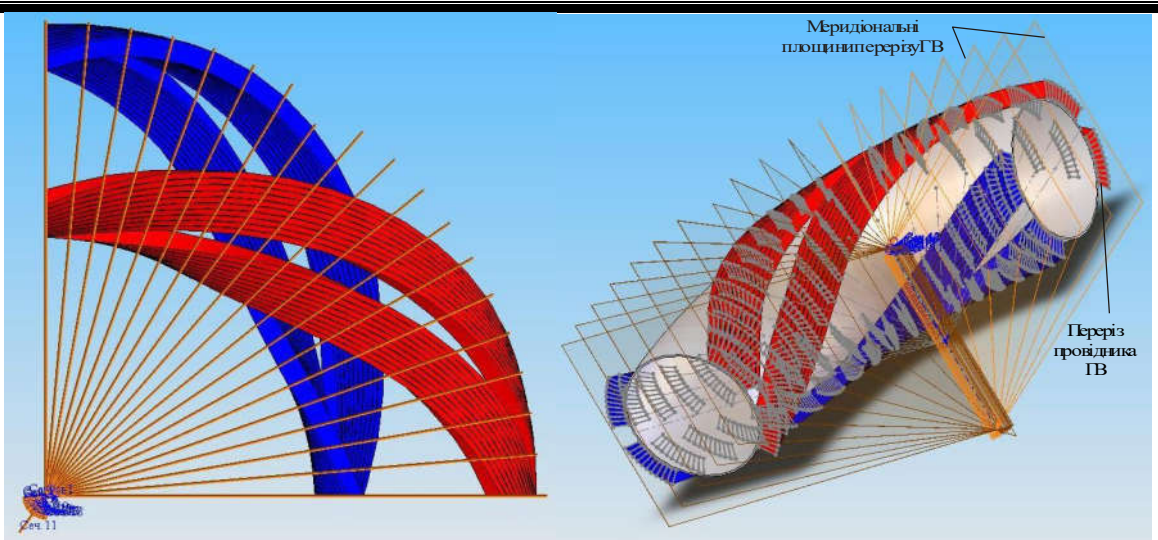


Рисунок 2 – ФормоутворенняповерхніГОпонаборумеридіональнихперерізів

4. Висновки. Розроблені математичні моделі та методи визначення напружено-деформованого стану обмотки замкнутої магнітної системи, яки дозволяють вирішити ряд конструкторсько-технологічних і експлуатаційних задач, а саме: – при яких струмах зусилля досягають екстремальних значень; при яких деформації полюсів призводять до спотворень геометрії полюсів обмоток і як ці збурення в геометрії відобразяться на властивостях магнітного поля, що утримують плазму.

Література

1. Волков Е.Д., Супруненко В.А., Шишкин А.А. Стелларатор. – Киев: Наук. Думка, 1983. – 310 с.

2. Батищев Д.И. Поисковые методы оптимального проектирования. – М.: Советское радио, 1975. – 215 с

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.018

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС

Мельник В.Є., к.т.н.[1], Кривошея А.В., к.т.н., с.н.с.[2],
Ткач П.М., к.т.н. доцент[3], Филь Р.С., к.ю.н., с.д.[1]

[1]Державний науково -дослідний інститут МВС України
[2]Інститут надтвердих матеріалів ім.В.М. Бакуля НАН України
[3]Інститут електрозварювання ім Є.О. Патона НАН України

Вступ. Циліндричні зубчасті передачі є складовою більшості машин і механізмів. Функціонування і працездатність машини або механізму залежить від працездатності циліндричних зубчастих передач зокрема. Особливістю геометрії циліндричних зубчастих коліс є те що на кресленні в явному вигляді вони не задаються. Так, на кресленнях циліндричних зубчастих коліс задається таблиця в якій вказуються параметри вихідного контуру контршаблоном якого є вихідний формоутворюючий контур, що в більшості випадків є прототипом різального інструменту для формоутворення циліндричного зубчастого колеса. Тобто розміри зубчастого колеса задаються через розміри інструменту [1]. Крім того в деяких випадках необхідно вирішити зворотну задачу формоутворення, знайти розміри інструменту за розмірами колеса. В 20 столітті в більшості випадків параметри інструменту підбирали експериментально, або знаходили графоаналітичним способом. З появою комп’ютерної техніки з'явилась можливість використання систем автоматизованого проектування або застосування власних алгоритмів для математичного моделювання, в тому числі для розрахунку циліндричних зубчастих передач і формоутворення циліндричних зубчастих коліс, зокрема.

Основний матеріал. В більшості САПР (Компас, Solidworks та інші) є окремі модулі, щодо розрахунку зубчастих передач. Однак, вони обмежені стандартними параметрами вихідного контуру, які регламентуються ДСТУ ISO 53-2001, ГОСТ 13755 - 81 та іншими стандартами, в більшості країн є свій стандарт. Так, авторами в програмі MathCAD була створена математична модель по формоутворенню циліндричних зубчастих коліс, яка дозволяє

задавати, як стандартні так і не стандартні параметри вихідного контуру, з урахуванням модифікації, дивись таблицю.

Таблиця – Вхідні параметри для розрахунку формоутворення циліндричного зубчастого колеса

	0	1
0	"Модуль"	20
1	"Кут головного профілю"	20
2	"Коефіцієнт висоти головки"	1
3	"Коефіцієнт висоти ніжки"	1.25
4	"Коефіцієнт радіуса кривизни перехідної кривої"	0.38
5	"Коефіцієнт радіального зазору в парі вихідних контурів"	0.25
6	"Коефіцієнт висоти модифікації"	0.45
7	"Коефіцієнт глибини модифікації"	0
8	"Коефіцієнт зміщення"	0
9	"Число зубів зубчастого колеса"	18

Програма враховує всі відомі схеми обробки, як то обробка довбачем чи черв'ячною фрезою, як для внутрішнього так і для зовнішнього зачеплення. Програма дозволяє вирішувати задачу з врахуванням умов порушення формоутворення, як то підрізання чи формування особливих точок зламу. В процесі вирішення задач прямого і зворотнього формоутворення, в кінцевому результаті ми отримаємо координати точок профілю. Як, відомо до окремо взятої точки не можливо визначити дотичну або нормаль. Для вирішення цієї проблеми використали інтерполяцію кубічними сплайнами, що дають можливість отримати неперервні першу і другу похідні на всій області визначення. Інтерполяція - спосіб знаходження проміжних значень величини за наявним дискретним набором відомих значень, тобто знаходження функції що буде проходити через відомі вузлові точки [2].

За даною програмою в кінці можна отримати текстовий файл з координатами X та Y, а також значення проекцій одиничних нормалей, які можна використовувати в інших програмах, як то Excel, Solidworks, NX, Компас та інші.

Програма дозволяє проводити візуалізацію зачеплення і створювати відео файл, на рис. 1 представлене формоутворення колеса внутрішнього зачеплення (коричневий колір) інструментом зовнішнього зачеплення (синій колір).

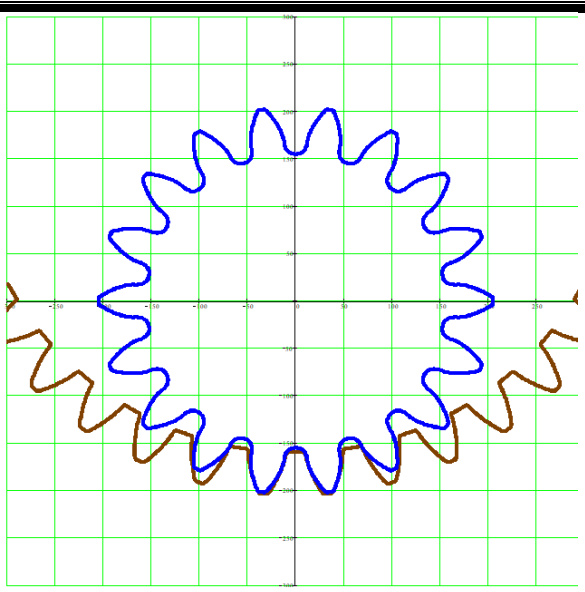


Рисунок 1 – Візуалізаціявнутрішньогозачеплення

Висновки. Універсальність представленої методики розрахунку відкриває можливість її екстраполяції на різні види нестандартних зачеплень, які відрізняються трудомісткістю синтезу та обчислень.

Література

1. Цилиндрические эвольвентные зубчатые передачи внешнего зацепления / И. А. Болотовский, Б. И. Гурьев, В. Э. Смирнов, Б. И. Шендерей. – М.: Машиностроение,1974. – 160 с.

2. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / М. Я. Выгодский. – М.:Наука, 1975. – 872 с.

References

1. Cilindricheskie evol'ventnye zubchatye peredachi vneshnego zacepleniya / I. A. Bolotovskij, B. I. Gur'ev, V. E. Smirnov, B. I. SHenderej. – M.:Mashinostroenie, 1974. – 160 s.

2. Vygodskij M. YA. Spravochnik po vysshej matematike / M. YA. Vygodskij. – M.: Nauka, 1975. – 872 s.

MATHEMATICAL MODELING OF CYLINDRICAL GEARS FORMATION

Melnyk Volodymyr, Krivosheya Anatoliy, Tkach Pavlo, Fyl Ruslan

Abstract. The mathematical model of shaping of cylindrical gears with standard and non-standard parameters is considered, taking into account the conditions of shaping.

Keywords: initial contour, theoretical shaping, gear wheel, cylindrical gear.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.019

УЗАГАЛЬНЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОБОТИ РУДНОТЕРМІЧНОЇ ПЕЧІ

Міщенко В.Ю

Національний університет «Запорізька політехніка», Україна

Вступ. Руднотермічні печі (РТП) є печами прямого нагріву і використовуються для отримання феросплавів, карбідів, кремнію, фосфору і інших матеріалів. Технологічні процеси, що відбуваються в її ванні енергоємні і дуже різноманітними. Метою даної роботи є їх узагальнення та встановлення взаємозв'язків між ними в умовах безперервної роботи печі.

Основний матеріал. В працях [1-4] розглядаються складові розробленої алгоритмічної моделі протікання різних окремих процесів в руднотермічній печі. Тому стає можливим представити її повний узагальнений алгоритм, що враховує взаємозв'язки між ними (рисунок 1).

З рисунку 1 видно, що модель складається з багатьох основних блоків, які, в свою чергу, теж мають більш детальний опис. Алгоритм має також одноразові та циклічні дії, які враховують всю динаміку отримання феросплавів.

До перших дій відносяться введення початкових параметрів для технологічного процесу в РТП, розбиття внутрішньої області печі на елементарні об'єми та визначення шляхів розтікання струму в ньому. Вхідними даними для моделі є: геометричні параметри печі – радіус ванни та висота заповнення її шихтою, діаметр електродів та їх глибина занурення в останню, радіус на якому вони розташовані відносно центру печі; електричні – вхідна напруга; компонентний склад шихти. Ванну РТП можна представити у вигляді циліндра та розділити її на однакові об'єми в системі циліндричних координат, тобто за радіусом, кутом та глибиною. Всі математичні розрахунки будуть здійснюватися в отриманих елементарних об'ємів, кількість яких можна змінювати. Шляхи розтікання струму представляються як дуги, що проходить через центри електродів в напрямку до країв, центру та подини ванни печі [1].

Завдяки циклічності алгоритму модель дозволяє в динаміці відслідковувати параметри плавки на заданих проміжках часу. Розрахунок енергії, що виділяється внаслідок проходження струму через шихту

здійснюється на основі її електричного опору [2], а температурне поле ванни визначається з урахуванням зміни теплоємності [3]. Знаючи миттєві значення температур в кожному елементарному об'ємі, враховується додатково самозаймання коксика та виділення теплоти за рахунок цього, і робиться перерахунок температурного поля. Далі, модель відслідковує процеси теплопередачі між елементарними об'ємами [3]. Після знаходження остаточного значення температури на даному кроці розрахунків стає можливим визначити обсяг утвореного розплаву та розрахувати кількість шихти, що необхідно підсипати [4]. Після чого виводяться параметри печі на даному кроці розрахунків. Далі цикл розрахунків повторюється.

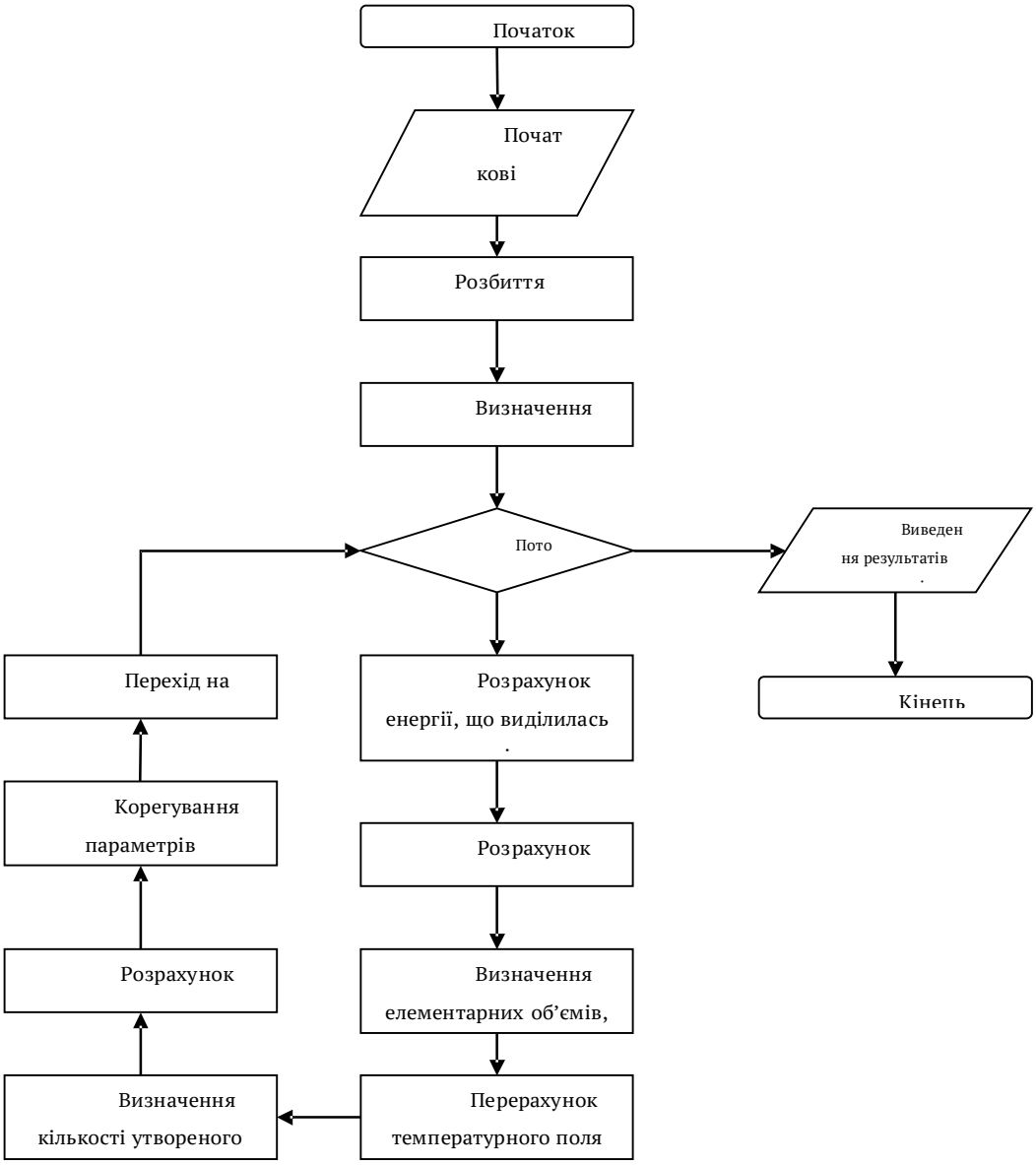


Рисунок 1 – Загальнаалгоритмічнамодельроботируднотермічноїпечі

Висновки. Універсальність наведеного алгоритму полягає у можливості проведення циклу розрахунків за різних поставлених умов, наприклад, таких: визначення за перебігом процесу витраченої кількості електричної енергії, утвореного розплаву та інше. Також модель переналаштовується при зміні параметрів шихти, в залежності від її компонентного складу та значення температури. Такими як: - питомий електричний опір; - масова теплоємність; - питома щільність; - коефіцієнт теплопровідності.

Література

1. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And PowerEngineering. – №2. – 2019. – 51-57.
2. Kachan Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145.
3. Качан Ю.Г. Алгоритм розрахунку температурного поля ванни руднотермічної печі /Ю.Г. Качан, Ю.Б. Ліуш, В.Ю. Міщенко // Вісник ХНУ. – 2018. – № 3 (261). – С. 19-22.
4. Качан Ю.Г. Визначення обсягів розплаву та шлаку під час плавки в феросплавній печі / Ю.Г. Качан, В.Ю. Міщенко// СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ МЕТАЛУРГІЇ. Наукові вісті. №23, (2020). – Дніпро: НМетАУ –ІВК «Системні технології», 2020. – с. 53-62.

GENERALIZATION OF ALGORITHMIC MODELS FOR ORE SMELTING FURNACE OPERATION

Mishchenko Vladyslav

Abstract. This article establishes the relationship between the various processes that take place in the furnace. Specifically: - heating of the charge due to its electrical resistance; - introduction of additional heat due to coke burning; - heat transfer processes in the volume of the furnace bath; - formation of melt and slag due to chemical reactions. The complete algorithm of operation of the ore-thermal furnace is presented. By means of which it becomes possible to model in dynamics the technological process of obtaining ferroalloys. Literature sources are presented, where a more detailed mathematical description of modeling the ferroalloy smelting process is presented. The model is reconfigured when changing the parameters of the charge, depending on its component composition and temperature value. Such

as: - electrical resistivity; - mass heat capacity; - specific density; - thermal conductivity. The described algorithmic model is universal for obtaining different brands of ferroalloys.

Keywords: ore-thermal furnace, algorithm, model, elementary volume, charge.

References

1. Mishchenko V.Yu. Definition ways of the current spreading process in the internal volume of the ore-thermal furnace./ V.Yu. Mishchenko, Yu.H. Kachan// Electrical Engineering And PowerEngineering. – №2. – 2019. – 51-57.

2. Kachan Yu. H. Determination of distribution of introduced energy by volume of ore-thermal furnace. / Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Naukovyi Visnyk NHU. – 2019. – № 3. – 138-145.

3. Kachan, Yu.H. Algorithm for calculating the temperature field of a bath of an ore-thermal furnace./ Yu.H. Kachan, Yu.B. Liush, V.Yu. Mishchenko// Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018 – №3(261) – 19-22.

4. Kachan Yu.H. Determination of melt and slag volumes during smelting in ore-thermal furnace/Yu.H. Kachan, V.Yu. Mishchenko// Modern problems of metallurgy. Scientific news. №23, (2020). – Dnipro:NMAofU – "Systemtechnologies", 2020. – 53-62.

ПРЯМОЕ ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ПРИ ДОЗВУКОВОМ ТУРБУЛЕНТНОМ ОБТЕКАНИИ КРУГОВЫХ ЦИЛИНДРОВ

Полевой О. Б. к.ф.-м.н.

Институт транспортных систем и технологий НАН Украины, Украина

Введение. Вычислительная аэроакустика (CAA – Computational aeroacoustics) традиционно опирается на акустические аналогии Лайтхилла, Керла, Ффокса-Вильямса-Хокинса и др. Эти аналогии с одной стороны выводятся из уравнений Навье-Стокса сжимаемого газа. С другой стороны, они содержат ряд априорных предположений о распространении акустических полей.

Прямое вычисление акустических шумов (DNC – Direct Noise Computation) на основе численного решения нестационарных уравнений вязкого сжимаемого газа является естественным подходом к решению задач акустики.

Основной материал. Прямое численное моделирование акустических колебаний проводилось на основе нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (URANS) сжимаемого газа, записанные в произвольной системе координат. Система уравнений замыкается дифференциальной моделью Спаларта-Аллмараса. Неявный численный алгоритм построен на основе схемы Роу и имеет второй порядок точности по времени и пространству. Подробности построения численного алгоритма и его верификация при решении задач о дозвуковом и трансзвуком обтекании аэродинамических профилей, включая режим автоколебаний скачков уплотнений, приведены в работе [1].

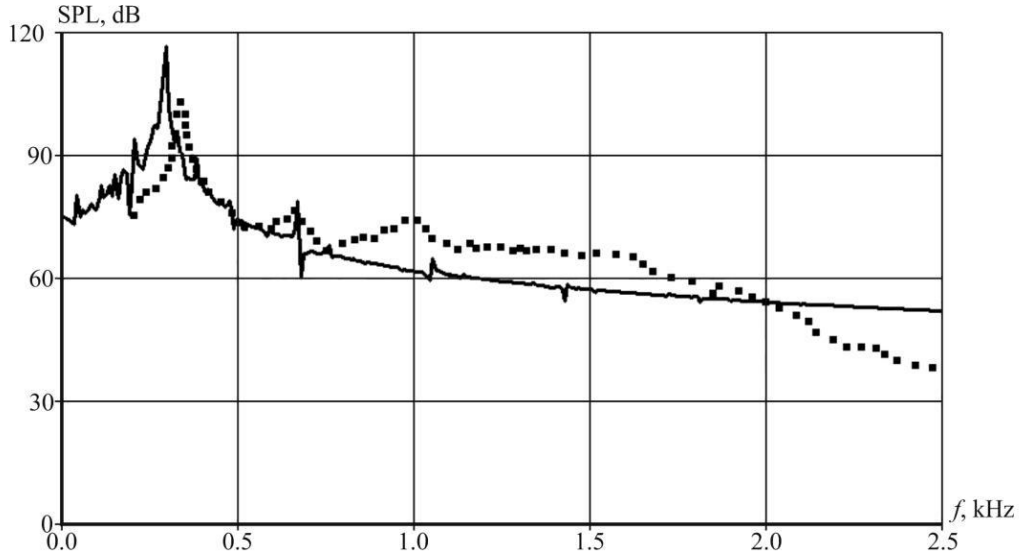
Акустические данные были получены на основе требований международному стандарту ISO 3740:2000 [2], как при обработке данных физического эксперимента. После получения развитого нестационарного течения вычислялось поле осредненного стационарного давления $\overline{p}$ на некотором интервале времени T, равном 20÷25 периодов колебаний. Затем определялось поле звукового давления p_{RMS} как среднеквадратичное значение мгновенного звукового давления $p_a = p - \overline{p}$ за интервал наблюдения T. Интенсивность акустических шумов рассчитывалась по логарифмической

шкале звукового давления (SPL – Sound Pressure Level) в децибеллах $L_{SPL} = 20 \cdot \lg(p_{RMS} / p_0)$, где p_0=2·10^{-5} Па – опорное звуковое давление.

Тестовый расчет генерации акустических колебаний был проведен для условий экспериментальной работы [3]. Скорость набегающего потока составляла 68 м/с, что соответствовало числу Маха невозмущенного потока $M_\infty = 0{,}2$. При диаметре обтекаемого цилиндра D=38мм число Рейнольдса составляло Re=1.8·10^5, т.е. обтекание проходило в докритическом режиме.

В следе за цилиндром образуется нестационарное квазипериодичекое движение воздуха, хорошо известное как вихревая дорожка Кармана. Колебания отрывной зоны в донной части цилиндра являются генератором акустических нагрузок во всей области течения.

Спектральный анализ частотного распределения расчетной интенсивности акустических шумов проводился с использованием быстрого преобразования Фурье. Распределения акустических частот для контрольной точки, расположенной на расстоянии $L = 35D$ от центра цилиндра под углом 90^0 к набегающему потоку, приведен на рис.1 в сравнении с экспериментальными данными [3]. Суммарное значение SPL в данной точке составило 118,8 дБ, что хорошо согласуется с экспериментальным значением 117 дБ.



■ – эксперимент [3]; — – расчет настоящей работы

Рисунок 1 – Распределения интенсивности звукового давления SPL по частотам при обтекании единичного кругового цилиндра

Выводы. Для проведения численного моделирование генерации акустических колебаний разработан подход, основанный на решении уравнений Навье-Стокса для сжимаемых течений, замкнутых дифференциальными моделями турбулентной вязкости и дополненных методами прямой обработки акустических полей. Выполнены верификационные тесты в сравнении с экспериментальными данными других авторов.

References

1. Pylypenko A.O., Polevoy O.B., Prykhodko O.A. Numerical simulation of Mach number and angle of attack influence on regimes of transonic turbulent flows over airfoils. TsAGI Science Journal. 2012. Vol. 43, No 1. P. 1–36.

2. ISO 3740:2000-11 (E) Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources – Guidelines for the use basic standards. – 25 p.

3. Revell J.D., Prydz R.A., Hays A.P. Experimental study of aerodynamic noise vs drag relationships for circular cylinders / AIAA Paper 77–1292, 1977. – 12p.

ПРО ОДИН ПІДХІД ДО ВИКОНАННЯ НЕМОДУЛЬНОЇ ОПЕРАЦІЇ ПОРІВНЯННЯ ЧИСЕЛ В МОДУЛЯРНІЙ СИСТЕМІ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

Поліський Ю.Д., к.т.н

Науково-дослідний інститут автоматизації чорної металлургії (НДІАчормет)

Постановка задачі. Одним із перспективних напрямків розвитку інформаційних технологій в даний час є використання системи залишкових класів (СЗК) [1]. СЗК - це система, в якій довільне число представлено у вигляді набору найменших невід'ємних залишків по модулях $m_1, m_2, \ldots, m_n$, тобто $N = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n)$. Тут $\alpha_i = N(\bmod m_i)$. При цьому, якщо числа m_i взаємно прості, то такому представленню відповідає тільки одне число N в діапазоні $[0, M)$, де $M = m_1 m_2 \ldots m_n$.

Разом з відомими перевагами СЗК виникають певні труднощі при реалізації немодульних операцій, зокрема, операції порівняння чисел [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження оперцій порівняння чисел в СЗК показали, що все розмаїття рішень може бути отримано на підставі трьох підходів. По першому для кожного з порівнюваних чисел обчислюються позиційні характеристики, після чого здійснюється поразрядне порівняння цих характеристик традиційними методами порівняння. Другий підхід використовує визначення приналежності чисел N_1, N_2 та їх різниці $\Delta = N_1 - N_2$ до верхньої або нижньої половині діапазону чисел. Якщо N_1 та N_2 належать до різних половин діапазону, то більшим (меншим) є число верхньої (нижньої) половини. Якщо ж N_1 та N_2 належать до однієї половини, то при належності Δ до верхньої половини діапазону $N_1 > N_2$. Третій підхід [3] заснований на складанні для кожного з чисел різниць $\alpha_i - \alpha_n \left(\bmod m_i\right)$, $i = 1, 2, \ldots$, в результаті чого весь діапазон M виявляється розбитим на $K = \dfrac{M}{m_n}$ піддіапазонів довжини m_n, всередині кожного з яких значення α_i однакові.

Формулювання мети дослідження. Метою дослідження є аналітичний розгляд СЗК для реалізації операції порівняння чисел.

Виклад основного матеріалу. Позначимо $M_i = m_1 m_2 ... m_i, i = 1, 2, \circ\circ\circ$. Тоді $N_i = (\alpha_1, \alpha_2, \circ\circ\circ$. Нехай $r(N_i)$ - ранг числа N_i [4], тобто характеристика числа, яка показує скільки разів треба відняти величину діапазону з отриманого числа, щоб повернути його в діапазон. .

При порівнянні чисел $N^1_i = \left(\alpha_1 \alpha_2, \circ\circ\circ\right.$ та $N^2_i = \left(\beta_1 \beta_2, \circ\circ\circ\right.$ необхідно визначити результат. $N^1_i > N^2_i$ чи $N^1_i < N^2_i$.

Підхід, що пропонується, використовує ітераційну процедуру, на кожній ітерації якої виконується зіставлення рангів порівнюваних чисел при послідовному зміні діапазону їх представлення. Ітераційний процес завершується при першому перевищенні одного рангу над іншим або при рівності рангів на всіх ітераціях - по співвідношенню залишків за кінцевим модулем.

Розглянемо в системі модулів $m_1 = 2, m_2 = 3, m_3 = 5, m_4 = 11$ в якості прикладу порівняння чисел $N^1_n = 69 = (1, 0, 4, 3)$ та $N^2_n = 74 = (0, 2, 4, 8)$. Ранг чисел N^1_n та N^2_n по відношенню до $M = m_1 m_2 ... m_3 = 30$ є відповідно $r(N^1_i) = 2$ та $r(N^2_i) = 2$. Отже, переходимо до наступної ітерації. При цьому $N^1_n = 69 - M_3 r(N^1_i) = 69 - 30*2 = 9$, $N^2_n = 74 - M_3 r(N^2_i) = 74 - 30*2 = 14$. Ранг чисел N^1_n та N^2_n по відношенню до $M = m_1 m_2 = 6$ є відповідно $r(N^1_i) = 1$ та $r(N^2_i) = 2$. Оскільки $r(N^2_i) > r(N^1_i)$ число $N^2_n = 74 = (0, 2, 4, 8) > N^1_n = 69 = (1, 0, 4, 3)$.

Наведемо ще один приклад. Розглянемо в тієї ж системи модулів порівняння чисел $N^1_n = 47 = (1, 2, 2, 3)$ та $N^2_n = 46 = (0, 1, 1, 2)$. Ранг чисел N^1_n та N^2_n по відношенню до $M = m_1 m_2 ... m_3 = 30$ є відповідно $r(N^1_i) = 1$ та $r(N^2_i) = 1$.

Переходимо до наступної ітерації. При цьому $N^1_n = 47 - M_3 r(N^1_i) = 47 - 30*1 = 17$, $N^2_n = 46 - M_3 r(N^2_i) = 46 - 30*1 = 16$. Ранг чисел N^1_n та N^2_n по відношенню до $M = m_1 m_2 = 6$ є відповідно $r(N^1_i) = 2$ та $r(N^2_i) = 2$.

Переходимо до наступної ітерації. При цьому $N^1_n = 17 - M_3 r(N^1_i) = 17 - 6*2 = 5$, $N^2_n = 16 - M_3 r(N^2_i) = 16 - 6*2 = 4$. Ранг чисел N^1_n та N^2_n по відношенню до $M = m_1 = 2$ є відповідно $r(N^1_i) = 2$ та $r(N^2_i) = 2$. Отже, ітераційний процес закінчено. В цьому випадку здійснюємо зіставлення залишків $\alpha_1 = 1$ та $\beta_1 = 0$. Оскільки $\alpha_1 = 1 > \beta_1 = 0$ отримуємо $N^1_n = 47 = (1, 2, 2, 3) > N^2_n = 46 = (0, 1, 1, 2)$.

Висновки. Розглянутий підхід реалізації в системі залишкових класів немодульної операції порівняння чисел. Показано, що запропонований підхід забезпечує отримання шуканого результату. Представляється доцільним застосувати запропонований підхід в якості перспективного напрямку досліджень складних операцій в системі залишкових класів.

Література

1.Акушский И.Я., Юдицкий Д.И. Машинная арифметика в остаточных классах. М.:Советское радио. 1968. 440 с.

2.Полисский Ю.Д. Сравнение чисел в остаточных классах // Труды Юбилейной Международнойнаучно-технической конференции «50лет модулярной арифметики», Россия,Москва,Зеленоград,23-25 ноября 2005, издательство МИЭТ, С. 274–290.

3.Полисский Ю. Д. Некоторые вопросы выполнения сложных операций в системе остаточныхклассов // Электронноемоделирование.- 2008.- Т. 30.- №2.- С. 115-120.

4.Краснобаев В. А. Примеры определения ранга числа, представленного в непозиционной системе счисления остаточных классов / В.А. Краснобаев, А.А. Замула, А.С. Янко // Радиотехника : всеукр. межвед. науч.-техн. сб. / Харьк. нац. ун-т радиоэлектроники.– Харків, 2018. – Вып. 193. – С. 143–151.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.020

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЗНАНИЙ В КОНЕЧНЫХ АВТОМАТАХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Поляков М.А. к. т. н., доцент

Национальный университет «Запорожская политехника» (Украина)

Вступление. Конечный автомат описывается кортежем из множеств входов, состояний, выходов которые связаны функциями переходов и выходов [1]. Такой автомат отрабатывает цепочки «вход (событие) – новое состояние – выход (деятельность), которые заложены при его проектировании. То есть адаптация деятельности должна быть предусмотрена его функциями и любые события, не представленные во множестве входов, а также события не связанные с выходом из текущего активного состояния, игнорируются. Большей способностью к адаптации деятельности обладают конечные автоматы с перестраиваемой структурой, в том числе с функциями активации, деятельности и выходов, которые задаются отдельно для каждого состояния автомата [2]. Но в известных автоматах не решен вопрос обоснования выбора рационального варианта структуры управляющего автомата, что затрудняет адаптацию системы

Цель работы состоит в том, чтобы повысить обоснованность выбора структуры управления и качество адаптации системы путем расширения баз знаний и информации об объекте системы и техническом состоянии устройства управления системы.

Основной материал. Знания, используемые для описания автомата в его кортеже, представим предикатами **переход**(из<состояние>, по<вход>, в<состояние>) и **деятельность** (в<состояние>, <выход>). Множество предикатов **переход** задает функцию переходов автомата, а множество предикатов **деятельность** – функцию выходов, которые определяют поведение, предусмотренное при проектировании автомата. Этих знаний недостаточно для управления в непредусмотренных, нестандартных ситуациях порождающих процессы адаптации и развития. Источником этих ситуаций являются объект системы и операционные автоматы устройства управления системы. Предложено описывать взаимодействие объекта системы и управляющего автомата с помощью функций воздействия и реакций. Взаимосвязь множеств и функций системы показана на рис. 1. Чтобы

детализировать знания, полученные в ходе взаимодействия объекта системы с управляющим автоматом, в работе [3] предложены контура деятельности и управления, которые связаны через состояния автомата. Детализируем возможности этих контуров. Если i-е состояние представлено на графе автомата вершиной с m входящими и n исходящими дугами управляющих событий, то через него проходит (n+1) контуров (n связаны с переходами в другие состояния, а один – с продолжением деятельности в этом состоянии). Соответственно это состояние должно иметь (n+1) входов реакций объекта.

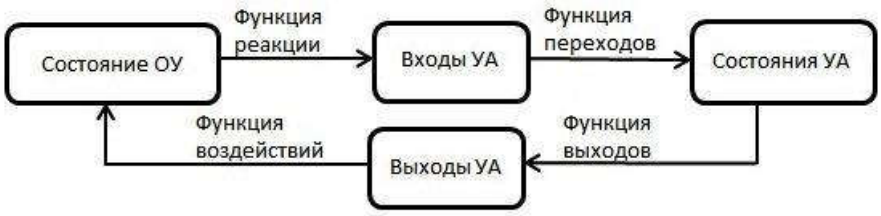


Рисунок 1 – Взаимосвязь множеств и функций системы

В классических автоматах выход состояния не зависит от входа, через который прошла активация состояния, что соответствует логической операции ИЛИ над входами управляющих событий состояния по отношению к его выходу деятельности. Если предположить, что для каждой входящей дуги управляющего события предусмотрена своя деятельность, то такое состояние будет иметь m выходов деятельности. Дополнительные функциональные возможности предоставляет управление состоянием, которое может быть применено ко всем интерфейсным элементам состояния, как показано на рис. 2.

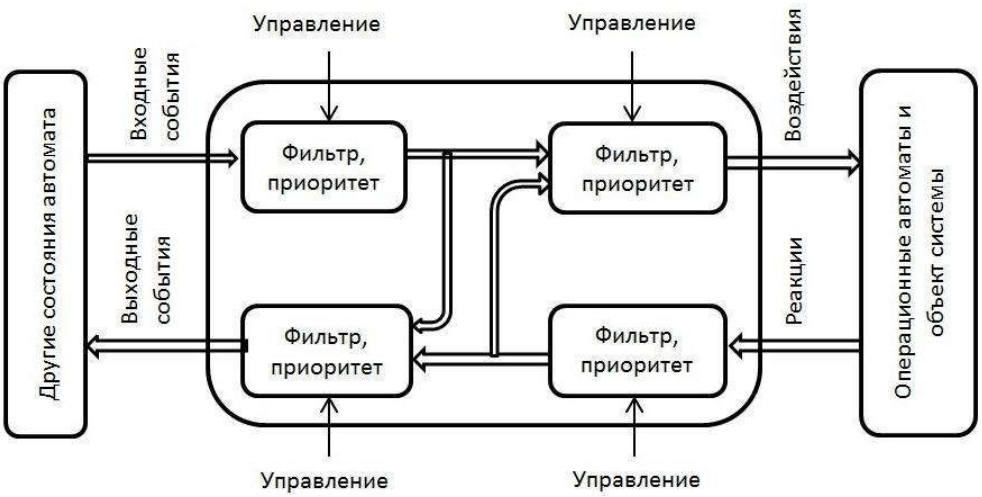


Рисунок 2 – Структура управляемого состояния

Введение контуров деятельности позволяет выстроить логические цепи взаимодействия элементов объекта системы и устройства управления на основе принципов кольцевой причинности. Пусть в замкнутом контуре деятельности выделены две точки А и В. Тогда возможны два логических заключения: «из А следует В» и «из В следует А», которые отличаются направлением обхода контура.

Например, пусть имеется контур продолжения нагрева. Контур состоит из следующих звеньев: состояние «нагрев»; вкл. печь (точка А); поток энергии; процесс нагрева объекта; температура объекта (точка В) и время нагрева; условие продолжения нагрева; состояние «нагрев». Относительно связи событий в точках А и В в контуре возможны два логических заключения:

1. Включение печи причина роста температуры объекта (из А следует В).

2. Уменьшение температуры объекта - причина включения печи (из В следует А).

Между точками А и В имеется несколько звеньев, которые расположены в объектной части контура и операционных автоматах (для первого заключения) или в управляющей части контура (для второго заключения). Каждый элемент контура автомата представим предикатом, задающим отношения между входными, выходными множествами элемента и его атрибутом, зависящим от целей запроса к программе. База знаний по контуру состоит из множества фактов – предикатов элементов контура с конкретными значениями его аргументов и правил, описывающих связи между предикатами. Эта база составляет основу Пролог программы. Целями запроса программе могут быть определение условий некоторого технического состояния элементов системы, состояния объекта системы при заданных технических состояниях элементов, оценка корректности модели объекта системы учитываемой при управлении и другие.

Выводы. Описание управляющего автомата в виде кортежа из трех множеств и двух функций содержит ограниченное количество знаний. Предложено дополнить это описание функциями воздействий и реакций объекта, множеством состояний объекта. Это позволило задать и обрабатывать причинно-следственные отношения в контурах деятельности и управления

автомата и расширить на этой основе базу знаний системы для диагностики ее технического состояния и адаптации к изменению объекта системы и внешних условий.

Литература

1. ГлушковВ. М.Синтезцифровыхавтоматов. — М.: ГИФМЛ, 1962. — 476 с.

2. Поляков М. А. Конечные автоматы с небинарными элементами множеств. / М. А. Поляков, И. А. Андриас. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірникнауковихпраць. Дніпро,2019. №2 (121), С. 85 - 94.

3. Poliakov M., Subbotin S., Andrias I. Control System Control Unit FSM Semantic Models. Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Дніпро. 2019. №5 (124). С. 43 – 53.

KNOWLEDGE REPRESENTATION IN STATE MACHINES OF CONTROL SYSTEMS

Poliakov Mykhailo

Abstract. The questions of knowledge representation in control automata of control systems are considered. It is proposed to describe the interaction of the system object and the control automaton using the functions of actions and reactions; to consider the states of the control machine as elements that form the contour of activity and control in the system; describe causal relationships in circuits based on the principles of circular causality; the structure of the state controlled by all interface elements is proposed. Examples of Prologue programs with a knowledge base on the contour of activity and queries about the serviceability of contour elements are given.

Keywords: control automatons, knowledge representation, activities and control circuits, controlled states, automata knowledge base.

References

1. Glushkov V.M. Synthesis of digital automata (Sintez tsifrovykh avtomatov). M., Fizmatizdat,1962. – 476 p.

2. Polyakov M., Andrias I. Finite automata with nonbinary elements of sets (Konechnyye avtomaty s nebinarnymi elementami mnozhestv). System technologies. Regional interuniversity collection of scientific works. Dnipro. 2019. №2 (121). P. 85 – 94.

3. Poliakov M., Subbotin S., Andrias I. Control System Control Unit FSM Semantic Models.). System technologies. Regional interuniversity collection of scientific works. Dnipro. 2019. №5 (124). P. 43 – 53.

КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Пошивалов В.П. д. т. н., Данієв Ю. Ф. к. т. н., Резниченко Л. В.

Інститут технічної механіки НАН України и ДКА України

Зростання складності сучасних інформаційних систем (ІС), підвищення вимог до якості їх роботи, висока економічна ціна відмов ставить першочерговим питання забезпечення надійності їх функціонування. Методи забезпечення надійності ІС необхідно розглядати за трьома напрямками: забезпечення надійності апаратної частини, програмної частини та людини оператора. Застосування кожного з них окремо сприяє підвищенню надійності, але тільки сукупність різних методів може забезпечити ефективне підвищення надійності, тобто досягнення необхідного її значення при мінімальних витратах. В роботі надана класифікація методів забезпечення надійності ІС в сукупності (рис. 1).

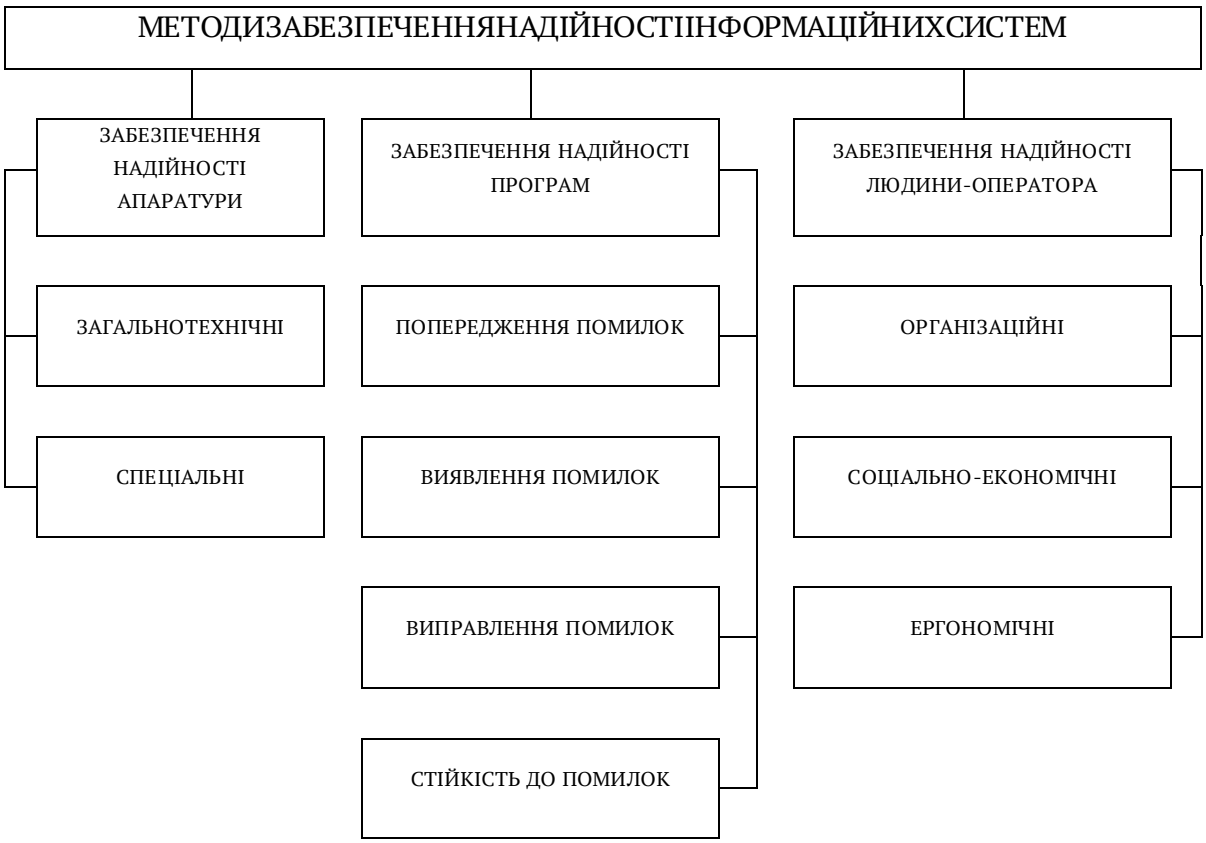


Рисунок 1 – Класифікаціяметодівзабезпеченнянадійностіінформаційнихсистем

Для апаратури методи забезпечення розбиті на два класи: загальнотехнічні і спеціальні. Це зроблено з метою більш повного їх поетапного використання. До загальнотехнічного класу методів віднесені такі, які можуть використовуватися в усіх випадках проектування систем. Спеціальні методи застосовуються в тих випадках, коли використання загальнотехнічних методів не забезпечує пред'явлені вимоги до надійності

Якщо припускати, що в програмному забезпеченні якісь помилки все же таки будуть присутні, то краща (після попередження помилок) стратегія – включити засоби виявлення і виправлення помилок в саме програмне забезпечення. При наявності залишкових помилок функціями програмного забезпечення є також забезпечення стійкості до помилок, тобто здатність системи програмного забезпечення продовжити функціонування при наявності помилок.

В роботі також розглянуті методи забезпечення надійності людини – оператора.

ПАРАМЕТРИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ НЕЙТРОННОЇ РАДІОГРАФІЇ

Прохорець С. І. к.т.н., Хажмурадов М. А. д.т.н., проф.

ННЦ ХФТІ, Харків, Україна

Вступ. Нейтронна радіографія (НР) - ефективний метод неруйнівного контролю, який одержав розвиток у багатьох країнах світу. В роботі [1] підкреслено, що при проектуванні і створенні НР установки замість дорогих натурних експериментів для вибору оптимальних її параметрів необхідно використовувати методи математичного моделювання. Такий підхід в даний час є загальноприйнятим при створенні великих наукових і технологічних установок і дозволяє найбільш раціонально використовувати накопичені знання і досвід. В даній роботі сформульовано системи обмежень та функцію мети для оптимізації параметрів НР установки.

Фізична модель установки для нейтронної радіографії. Припустимо, що до складу установки для нейтронної радіографії входять наступні пристрої: прискорювач заряджених частинок, нейтроноутворююча мішень, сповільнювач швидких нейтронів, коліматор з діафрагмами для формування пучка нейтронів, фільтр для зменшення гамма-фону, об'єкт досліджень і позиційно-чутливий детектор для реєстрації розсіяних в об'єкті нейтронів. Об'єкт дослідження і детектор поміщені в радіографічну камеру, оснащену апаратурою контроля і радіаційним захистом. Для оптимізації основних параметрів установки представимо її у вигляді безлічі підсистем з взаємозв'язками (рис. 1), зумовленими функціональними особливостями системи [2,3]. Такими взаємозв'язками в даній системі є взаємодія пучка електронів з певною енергією і струмом з нейтроноутворюючою мішенню і проходженням нейтронів і гамма-квантів, що виникли, послідовно через тракт формування нейтронів і об'єкт дослідження до детектора. З Рис. 1 видно, що в першому наближенні в даній системі функціонування будь-якої з підсистем не залежить від подальшої, тому завдання оптимізації їх параметрів зводиться до автономного моделювання підсистем. Моделювання можна починати з будь-якої підсистеми, на вхід якої надходить інформація тільки з одного джерела. У представленій системі такий випадок можна реалізувати, якщо припустити, що гамма-фон від нейтронної мішені зневажливо малий, тобто між підсистемами і

взаємодія (2,2) не передається. Таке уявлення складної системи дозволяє використовувати для характеристики її підсистем як математичні моделі, так і інформацію у вигляді таблиць, графіків і т.д.

Основними характеристиками НР установки є: а) щільність потоку нейтронів певного діапазону енергій (теплові, резонансні, швидкі і т.д.); б) щільність потоку нейтронів всього спектру енергій; в) рівень фону розсіяних нейтронів; г) рівень гамма-фону та його просторовий розподіл; д) максимальні розміри досліджуваного зразка; е) якість зображення.

Визначальними характеристиками при проведенні початкового етапу оптимізації параметрів установки можна вважати а), б), г) і е). Деякі з основних характеристик можуть бути обчислені і представлені у вигляді графіків і таблиць, для отримання інших необхідно використовувати ймовірнісні методи. Останні, наприклад метод Монте-Карло, застосовуються для розрахунку взаємодії нейтронів з речовиною.

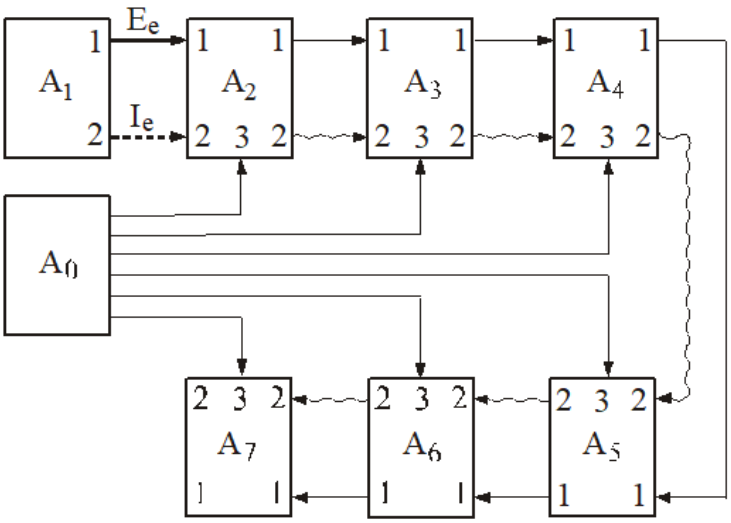


Рисунок 1 – Спрощена структурна схема установки для нейтронної радіографії
A_0 – зовнішнєсередовище; A_1 – прискорювач заряджених частинок;
A_2 – нейтроноутворюючамішень; A_3 та A_4 – сповільнювач і коліматор нейтронного пучка відповідно; A_5 – фільтргамма-квантів; A_6 – об'єктдослідження;
A_7 – позиційно-чутливий детектор нейтронного зображення;
E_e та I_e – енергія та струм електронів відповідно; → –нейтрон, ⇝ – гаммаквант.

Наведені характеристики залежать від зовнішніх факторів і керуючих параметрів, до яких в даному випадку відносяться енергія і струм прискорених

електронів на мішені, товщина і матеріал мішені, матеріал і розташування сповільнювача-коліматора та гамма-фільтра. Завдання математичного моделювання НР установки полягає у виборі керованих параметрів, що забезпечують оптимальне значення щільності потоку нейтронів на виході з системи формування при мінімальному куті колімації нейтронів. Як окремі критерії при оптимізації НР установки можна взяти: максимальну щільність потоку нейтронів всього спектру або максимальну щільність потоку нейтронів, енергія яких відповідає оптимальній для даних умов контролю; допустиму інтенсивність гамма-випромінювання в нейтронному пучку; розміри джерела випромінювань і т.д.

На керовані параметри можуть бути накладені такі обмеження:

– енергія прискорених електронів (не менше), МеВ – 25;

– струм прискорених електронів на мішені (не менше), мкА – 100;

– кут нейтронопровода по відношенню до пучка електронів (не менше), град. – 90;

– відстань від центру мішені до основи коліматора (не більше), мм – 100;

– довжина коліматора (не менше) см – 100.

Найбільш оптимальною формою нейтронної мішені є свинцева куля діаметром 60 мм з колодязем діаметром 15 мм і глибиною 20 мм. Вона дозволяє отримати майже ізотропний розподіл виходять нейтронів на виході, якій слабо залежить від кута вильоту в діапазоні 90÷150°. При енергії падаючих електронів 23 МеВ вихід фотоелектронів з такою мішені склав $4 \cdot 10^{10}$ нейтр. / МкА·сек. Збільшення енергії електронів більше 25 МеВ не призводить до помітного збільшення виходу фотонейтронів з титану, вольфраму та свинцю [4]

Методом статистичних випробувань розраховувалася інтенсивність і енергетичний спектр пучка нейтронів після коліматора, який розглядався у вигляді циліндра з уповільнює речовини з зовнішнім діаметром 40 см і внутрішнього каналу у вигляді порожнього циліндра з діаметром d=10 см і довжиною L, яка змінювалася в межах 20-400 см. Нейтроноутворююча мішень розташовувалася на відстані H=10 см від передньої стінки коліматора (Рис. 2).

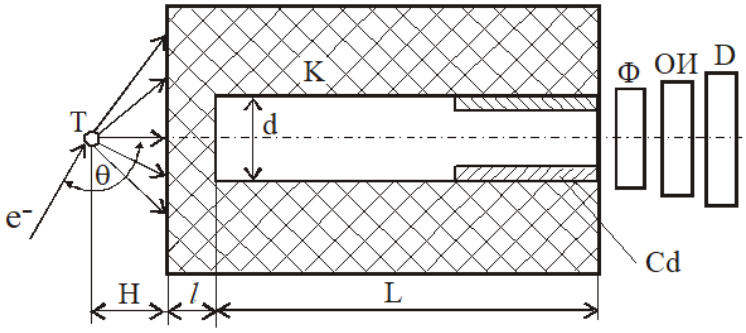


Рисунок 2 – Спрощена схема формування нейтронного пучка
Т – нейтроноутворююча мишень; К – коліматор; ОИ – об'єктдослідження;
Ф – гамма-фільтр; D – детектор; Cd – вставка з кадмію

У процесі розрахунків визначався вплив на параметри пучка товщини передньої стінки сповільнювача, довжини внутрішнього полого циліндра, відстані об'єкта досліджень від виходу коліматора і т.д. Об'єкт дослідження при моделюванні знаходився на відстані 10 см від виходу коліматора. Характерною особливістю залежності виходу нейтронів від товщини передньої стінки для області теплових енергій є наявність ділянки товщини передньої стінки коллиматора до 5 см, в якому спостерігається максимальна інтенсивність нейтронів в області енергій 0,025 - 0,1 еВ і 1-2,5 МеВ на виході. Для НР установки в якості функції мети необхідно прийняти максимальну кількість нейтронів заданого енергетичного спектра при заданому відношенні довжини полого коліматора до його вихідного діаметру. З проведених розрахунків випливає, що розташування об'єкта дослідження поблизу коліматора є найбільш раціональним.

Висновки. В роботі сформульована функція мети, визначені параметри, що дозволяють оптимізувати установки для нейтронної радіографії. Показано, що дана задача відноситься до класу багатозв'язних систем з розподіленими параметрами. Показано, що розташування об'єкта дослідження поблизу коліматора є найбільш раціональним.

Література

1. Batiy V.G., Prokhorets S.I., Khazhmuradov M.A. et al Development of mathematical and experimental model of neutron radiography setup // Problems of Atomic Science and Technology,Series:"NuclearPhysicsInvestigations". 2003. N2(41). P. 116-117.
2. БусленкоН.П. Моделированиесложныхсистем. М.: Наука, 1968. – 356 с.
3. Дыхненко Л.М., Кузьмин И.В. Петров Э.Г. и др. Основы моделирования сложных систем. Киев: Выща школа, 1981. – 360 с.
4. Прохорец С.И., Прохорец И.М., Хажмурадов М.А. Математические модели прохождения нейтронов через вещество // Радиоэлектроника и информатика. 2003. №1. С. 124-128.

ВИЯВЛЕННЯ ЗМІН У РУСІ КОСМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ОСНОВІ АВТОРЕГРЕСІЙНИХ МОДЕЛЕЙ

Саричев О.П. д.т.н., с.н.с.; Первій Б.А., м.н.с.

Інститут технічної механіки НАН и ДКА України

Своєчасне виявлення зміни характеристик об'єктів ракетно-космічної техніки в ході їх тривалої експлуатації є одним з основних завдань при розробці і дослідженні бортових систем підтримки ефективності їх функціонування. Для виявлення зміни характеристик функціонування динамічних систем за результатами їх спостереження розроблений метод статистичної класифікації на основі моделювання в класі авторегресійних рівнянь [1] - [2].

Мета даної роботи - застосування розробленого методу статистичної класифікації для виявлення зміни руху нефункціонуючого космічного апарату "Січ-2". Оскільки завдання моделювання в класі авторегресійних моделей поставлені в умовах структурної невизначеності (апріорно невідомі структури авторегресійних моделей), то для їх вирішення застосовуються результати [3] - [4], отримані в рамках методу групового обліку аргументів.

Побудова моделей руху КА «Січ-2» проводилася з використанням часових рядів його TLE-елементів (Two Line Element set) [5] на основі ітераційної процедури оцінювання коефіцієнтів бета-авторегресійних моделей в умовах нерівномірно-віддалених спостережень, розробленої в [6]-[7]. Вихідні часові ряди TLE-елементів представлені змінними, вказаними в табл. 1. Для моделювання використовувалися вибірки часових рядів, починаючи зі спостереження 17 серпня 2011 року о 09 год. 57 хв. 37 сек. (спостереження № 1) і закінчуючи наглядом 8 липня 2019 року в 15 год. 46 хв. 42 сек. (Спостереження № 6064).

Розв'язана задача виявлення зміни руху нефункціонуючого космічного апарату «Січ-2» на основі авторегресійних моделей, побудованих за часовими рядами TLE-елементів.

Різка зміна руху поведінку космічного апарату «Січ-2» сталася 13 грудня 2013 г. Для встановлення причин цієї події необхідно залучення додаткової інформації.

Розроблений метод доцільно використовувати для виявлення зміни руху об'єктів ракетно-космічної техніки в процесі їх тривалої експлуатації.

Література

1. Сарычев А.П. Классификация состояний динамической системы, функционирование которой описывается векторной авторегрессией / А. П. Сарычев // Системні технології. – Випуск 4 (123). – 2019. – С. 131–154.

2. Сарычев А.П. Классификация состояний динамического объекта, функционирование которого описывается одномерной авторегрессией / А.П. Сарычев // Системні технології. – Випуск 5 (124). – 2019. – С. 61–76.

3. Сарычев А. П. Моделирование в классе систем авторегрессионных уравнений в условиях структурной неопределенности / А. П. Сарычев // Международный научно-технический журнал "Проблемы управления и информатики". – 2015. – № 4. – С. 79–103.

4. Александр Сарычев. Моделирование сложных систем в условиях структурной неопределённости: регрессионные и авторегрессионные модели / А. П. Сарычев. LAP LAMBERT Academic Publishing RU, Saarbrücken,Deutschland. – 2016. – 274 с.

5. TLE-елементи українського космічного апарату «Січ-2» [Електронний ресурс]. – Режимдоступу https://www.n2yo.com/satellite/?s=37794.

6. Sarychev O. P. Optimal regressors search subjected to vector autoregression of unevenly spaced TLE series / O. P. Sarychev, B. A. Perviy, // Системні технології. – Випуск 2 (121). – 2019. – С. 95–110.

7. Sarichev O. P. Autoregression models of space objects movement represented by TLE elements / O. P. Sarichev, B. A. Perviy // Системні технології. – Випуск 2 (127). – 2020. – С. 103–116.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ МОНІТОРИНГУ ПРИ НЕРІВНОМІРНИХ І НЕЧІТКИХ ІНТЕРВАЛАХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Скалозуб В.В., д.т.н., Мурашоов О.В.

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

Процедури моніторингу різноманітних процесів у складних системах на практиці часто дають змогу отримати лише короткі часові послідовності даних з нерівномірною у часі вибіркою. Такі короткі нерівномірні у часі послідовності даних (НЧПД) не дозволяють використовувати для аналізу традиційні статистичні моделі. Завдання ускладнюється при нечітких характеристиках вихідних даних. Для вирішення завдань аналізу та прогнозування НЧПД натепер застосовують кілька підходів. Серед них відзначимо включення часової інформації у метрики відстані, що використовуються для кластеризації часових рядів. Застосування для моделювання і прогнозування нечітких часових рядів процедур із встановлення нерівних частин областей універсуму дискурсу, з подальшою оцінкою взаємозв'язків між послідовними точками даних з використанням генетичного алгоритму. Створюються нові структури моделювання, що забезпечують економію моделей нечітких часових рядів (FTS) при збереженні певного рівня точності поза вибіркою та інше. Нами була представлена нова математична модель щодо аналізу НЧПД, яка для моделювання використовує сепарабельні форми обліку часових інтервалів між рівнями ряду. В ній нерівномірні (нечіткі) інтервали вибірок виділяються в окрему складову моделі, розглядаються як одна із компонент вектору даних процесу моніторингу. При моделюванні часової складової враховуються лише послідовності величин інтервалів. Окремо моделюються інші характеристики досліджуваних процесів, результати моделювання яких «накладаються» у відповідності до порядку їх розміщення у початкових НЧПД на результати моделювання часових інтервалів. Остаточно комплексна модель НЧПД являє собою сформовані для кожної із властивостей оцінки параметрів, які зв'язуються між собою з оцінками періодів, отриманими за моделлю часового інтервалу. Сепарабельна модель (СПМ) процесів моніторингу визначає як

значення нового моменту виникнення чергової події спостережуваного процесу, так і відповідні моменту характеристики процесу.

У представленому дослідженні вирішені важливі для формування СПМ завдання щодо підвищення чисельної ефективності алгоритмів моделювання складових (часової та інших змістовних) процесів моніторингу у формі НЧПД, реалізованих засобами нечітких часових послідовностей (FTS) на основі модифікованої квантильної моделі, а також завдання формування нечіткої моделі процесів з перемінним інтервалом спостереження. Запропоновані процедури моделювання НЧПД були перевірені шляхом порівняльного аналізу результатів з відомими дослідженнями. В подальшому вони були застосовані для моделювання процесів клінічного моніторингу стану хворих на діабет. При цьому засобами моделювання вирішуються головні завдання щодо прогнозування максимального (детермінованого або нечіткого) періоду до стану/подій, які відповідають певним вимогам, а також із визначення небезпечних оцінок показників процесу моніторингу хвороби. В доповіді представлений та встановлено ефективність удосконаленого алгоритму (FTS), який поєднує квантильну модель (представляє граничні процеси узагальнення) з випадковими процесами спостережень. При реалізації процесів з нерівномірною у часі вибіркою застосовано перехід до моделей послідовностей з нечітким кроком, реалізація яких в подальшому виконується шляхом застосування підходу на основі α-рівнів. Для кожного із таких α-рівнів засобами моделювання встановлюються значення контрольованих параметрів процесів. Для скаляризації нечіткого результату застосовувався метод центру ваги.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.021

ПРОГНОЗУВАННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОВШОВИХ ШЛАКІВ НА ОСНОВІ КОНЦЕПЦІЇ НАПРАВЛЕНОГО ХІМІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Степаненко Д.О.[1], к.т.н., Вергун О.С.[1], д.т.н., с.н.с., Кисляков В.Г.[1], к.т.н., Петруша В.П.[1], м.н.с., Пушкаренко М.В.[2], асп. НМетАУ

[1] Інститут чорної металургії НАН України, Україна

[2] Національна металургійна академія України, Україна

На даний час у світі сировинна база для підприємств металургійного комплексу зазнала серйозних змін, які можуть викликати істотний вплив на хімічний склад чавуну і шлаку. У зв'язку з цим виникає необхідність оперативного контролю складу і властивостей продуктів плавки з метою спрямованого впливу для стабілізації шлакового режиму, так як у виробничих умовах відсутня можливість експериментального визначення властивостей шлакових розплавів, ці властивості можна розрахувати за допомогою прогнозних моделей [1, 2].

Була поставлена ціль розробити методики оперативного прогнозу властивостей кінцевого доменного шлаку з урахуванням змін в процесі його взаємодії з чавуном протягом випуску і транспортування до установки для позапічної обробки чавуну. Для досягнення цієї мети необхідно було вирішити такі завдання:

- вивчити та узагальнити наявні відомості про структуру і властивості доменних шлаків, методах їх визначення для встановлення зв'язку параметрів шлакового режиму з показниками доменної плавки;
- експериментально визначити залежність найважливіших властивостей доменного шлаку від його хімічного складу і температури;
- створити комп'ютерну модель промислових доменних шлаків для визначення їх структури та основних властивостей;
- розробити методику оперативного розрахунку в'язкості шлаків для коригування складу шихтових матеріалів і добавок.

При побудові прогнозних моделей використовувалася розроблена в ІЧМ НАНУ методика фізико-хімічного моделювання для «згортки» інформації про хімічний склад металургійних розплавів, відповідно до якої фізико-хімічний і

структурний стан шлакових розплавів характеризується фізико-хімічними критеріями.

При використанні розробленого підходу була отримана кількісна залежність температури ліквідус від параметрів міжатомної взаємодії. Зокрема, отримана наступна прогнозна модель для температури ліквідус (1) для умов меткомбіната Китаю:

$$T_{лікв.} = -193,697 - 671,311d + 13740,62tg\alpha + 1887,396\rho - 230,886\Delta e/\rho \quad (R = 0,8857) \quad (1)$$

d - структурний параметр, що характеризує середньостатистичну відстань між атомами в квазіхімічному наближенні; Δe - середньостатистичне число електронів, локалізованих у напрямку атомів; що взаємодіють; ρ - показник стехіометрії системи; tgα - параметр, що характеризує зміну заряду атома в залежності від відстані.

На прикладі температури ліквідус показана методика розрахунку прогнозних величин фізико-хімічних параметрів шлаку від його складу.

Запропонованою методикою можуть бути отримані температурні залежності щільності, поверхневого натягу, в'язкості і електропровідності реальних доменних шлаків в інтервалі температур 1200-1400 °С.

Література

1. Воскобойников В. Г., Дунаев Н. Е., Михалевич А. Г. и др. Свойства жидких доменных шлаков.- М.:Металлургия,- 1975,- 184 с.

2. Тогобицкая Д. Н. Моделирование межфазного распределения элементов в системе «Металл - Шлак» при выплавке чугуна. // Металлургическая и горнорудная промышленность.– 1999. - № 1. - С. 8-11.

FORECASTING OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF LADLE'S SLAGS ON THE BASIS OF THE CONCEPT OF THE DIRECTED CHEMICAL COMMUNICATION

Stepanenko Dmytro, Verhun Oleksandr,
Kysliakov Volodymyr, Petrusha Viktoriia, Pushkarenko Mykyta

Abstract. The work is devoted to the development of a methodology for the operational forecast of the properties of the final blast furnace slag by its chemical composition and temperature to improve the quality of hot metal in terms of sulfur content.

The analysis of the accumulated experimental data on the properties of modern blast furnace slags is performed, using the criteria of the theory of directed chemical bonding the dependences of liquidus temperature on model parameters are established and an adequate forecast model of bucket slag liquid temperature on its model parameters is obtained.

The created technique allows to obtain temperature dependences of density, surface tension, viscosity and electrical conductivity of real blast furnace slags in the temperature range 1200-1400 ° C.

The approach to modeling of slag melts at the level of interatomic interaction used in the article can be used to develop predictive models of different technological properties of furnace slags in a wide range of temperatures. The obtained results are of practical importance and can be used for rapid prediction of the liquidity temperature of furnace slags and adjustment of their chemical composition in accordance with technological requirements.

Keywords: hot metal, liquidus temperature, magnesium, model, desulfurization.

References

1. Voskoboynikov V. G., Dunaev N. E., Mikhalevich A. G. et al. Properties of liquid blast-furnace slags.- M .: metallurgy, - 1975, - 184 p.

2. Togobitskaya DN Modeling of interphase distribution of elements in the "Metal - Slag" system during cast iron smelting. // Metallurgical and mining industry. - 1999. - No. 1. - S. 8-11.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.023

ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ЗІ СПОСТЕРІГАЧАМИ СТАНУ

Стьопкін В.В. доц., к.т.н., Юдін О.В., Котляр М.В., Паламарчук О.О.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна

Вступ. Автоматизований електропривод (АЕП) у теперішній час має практично необмежені можливості для автоматизації більшості виробничих механізмів. Це обумовлено розвитком напівпровідникової та мікропроцесорної техніки, яка використовується в складі систем керування АЕП. Сучасні мікроконтролери дозволяють забезпечувати високі показники якості роботи цифрового асинхронного електропривода у статиці та у динаміці за рахунок двоканального векторного керування асинхронним двигуном (АД). Для деяких промислових механізмів (вентилятори, насоси, компресори), діапазон регулювання швидкості яких не перевищує 1:100, не маючих вимог до швидкодії, при роботі в агресивному середовищі (атомні та хімічні виробництва), нестандартних кліматичних умовах (низькі та високі температури, висока вологість), при ударних та механічних впливах застосування датчиків поза шафами керування АЕП є недоцільним. Для виключення датчиків вихідних координат двигуна в систему керування АЕП вводяться спостерігачі стану – спеціальні математичні алгоритми, реалізовані у вигляді підпрограм контролера керування.

Основний матеріал. До основних проблем, які виникають при побудові бездатчикового векторного електропривода відносять наступні.

Спостерігач стану, який побудований на основі розв’язання повної системи рівнянь електричної рівноваги для статора і ротора за доступною інформацією про напруги та струми статора, здатний забезпечити прийнятну точність обчислення потокозчеплення та швидкості лише в обмеженому діапазоні частот. Проблемою є чутливість електропривода до зміни його параметрів в процесі роботи. Перш за все це відноситься до температурних змін активних опорів статора та ротора, а також до зміни взаємної індуктивності в залежності від струму кола намагнічування. Також проблемою

є отримання необхідної точності оцінки еквівалентних значень струмів та напруг статора.

Недосконалість методології проектування спостерігачів як елементів цифрової системи керування електропривода також є проблемою. В теперішній час розповсюджений підхід на основі аналогових прототипів.

Одним з самих розповсюджених та ефективних способів керування АД є векторний з орієнтацією за полем ротора. Структурна схема векторної системи керування асинхронним двигуном зі спостерігачем стану наведена на рис.1.

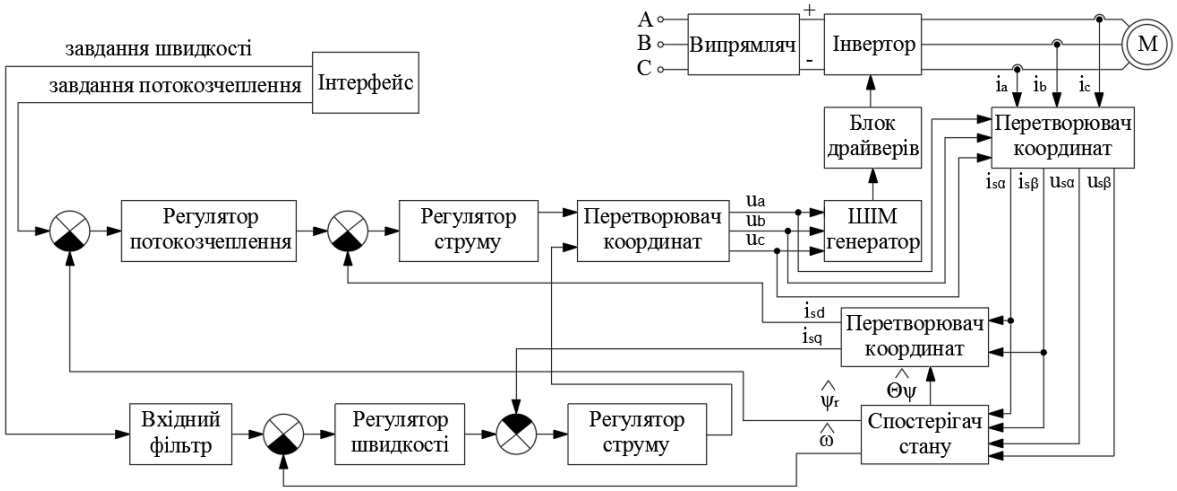


Рисунок 1 – Структурнасхемавекторноїсистемикерування асинхроннимдвигуномзіспостерігачемстану

Керування АД здійснюється за допомогою перетворювача частоти, до складу якого входить випрямляч та інвертор на базі повністю керованих силових ключів – транзисторів (рис.1). Регулювання відкриття та закриття ключів здійснюється через блок драйверів чотири контурної векторної системи керування. У якості зворотних зв'язків для зовнішніх контурів використовуються вихідні сигнали $\hat{\omega}$ та $\hat{\psi}_r$, спостерігача стану, який розраховує кут повороту вектора потокозчеплення ротора $\hat{\Theta}_{\psi_r}$, необхідних для роботи перетворювачів координат. В даній векторній системі керування використовуються: перетворювач координат з переходом з природньої системи координат A-B-C в двофазну нерухому $\alpha-\beta$ та перетворювач координат у двофазну обертову d-q у якій функціонують регулятори; перетворювач координат з обертової у природну систему координат.

Бездатчикова система координат передбачає вимірювання статорних струмів i_a, i_b, i_c двигуна та розрахунок напруг u_a, u_b, u_c за інформацією вихідних сигналів u_{sd} та u_{sq} регуляторів проекцій струму статора. Для розрахунку змінних стану двигуна спостерігач використовує математичну модель двигуна в двофазній нерухомій системі координат, тому вихідними змінними для ідентифікатора є напруги статора $u_{s\alpha}, u_{s\beta}$ та струми $i_{s\alpha}, i_{s\beta}$ двигуна.

Дослідженню систем бездатчикових асинхронних електроприводів присвячені роботи закордонних вчених [1-5]. Для асинхронного електропривода використовуються спостерігачі стану на базі повного порядку, зниженого порядку, ковзаючого режиму, нейронної мережі, фільтра Калмана [1]. Питання бездатчикового прогнозування моменту АД з використанням спостерігача повного порядку оцінки потоку та швидкості в ковзаючому режимі розглянуті в роботі [2] з експериментальними результатами. Цікавим є алгоритм визначення початкового положення ротора АД на основі порівняння магніто-рушійних сил (МРС) обмоток ротора та статора [3]. Система бездатчикового векторного керування АД на основі фільтра Калмана зниженого порядку зі зменшенням розмірності керуючої матриці спостерігача стану описана в роботі [4]. В роботі [5] запропонований спосіб запобігання низької частоти статора АД для покращення характеристик бездатчикових асинхронних електроприводів.

Висновки. Встановлено, що модифікації асинхронних електроприводів зі спостерігачами стану випускаються ведучими світовими виробниками та затребувані в умовах сучасного ринку. Теоретичні та практичні питання по розробці електроприводів залишаються не повністю вирішеними та є актуальними. Розглянуті основні проблеми побудови асинхронних електроприводів зі спостерігачами стану та підходи до побудови спостерігачів потоку та швидкості АД.

Література / Reference

1. D. Xu, B. Wang, G. Zhang, G. Wang and Y. Yu, "A review of sensorless control methods for AC motor drives," in CES Transactions on Electrical Machines and Systems, vol. 2, no. 1, pp. 104-115, March 2018, doi: 10.23919/TEMS.2018.8326456.

2. F. Wang, S. A. Davari, D. A. Khaburi and R. Kennel, "Sensorless model predictive torque control for induction machine by using the sliding mode full-order observer," 2011 Symposium on Sensorless Control for Electrical Drives, Birmingham, UK, 2011, pp. 114-117, doi:10.1109/SLED.2011.6051554.

3. T. A. Funk, A. I. Grebnev and A. A. Sabel'nikov, "Mathematical description of sensorless pulse-vector control system of asynchronous motor at constant voltage supply," 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), St. Petersburg, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICIEAM.2017.8076312.

4. E. M. Solodkiy, D. A. Dadenkov and A. M. Kostygov, "Sensorless vector control of asynchronous machine based on reduced order Kalman filter," 2018 17th International Ural Conference on AC Electric Drives (ACED), Ekaterinburg, 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ACED.2018.8341710.

5. G. Lefebvre, V. Le Digarcher, J. Gauthier, A. Hijazi and L. Xuefang, "Optimal low-stator-frequency avoidance strategy to improve the performances of induction machine sensorless drives," 2015 IEEE Symposium on Sensorless Control for Electrical Drives (SLED), Sydney, NSW, Australia, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/SLED.2015.7339256.

PROBLEMS OF CONSTRUCTION OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES WITH STATE OBSERVERS

Stopkin Vasyl, Yudin Oleksandr, Kotliar Mykhailo, Palamarchuk Olha

Abstract. This paper considers the problems of constructing asynchronous electric drives with state observers and the latest advances in the field of sensorless alternating current drives. The main areas of application of asynchronous electric drives with state observers are determined. A vector sensorless control system using coordinate converters from a natural coordinate system to a stationary and rotating one and a state observer based on a mathematical model of a motor in a two-phase stationary coordinate system was used as a basic one when considering the structures of modern asynchronous electric drives. The main types of flow and speed observers of asynchronous electric drives are considered for the tasks of constructing a high-quality asynchronous electric drive with vector control without using sensors. The problem was formulated for further modernization of control systems based on an electric drive with a flow and speed observer.

Keywords: frequency converter, asynchronous motor, state observer, mathematical model, coordinate converter, controller, sensor.

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ВИСОТИ КИПЛЯЧОГО ШАРУ

Федотова М. О. к.т.н, Скриннік І.О. к.т.н., доцент,
Осадчий С.І. д.т.н., професор, Трушаков Д.В. к.т.н., доцент

Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна

Вступ. Киплячий шар використовується у багатьох галузях виробництва, зокрема в АПК для сушіння зернових. В установках, в основі яких покладено принцип «киплячості», процес сушіння відбувається у багато разів швидше, ніж у звичайних зерносушарках. Це пояснюється тим, що у зваженому стані дисперсний матеріал омивається теплоносієм зі всіх сторін, що в значній мірі прискорює процес віддачі вологи у вигляді пари, тобто збільшується швидкість сушіння при мінімальній експозиції.

Якісно управляти швидкоплинними процесами можливо тільки при наявності автоматичних систем, розробка яких для такого роду об’єктів представляє деякі труднощі, і ось чому.

Основний матеріал. При Центральноукраїнському національному технічному університеті на кафедрі с-х машинобудування була розроблена конструкція зерносушарки з киплячим шаром. Її особливістю є те,що в камері сушіння під кутом до вісі знаходяться 7 рівновіддалених каскадів-решет, якими рухається зерно, нагадуючи собою в’язку речовину. Під нижній каскад подається агент сушіння з певною температурою. Частина вже зволоженого теплоносія виводиться через осадову камеру, а решта – через бункер завантаження. Наявність рівновіддалених каскадів викликає потребу розглядати сушарку як об’єкт автоматизації не лише із запізненнями за рахунок транспортування, а й як об’єкт з розподіленими параметрами.

В результаті вивчення літературних джерел встановлено, що однією з головних причин зменшення ефективності сушіння насіння у таких зерносушарках з киплячим шаром (ЗКШ) є наявність суттєвих коливань висоти киплячого шару та, як наслідок, флуктуацій кількості насіння у зоні сушіння.

Для зменшення впливу цієї причини на ефективність сушіння пропонується мінімізувати дисперсію відхилень висоти киплячого шару

насіння від заданого значення у результаті постановки та розв'язання наступної задачі синтезу оптимальної системи стабілізації.

Нехай сушарка (рис. 1), яка має n каскадів, функціонує в усталеному режимі, тому вважається, що температура теплоносія на вході до сушарки, швидкість руху насіння по каскадах та висота киплячого шару є стаціонарними випадковими процесами. В такому разі, динаміку зерносушарки доцільно характеризувати множиною з n лінеаризованих систем звичайних диференціальних рівнянь

$$P_k x_k = M_k u_k + \psi_k, \qquad (1)$$

де P_k – поліноміальна матриця розміру 2x2, елементи якої є поліномами від оператора диференціювання p=d/dt (k – номер каскаду); x_k – вектор сигналів на виході k-того каскаду (вектор регульованих величин).

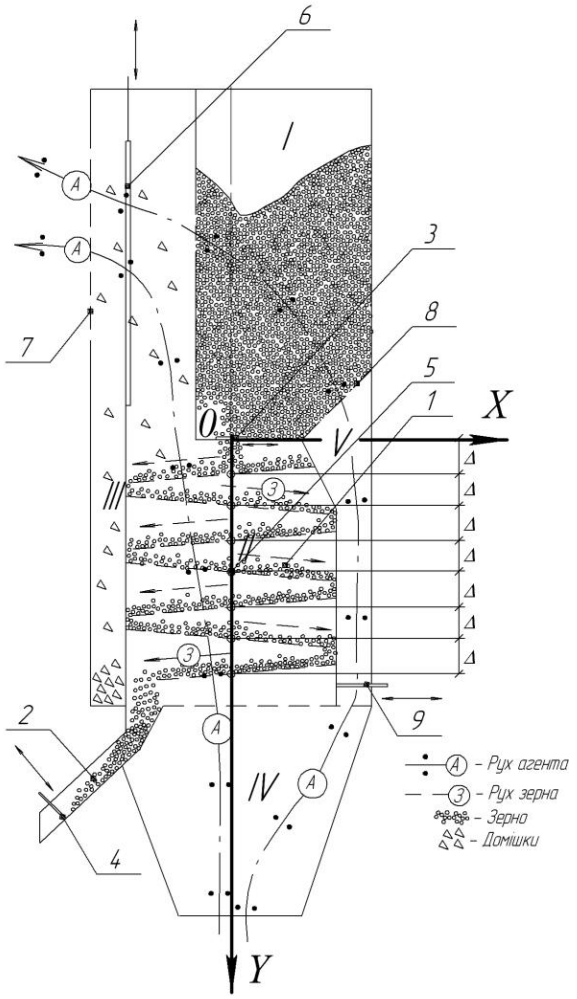


Рисунок 1 – ЗКШзсистемоюкоординат

h_k – відхилення висоти киплячого шару над каскадом від заданого значення; w – відхилення вологості насіння на виході сушарки; M_k– поліноміальна матриця розміру 2x2, елементи якої можуть мати чисте запізнення; u_k – вектор сигналів керування (регулюючих величин).

$$x_k = \begin{bmatrix} h_k \\ w \end{bmatrix}; \qquad (2)$$

$$u_k = \begin{bmatrix} S_h \\ T \end{bmatrix}; \qquad (3)$$

S_h – відхилення положення шиберу завантаження 3 від математичного сподівання; T – відхилення температури агента від номінального значення;

ψ_k – вектор неконтрольованих збурень, які виникають в результаті коливань розміру зернин, їх вологості, швидкості руху, турбулентності потоку агенту сушіння та ін.

Якщо вважати доступними для виміру сигнали w, S_h та T, то структурна схема системи стабілізації висоти киплячого шару може бути представлена як наведено на рис. 2, а завдання синтезу оптимальної системи стабілізації зводиться до того, щоб за відомою конструкцією дослідного зразка ЗКШ та виміряними даними про компоненти векторів (2) та (3) визначити моделі динаміки об'єкта керування та збурень, які діють на нього в усталеному режимі; синтезувати структуру та параметри матриці оптимальних передаточних функцій спостерігача F_k, регулятора $W_{РЕГ}$, а також випереджувача Сміта S_m; оцінити ефект від впровадження системи стабілізації висоти киплячого шару насіння.

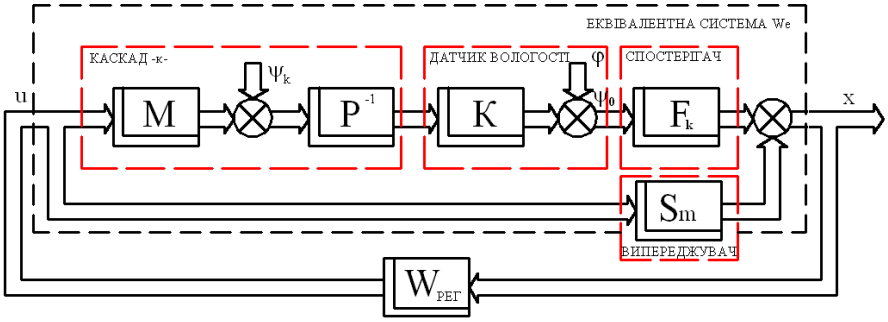


Рисунок 2 – Структурна схема системи стабілізації висоти киплячого шару насіння за неповними вимірами

Першим етапом на шляху опису математичної моделі зерносушарки з киплячим шаром, представленої на рис. 1, є ідентифікація її сигналів «вхід-вихід» у вигляді спектральних щільностей на основі даних експерименту. На даному етапі в результаті застосування алгоритму Блекмена-Т'юки до реалізацій компонентів векторів сигналів керування та вихідних сигналів отримані оцінки відповідних кореляційних функцій та спектральних щільностей для усіх елементів множини об'єктів керування. Дискретне перетворення Фур'є згладжених оцінок кореляційних та взаємних кореляційних функцій дозволило розрахувати оцінки спектральних та взаємних спектральних щільностей відповідних сигналів. Апроксимація оцінок

спектральних та взаємних спектральних щільностей методом узагальнених логарифмічних частотних характеристик дозволила визначити математичний опис цих сигналів у вигляді спектральних щільностей, графіки деяких з них показані на рис 2.

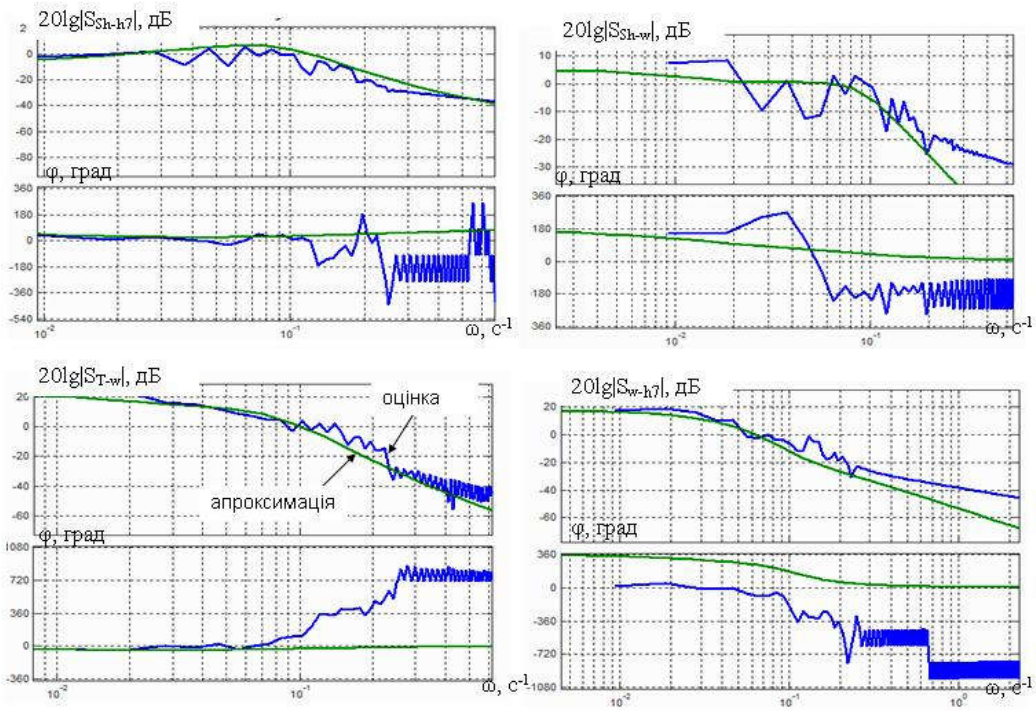


Рисунок 2 – Взаємні спектральні щільності сигналів вхід-вихід та їх апроксимація

Висновки. Після отримання опису сигналів «вхід-вихід» об'єкта, можна перейти до наступного етапу ідентифікації – це опис динаміки зерносушарки та збурень, які діють на каскадах, у вигляді множити матриць спектральних і взаємних спектральних щільностей.

Література

1. Петренко М. М. Експериментальні дослідження впливу параметрів зерносушарки каскадного типу на показники роботи / М. М. Петренко, І. О. Скриннік, Д. В. Богатирьов, М. О. Скриннік // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин (Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник). – 2006. – №36. – С. 29-34.

2. Осадчий С. І. Ідентифікація сигналів зерносушильної установки з киплячим шаром в реальних експлуатаційних умовах / С. І. Осадчий, М. О. Скриннік, І. О. Скриннік // Вісник Хмельницького національного університету (Технічні науки). – 2007. – Т. 1. – С. 38-41.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.024

СТЕРЕОМЕТРІЯ СТИСНУТИХ КОНОЇДІВ ЕЛЕМЕНТА *Q*8

Хомченко А. Н., д.ф.-м. н., професор, Литвиненко О.І., к.т.н., доцент,
Дудченко О.М. к.т.н., професор, Астіоненко І.О., к.ф.-м.н, доцент

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили,
м. Миколаїв,Україна
Херсонська філія Національного університету
кораблебудування ім. адм. Макарова
Херсонський національний технічний університет, Україна

Вступ. В методі скінченних елементів (МСЕ) головна проблема пов'язана із побудовою базису скінченних елементів (СЕ), який задовольняє умовам інтерполяційної гіпотези Лагранжа. Особливо це стосується стандартних серендипових СЕ, які математично обґрунтовані, але фізично неадекватні. Йдеться про від'ємні навантаження в кутових вузлах, які можна спостерігати, наприклад, на елементах Q8 і Q12 [1]. Вузлове навантаження залежить від об'єму між відповідною базисною поверхнею і площиною носія. Коноїд - це лінійчата поверхня з нульовою кривиною Гаусса. "Жорстка" модель коноїда містить надлишковий об'єм тіла. Тому автори роботи запропонували іншу стереометрію моделі Q8, відмовившись від коноїдів [2, 3]. Нові моделі отримали фізичну адекватність, але втратили технологічну привабливість для архітекторів і будівельників. Але відмовлятися від коноїдів не обов'язково. У цій роботі ми зменшуємо навантаження на проміжний вузол за рахунок стиснення напрямної коноїда. Твірна лишається прямолінійною. Виявляється, що нову стереометрію коноїдів краще створювати за допомогою тригонометричних функцій.

Основна частина. Розглянемо серендипів СЕ Q8 з носієм у формі канонічного квадрата: $|x| \le 1,\ |y| \le 1$. Повне уявлення про базис Q8 дають дві функції: "кутова" $N_1(x, y)$ та "проміжна" $N_5(x, y)$. Ці функції реалізують біквадратичну інтерполяцію і мають вигляд:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{4}(1-x)(1-y)(-1-x-y)$$, аналогічно для $i = 2, 3, 4$;

$$N_5(x, y) = \frac{1}{2}\left(1 - x^2\right)(1 - y)$$, аналогічно для $i = 6, 7, 8$,

де і – номер функції, що асоціюється з номером вузла.

Поверхня $N_5(x, y)$ – це коноїд, в якому напрямною є парабола, а твірною – пряма. Значення вузлового навантаження γ_i залежать від об'єму між поверхнею коноїда і площиною носія і обчислюються за правилом інтегрального усереднення, яке відоме з часів Ньютона і Котеса:

$$\gamma_i = \frac{1}{S}\iint_D N_i(x, y)\,dx\,dy, \quad i = 1, 2, ..., 8, \tag{1}$$

де S – площа носія.

З геометричної точки зору γ_i – це середня апліката поверхні $N_i(x, y)$. Вузлові навантаження на стандартному Q8 такі:

$$\gamma_i = -\frac{1}{12}, \text{ для } i = 1, 2, 3, 4;$$

$$\gamma_i = \frac{1}{3}, \text{ для } i = 5, 6, 7, 8.$$

Треба шукати альтернативні базиси Q8, для яких виконується умова $V_i \le 1$. Для стандартного базису ця умова не виконується: $V_5 = \frac{4}{3}$. Щоб зменшити об'єм під коноїдом, можна прогнути твірну, як це зроблено в роботах [2, 3].

На жаль, при цьому зникають коноїди, а разом з ними зникають технологічні переваги та естетична привабливість моделі. Нижче показано, як зменшити об'єм під коноїдом шляхом стиснення напрямної. У цьому способі замість фрагмента параболи у ролі напрямної ми використовуємо фрагменти тригонометричних кривих. Ефект зменшення об'єму ілюструють наступні альтернативні моделі коноїдів (рис. 1-2):

Модель 1: $\overline{N}_5(x, y) = \frac{1}{2}\cdot\cos\frac{\pi x}{2}\cdot(1 - y)$;

Модель 2: $\overline{N}_5(x, y) = \frac{1}{2}\cdot\cos^2\frac{\pi x}{2}\cdot(1 - y)$;

Модель 3: $\overline{N}_5(x, y) = \frac{1}{2}\cdot\cos^4\frac{\pi x}{2}\cdot(1 - y)$.

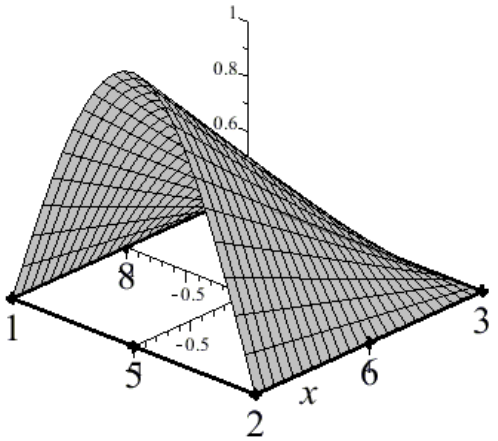


Рисунок 1 – Функція $\overline{N}_5(x, y)$ моделі 1

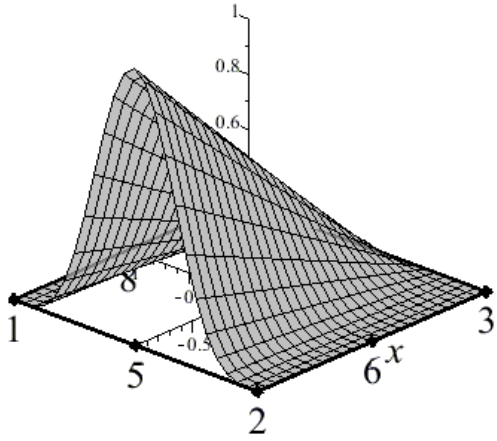


Рисунок 2 – Функція $\overline{N}_5(x, y)$ моделі 3

Обчислення вузлових еквівалентних навантажень дають наступні результати:

для моделі 1: $\overline{\gamma_1} = \dfrac{\pi - 4}{4\pi}$; $\overline{\gamma_5} = \dfrac{1}{\pi}$;

для моделі 2: $\overline{\gamma_1} = 0$; $\overline{\gamma_5} = \dfrac{1}{4}$;

для моделі 3: $\overline{\gamma_1} = \dfrac{1}{16}$; $\overline{\gamma_5} = \dfrac{3}{16}$.

Треба зауважити, що на $-1 \le x \le 1$ графік $f(x) = \cos\dfrac{\pi x}{2}$ (рис. 1) майже не відрізняється від стандарта $\varphi(x) = 1 - x^2$. Те саме можна сказати про інтегральні характеристики $\overline{\gamma_1}$ і $\overline{\gamma_5}$ першої моделі. А якщо взяти $\pi = 3$, то навантаження співпадуть із стандартними. Деформація стиснення почалася з моделі 1. Про це свідчить нерівність $\dfrac{1}{\pi} < \dfrac{1}{3}$. Модель 2 вже фізично адекватна, вона припиняє “гравітаційне відштовхування”: навантажені лише проміжні вузли. Модель 3 можна вважати кращою, тому що вона наближає теоретичні результати до емпіричних.

Висновки. Тригонометричні моделі СЕ Q8 ще раз підтвердили, що серендипові елементи – невичерпне джерело важливої і цікавої інформації. Треба відзначити, що необов’язково відмовлятися від коноїдів заради фізичної

адекватності моделі. Нові результати показують, що тригонометричні базиси спроможні зберегти коноїди та забезпечити фізичну адекватність моделей.

Література

1. Zienkiewicz O. C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Fifth edition. Vol. 1. Bristol Printed and bound by MPG Boks Ltd. Butterworth – Heinemann, (2000).

2. Хомченко А.Н., Астионенко И.А. Гауссова кривизна серендиповых поверхностей или как прогнуть коноид. Вісник ХНТУ. 2016. №3(58). С. 444-447.

3. Хомченко А.Н., Литвиненко Е.И., Астионенко И.А. Геометрия коноида и физическая неадекватность стандартных серендиповых элементов. Вісник Запорізького нац. ун-ту: Зб. наук. статей. Фіз.-мат. науки .Запоріжжя: ЗНУ, 2017. № 1. С. 337-342.

STEREOMETRY OF COMPRESSED CONOIDS OF ELEMENT Q8

Khomchenko Aanatilii, Lytvynenko Olena, Dudchenko Oleg, Astionenko Ihor

Abstract. The paper considers new models of bases of serendipity finite elements (FE) Q8. In recent years, the library of serendipity finite elements has been significantly replenished with non-standard (alternative) models. The reasons for the inadequacy of the spectrum were identified and "recipes" were proposed to eliminate this shortcoming of standard serendipity models. New approaches to modeling bases with the help of hierarchical forms force to abandon conoids - linear surfaces that are associated with intermediate nodes of standard elements. Therefore, research is being conducted today, and it is not necessary to give up conoids. The paper shows how by compressing the surface of the conoid it is possible to obtain a mathematically sound and physically adequate spectrum of nodal loads.

Keywords: basis functions of finite element q8, polynomial conoid, trigonometric conoid, compression of conoid directrix effect.

References

1. Zienkiewicz O. C., Taylor R.L. The Finite Element Method. Fifth edition. Vol. 1. Bristol Printed and bound by MPG Boks Ltd. Butterworth – Heinemann, (2000).

2. Homchenko A.N., Astionenko I.A. Gaussova krivizna serendipovyih poverhnostey ili kak prognut konoid. Visnik HNTU. 2016. 3 (58). 444-447.

3. Homchenko A.N., Litvinenko E.I., Astionenko I.A. Geometriya konoida i fizicheskaya neadekvatnost standartnyih serendipovyih elementov. Visnik Zaporizkogo nats. un-tu: Zb. nauk. statey. Fiz.-mat. nauki. Zaporizhzhya: ZNU, 2017. 1. 337-342.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.025

ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ ВАГОНОПЕРЕКИДАЧА ДМЗ ШЛЯХОМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Юдін А.В., студент, Нежурін В.І., к.т.н., доцент, Куваєв В.Ю., ст. викл.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро

Вступ. З розвитком технічного прогресу дедалі більшої гостроти набуває глобальна проблема енергозбереження, обумовлена зростанням споживання електроенергії в промисловості. Головним шляхом вирішення зазначеної проблеми є впровадження в усі галузі народного господарства систем регульованого електроприводу, які визнані у світовій практиці одніми з найбільш ефективних енергозберігаючих та ресурсозберігаючих екологічно чистих технологій.

Основна частина. Рудний двір ДМЗ обслуговується двома рудно-грейферними перевантажувачами і одним вагоноперекидачем конструкції ПКТІ – ДЗМО, що забезпечує розвантаження 60-тонних та 93-тонних вагонів, сировина з яких транспортерами подається вздовж рудного двору, а з нього в доменний цех. В якості приводних діючого привода використовують 4 асинхронних двигуни з фазним ротором МТ51-8 потужністю 22 кВт та 5 ступенями реостатного регулювання швидкості. Основним напрямом модернізації діючого привода є перехід на одну з сучасних систем електроприводів ТП-Д або ПЧ-АД [1]. До складу нової системи керування за системою ТП-Д рекомендовано тиристорний перетворювач IV покоління типу КТЕ-200/220-132-1ВД-УХЛ4, а в якості частотного перетворювача привода по системі ПЧ-АД – перетворювач частоти VFD300VL43A-2, з проміжною ланкою постійного струму, із синусоїдальною широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) вихідної напруги інвертора. Призначення системи керування приводом – сформувати сукупність керуючих впливів на двигун, які забезпечують необхідний по технологічним і техніко-економічним вимогам рух робочого органу виробничої установки, тобто приводу вагоноперекидача, при цьому якість виконання поставлених перед системою керування задач оцінюється двома групами показників якості. До першої групи відноситься якість власне системи керування, до другої – показники, які характеризують результат дії

системи керування на об'єкт керування. При визначенні найкращого варіанта його кількісну оцінку вибирають такою, при якій якість тим краще, чим чисельно менше її показник. З цією метою оцінимо якість системи керування приводом вагоноперекидача при використанні діючої (реостатне регулювання) та альтернативних систем керування ТП-Д та ПЧ-АД.

Таблиця – Показники якості варіантів приводів вагоноперекидача

Показники якості	Значення показника		
	Реостатне регулювання	Система ТП-Д	Система ПЧ-АД
Діапазон регулювання швидкості, об/хв	0,01-1,06	0,01-1,06	0,01-0,06
Швидкодія електропривода, с	3,7	0,35	0,25
Час першого досягнення сталого значення швидкості,с	3,7	0,8	0,75
Перерегулювання за швидкістю,%	---	0	0
Статична помилка під навантаженням,%	---	1,5	0
Швидкодія апаратури керування,с	>0,1-0,15	<0,1	<0,1
Втрати енергії при перехідних процесах пуску двигуна, в.о.	1,0	0,429	0,406

При виконанні досліджень перехідних процесів зазначених систем електроприводу був використаний програмний продукт Matlab [2]. Структурні схеми математичних моделей привода наведених систем також виконані засобами Simulink. Одержані результати зведені до представленої порівняльної таблиці.

Висновки. Результати моделювання свідчать про те, що параметри системи керування ПЧ-АД не поступаються параметрам системи керування ТП-Д, а навіть дещо переважають її, зокрема, в діапазоні технологічних швидкостей привода вагоноперекидача, а втрати енергії при перехідних процесах пуску на 2,3 % менше порівняно з системою ТП—Д. Для реостатного регулювання швидкості аналіз якості проводився без урахування часу спрацьовування силових електромеханічних комутаційних елементів системи керування приводом вагоноперекидача.

Література

1.Анучин, А.С. Системы управления электроприводов: Учебник для вузов / А.С. Анучин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.

2. Моделювання електромеханічних систем: Підручник / О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін, [та ін.]. – Кременчук, 2001. – 410 с.

EVALUATION OF QUALITY INDICATORS OF MODERN CONTROL SYSTEMS OF DMZ WAGON TRANSMITTER DRIVE BY MATHEMATICAL MODELING

Yudin Alexander, Nezhurin Vadim, Kuvaiev Victor

Abstract. The results of the analysis of quality indicators of the proposed control systems for the electric drive of the DMZ ore yard with rheostatic tilt speed control, using alternative the system "thyristor converter - DC motor" and "frequency converter - induction motor", by studying the transients of these electric drive systems using the software product Matlab. It is established that the parameters of the control system "frequency converter - induction motor", are not inferior to the parameters of the control system "thyristor converter - DC motor", and even slightly exceed it, in particular, in the range of technological speeds of the wagon tipper drive, and energy losses during transient start-up processes are 2.3% less than the "thyristor converter - DC motor". It is expedient to use the offered

decisions in case of modernization of the operating electric drive of the wagon tipper.

Keywords: electric drive, wagon tipper, induction motor, converter, modeling, regulation, control system, transition process.

References

1. Anuchin, A.S. Control systems for electric drives: A textbook for universities / A.S. Anuchin. − M .: MEI Publishing House, 2015. - 373 p.
2. Modeling of electromechanical systems: Textbook / O.P. Chorny, A.V. Lugovyi, D.Y. Rodkin, [etc.]. - Kremenchuk, 2001. – 410 p.

СЕКЦІЯ 4

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

SECTION 4

INTELLIGENT INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.026

КЕРУВАННЯ ЗАДАЧАМИ У ВУЗЛАХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МЕРЕЖНОГО ТИПУ: ІНТЕГРАЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ

Алієв Р.А, аспірант кафедри систем автоматизованого управління
Лабуткіна Т.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри систем автоматизованого управління

Ознака сьогодення – революційний розвиток інформаційних технологій. У тому числі, сучасне застосування можливостей навколоземного космосу людством супроводжує створенням супутникових систем, які забезпечують перенесення інформаційних технологій на навколоземні орбіти. Йдеться про створення супутникових систем, які реалізують передачу інформації на основі технологій Internet, а також обробку і збереження інформації в космосі. При цьому перспективні концепції передбачають побудову супутникової системи, в якій орбітальні угруповання мають декілька підугруповань (сегментів) повного охоплення Землі. Також можна побачити тренд до інтеграції супутникових систем різного призначення як на основі зрощування їх технологій, так і на основі «надання послуг» для забезпечення функціонування одна одної. У даній роботі представлено аналіз перспективних напрямків створення космічних мережних інформаційних систем, а також запропонований узагальнений підхід до керування множиною задач, які реалізують вузли інформаційної системи мережного типу (з акцентуванням на окремому випадку застосування цієї схеми для космічної інформаційної системи). Більшою частиною запропонована схема може бути застосована й ширше, у випадку коли йдеться не тільки про інформаційну систему у космосі, а і про складну систему мережного типу, вузли якої застосовуються для розв’язку потоку завдань, які надходять до системи.

Нехай розглядається супутникова система з космічними апаратами, які здійснюють комунікацію на основі міжсупутникового зв’язку. Тобто у таких системах космічні апарати входять до складу системи, маючі зв’язки з декількома її космічними апаратами. Таким чином, функція реалізації зв’язку (передачі інформації) завжди присутня як службова для цих систем. У тому або іншому вигляді в таких системах також завжди присутні функції збереження і обробки службової інформації, але в багатьох постановках задач організації

функціонування цих систем їх можна не виокремлювати. За функціями цільового використання супутникові інформаційні системи розділимо на два види. По-перше, це супутникові системи з одною основною цільовою функцією, якою може бути: 1) передача інформації на основі техніки комутаціє пакетів (тобто система надає послуги транспортування інформації) [1]; 2) обробка інформації (така система відносно віддалена від користувачів, наприклад у більш високому сегменті тому обробка інформації реалізується в основному за технологією хмарних обчислень) [2]; 3) збереження інформації (це система – сховище інформації). По-друге, система може поєднувати декілька цільових функцій. Наприклад – цільові функції передачі і обробки інформації (концепції таких систем передбачають їх наближення до користувача та реалізацію операцій обчислення на основі туманних технологій, застосування розподілених супутників, як показано в роботі [3]) або в системі можуть поєднуватися функції збереження і обробки інформації, тощо. Як відмічалося вище, є тренд до поєднання описаних систем у єдину систему, яка інтегрує дві описані концепції побудови систем. У даному розгляді опущена функція отримання («видобування») інформації. Не враховується походження інформації, яка надходить до системи (наприклад, неважливо, чи здобута вона сомою системою, або отримана зовні і надійшла до системи). Інформація, яка надходить до системи, сприймається як комплекс задач з її передачі, обробки і (або) збереження (довготермінового або коротко термінового). Описані системи можуть бути орієнтовані на різних користувачів, відрізнятися за принципом побудови орбітального угруповання, складом цільових функцій, технологіями їх реалізації або параметрами цих технологій. Все сказане про космічні інформаційну систему мережного типу може буте узагальнено для більш широкого класу аналогічних систем. Крім того, говорючі про глобальні інформаційні системи, до виділеної для розгляду супутникової інформаційної системи можна додати (а у недалекому майбутньому повною мірою інтегрувати) схожу наземну інформаційну систему (яку зараз складніше представити такою простою мережною структуру як космічну). Також до глобальної інформаційної системи можуть бути інтегровані найбільш динамічні і нетривалі у часі системи, які створюють об’єкти авіаційної техніки у процесі їх застосування.

Керування задачами у космічній інформаційній системі мережного типу розглянуто, наприклад, у публікаціях [2-4]. В роботах багатьох авторів при дослідженні описаної інформаційної системи вона представлена як мережа зв'язаних вузлів, кожний з яких є системою масового обслуговування. В загальній схемі керування задачами можна виділи дві складових. По-перше, це керування задачами у вузлу мережі. Таке керування у загальному вигляді відбувається на основі названих далі базових принципів: 1) врахування розподілення задач за обраною ієрархічною схемою на види і підвиди за цільовою ознакою; 2) врахування розподілення задач за обраною ієрархічною схемою за потребою ресурсів для виконання (в основному йдеться про час обробки і необхідну комп'ютерну пам'ять); 3) застосування визначених правил пріоритетності для обраною множини видів і підвидів задач (які у загальному випадку динамічні, адаптивні до ситуації); 4) врахування для обраної системи правил розподілу ресурсів; 5) врахування правил комплексного застосування правил, названих у пунктах (1-4), у загальному випадку також динамічні, адаптивні до ситуації. По-друге, керування задачами на рівні мережі вимагає керування розподілом задач між вузлами мережі. Це керування відбувається на основі таких базових принципів: 1) врахування можливості і раціональності розподілу задачі на частини і виконання різними вузлами; 2) врахування поточного завантаження вузлів мережі задачами; 3) врахування розподілу задач на види і підвити за пунктами 2 і 3, які записані для керування задачами у вузлу; 4) врахування ієрархічного розподілення вузлів по групах при визначенні функціонально зв'язаних ієрархічних груп вузлів або при її віртуальній структуризації. Основна особливість застосування цієї загальної схеми правил для інформаційної системи на основі орбітального угруповання космічних апаратів – відносно висока динаміка топології мережі. Проведено наліз деяких окремих випадки реалізації названих принципів керування задачами у мережі.

Література

1. Лабутина Т. В. Концепция спутниковой сети коммутации пакетов с наземным, авиационным и космическим пользовательскими сегментами. / Т.В. Лабутина, А.В. Бабанина, Н.М. Ситничек, И.А. Саенко, А.В. Дымченко // Системне проектування та аналізхарактеристикаерокосмічної техніки. – 2017. – Т. XXII. – С. 66-84.

2. Лабуткина Т.В. Метод совместного управления вычислительными задачами и передачей данных в сети / Т.В. Лабуткина, М.А. Кузьмин // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології у металургії і машинобудуванні,26-29 березня 2019, Дніпро, Україна. – С. 121.
3. Ильченко М.Е. Исследование подходов к построению орбитальной вычислительной сети спутниковой системы интернета вещей / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, В.И. Присяжный, С.В. Капштык, С.А. Матвиенко // Авиационно-космическая техника и технология.– 2019. – 8(160). – С.138-151.
4. Лабуткина Т.В. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов кластерноготипа. /Т.В.Лабуткина, И.А. Саенко//Матеріали Тринадцятої міжнародної науково-технічної конференції Перспективы телекоммуникаций, 15-19 квітня, 2019, Київ, Україна. – С. 33-35.

OPERATION MANAGEMENT IN A NET-TYPE INFORMATION SYSTEM: CONCEPT INTEGRATION

Aliiev Ruslan, Labutkina Tetiana

Abstract. The analysis of perspective directions of creation of space information systems of network-type (satellite systems which realize information transfer on the basis of the Internet technologies, and also processing and storage of the information in space) is presented. A generalized approach to the management of many tasks that implement nodes of the information system of the network type (with emphasis on a special case of application of this scheme for the space information system) is proposed. In the general scheme of task management there are two main components (task management in the network node and control of the distribution of tasks between network nodes), as well as the basic principles of their implementation. The analysis of some separate cases of realization of the named principles of management of tasks in a networks of satellite systems is carried out.

Keywords: network type information system, communication, data storage and processing, satellite system.

References

1. Labutina T. V. Kontseptsiya sputnikovoy seti kommutatsii paketov s nazemnyim, aviatsionnyimi kosmicheskim polzovatelskimi segmentami. / T.V. Labutina, A.V. Babanina, N.M. Sitnichek, I.A. Saenko, A.V. Dyimchenko // T.V. Labutyna, A.V. Babanyna,

N.M. Sytnychek, Y.A. Saenko, A.V. Dымchenko // Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystykaerokosmichnoitekhniky. – 2017. – T. XXII. – C. 66-84.

2. Labutkina T.V. Metod sovmestnogo upravleniya vyichislitelnyimi zadachami i peredachey dannyih v seti / T.V. Labutkina, M.A. Kuzmin // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології у металургії і машинобудуванні, 26-29 березня 2019, Дніпро, Україна. – С. 121.

3. Ilchenko M.E. Issledovanie podhodov k postroeniyu orbitalnoy vyichislitelnoy seti sputnikovoy sistemyi interneta veschey / M.E. Ilchenko, T.N. Naryitnik, V.I. Prisyazhnyiy, S.V. Kapshtyik, S.A. Matvienko // Aviatsionno-kosmicheskaya tehnika i tehnologiya. – 2019. – 8(160). – S.138-151.

4. Labutkina T.V. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov klasternogo tipa. / T.V. Labutkina, I.A. Saenko // Materialy Trynadtsiatoi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii Perspektyvы telekommunykatsyi, 15-19 kvitnia, 2019, Kyiv, Ukraina. – S. 33-35.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.027

ПЛАНУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ ПРИСТРОЇВ НА МНОЖИНІ ОБЄКТІВ ПРИ СХЕМІ ЕЛЕМЕНТАРНОЇ ОПЕРАЦІЇ «ОДИН ОБ'ЄКТ – К ПРИСТРОЇВ»

Ананко Р.В., аспірант кафедри систем автоматизованого управління
Лабуткіна Т.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри систем автоматизованого управління

Дніпровській національного університету імені Олеся Гончара, Україна

Сьогодення відзначено бурхливим розвитком складних багатоелементних динамічних систем і потребою розвитку задач керування їх функціонуванням. До різновидів таких систем можна віднести систему N пристроїв (будемо вважати їх однотипними), які у загальному випадку можуть змінювати своє розташування і орієнтацію у просторі. Пристрої здійснюють операції (будемо вважати й їх однотипними) на множині з M об'єктів, які у загальному випадку також змінюють своє розташування у просторі. Будемо вважати, що ці операції реалізуються дистанційно (пристрій, якій здійснює операцію, і об'єкт, над яким ця операція виконується, можуть бути розташовані на допустимій для виконання операції відстані один відносно одного). Прикладами таких операцій можуть бути названі далі: 1) дистанційний контроль технічного об'єкту, 2) операція періодичного отримання інформації від об'єкту, якій її накопичує (або данні про його власний внутрішній стан, або зібрана ним інформація про зовнішнє середовище); 3) операції уточнення поточних параметрів траєкторного руху, якщо рух у своїй основі носить періодичний характер, а низка параметрів такого руху має повільний тренд до змін; 4) інші варіанти. Множина об'єктів, над якими виконуються операції, може бути також складною технічною системою, а об'єкти спостереження – її елементарними складовими (або незв'язаними між собою механічно, або – її рухомими вузлами). Особливість описаної динамічної системи в тому, що якщо брати один пристрій і один об'єкт, то для цієї пари можна виділити інтервали часу, коли пристрій може виконувати операції з цим об'єктом (інтервали доступності об'єкту до реалізації операції), а може не бути доступним (інтервали недоступності до операції). Доступність може визначатися суто механічним розташуванням пристроїв, які здійснюють операції. Також

доступність і недоступність можуть бути пов'язані із тим, що наявні фізичні перешкоди реалізації операції, або об'єкт або пристрій можуть бути у стані, коли операцію проводити неможна (наприклад, знаходитися у неактивному стані).

Для описаних систем задача керування функціонуванням системи може передбачати планування застосування пристроїв, які здійснюють операції, у тому числі, з врахуванням необхідності швидких змін планів у залежності від поточних зміни системи пристроїв, які реалізують операції, і множини об'єктів, на якій ці операції реалізуються. Схожа узагальнена задача розглядалася у роботі [1], була згадана як можливе узагальнення окремих задач у роботі [2], досліджувалася для окремих випадків – задач спостереження орбітальних об'єктів в навколоземному космосі антенними пристроями (оптичними або радіолокаційними) наземного базування [3], космічного базування (встановлених на космічних апаратах) [4], а також для задач спільного застосування з цією метою наземних і космічних засобів спостереження [2], а також у інших роботах. У всіх перелічених роботах постановка задачі передбачувала, що кожна елементарна операція реалізується за схемою «один об'єкт – один пристрій, якій здійснює операцію». Але представляє інтерес і така постановка задачі, коли схема елементарної операція інша «один об'єкт – і k пристроїв, які одночасно реалізують цю операцію». Така модифікація постановки задачі необхідна, наприклад, якщо реалізується спостереження множини об'єктів за схемою, коли декілька рознесених у просторі пристроїв здійснюють спостереження одного об'єкту. Такий підхід до реалізації спостережень може у певних випадках надати більш повну інформацію (і за меншій інтервал часу), ніж можна отримати при застосуванні одного пристрою (сам метод отримання і обробки інформації може бути принципово відмінним від схеми спостережень «один об'єкт – один пристрій»).

Мета даної роботи – розвиток швидких (маловитратних за часом, адаптивних до використання у динамічних системах в реальному часі їх функціонування) методів планування застосування N пристроїв для реалізації операцій на множині M об'єктів при схемі елементарної операції «один об'єкт

– k пристроїв». У тому числі – модифікації цих методів для таких випадків: 1) застосовується тільки описана схема елементарної операції («жорстка» вимога реалізації); 2) названа схема переважна, але можливі варіанти зменшення заданого (бажаного) максимального числа k для окремих операцій («м'яка» вимога реалізації). Запропоновані модифікації централізованого методу планування (планування для всій системи в цілому при одночасному розгляді всій системи і при повній вхідній інформації для планування).

Вхідними даними для складання централізованого плану є множина пристроїв, які реалізують операції, множина об'єктив, над якими реалізуються операції, та визначені інтервали часу доступності кожного об'єкту для реалізації операції цим простоєм. При плануванні вважається, що на кожну операцію за схемою «один об'єкт – k пристроїв» витрачається однаковий час (максимально можливий для всій множини пристроїв і об'єктів час переходу від одної операції до іншої внесений до часу виконання операції). Комплекс узагальнених вимог до плану операцій враховує такі фактори, які можуть бути застосовані при формуванні комплексного критерію оцінки плану: 1) бажано провести як можна більше операцій з кожним об'єктом (окремий варіант – бажана кількість операцій обмежена зверху), 2) бажаний відносно рівномірний розподіл між об'єктами кількості виконаних системою операцій; 3) бажано для кожного об'єкту рівномірно рознести у часті операції на інтервалі планування; 4) бажано проведення операції при умовах (специфічних для конкретних випадків), які найбільш сприяють якості проведення операції; 5) як окремий випадок умов забезпечення якості операції у випадку сформульованої вище «м'якої » вимоги реалізації (переважної до інших вимог якості) розглядається кількість пристроїв k, які використовуються при конкретній реалізації.

Етап, якій передує безпосередньо етапу планування за запропонованим методом – складання зведеного плану доступності об'єктів для виконання з ними операцій. У зведеному плані як структурна одинця фігурує інтервал часу, коли об'єкт доступний для операції хоч би одному пристрою (назвемо ці інтервали інтервалами доступу системи до об'єкту). Інтервали доступу системи до об'єкту складаються з інтервалів, протягом кожного з яких об'єкт незмінно доступний до реалізації операцій n пристроям з N пристроїв, що входять до

системи (назвемо кожний з таких інтервалів інтервалом незмінного рівню доступності). На двох сусідніх інтервалах незмінного рівню доступності об'єкту кількість пристроїв, яким доступний об'єкт для реалізації операцій, – відмінна на одиницю.

Етап планування реалізується кроками (кроку дорівнює черговий інтервал часу одної операції, на які розподілений відрізок часу, для якого реалізується планування). На кожному кроці для кожної групи з k пристроїв обирається об'єкт, з яким виконується операція. Правила прийняття рішення на кожному кроці враховують сформульовані вимоги до реалізації плану, результати планування на попередніх кроках і можливості для реалізації операцій, які залишилися. Тобто, можна говорити, що безпосередньо планування реалізується «за один прохід» послідовності покрокового прийняття рішень. При цьому отримані результати і можливості, які залишилися, розглядаються для всій системи в цілому.

Перевірка методів реалізована для узагальненої системи (інтервали часу, на яких об'єкти доступні пристроям, генеруються при заданих законах розподілу випадкових величин і межах варіювання параметрів), а також для окремого випадку – для супутникової системи спостереження орбітальних об'єктив (космічних апаратів і об'єктив космічного сміття) при варіюванні даних про множину орбітальних об'єктів і орбітальне угруповання, яке реалізує спостереження.

Література

1. Лабуткина Т.В., Хлапонина А.В., Лукьяненко А.Г., Мартынов В..В. Комплекс неитерационных методов планирования операций, реализуемых множеством динамических средств на множестве динамических объектов. // Тези доповідей Десятої міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ITMM'2018», 27 – 29 березня 2018 р, м. Дніпро. – С. 108.

2. Лабуткина Т.В. Неитерационные методы планирования комплексного использования наземных и космических средств наблюдения орбитальных объектов. // Матеріали XIX Міжнародної науково-практична конференції «Прогресивна техніка, технологія і освіта» 19-22 червня 2018 року, м. Київ, Україна. – Т. 2 - С. 219-222.

3. Лабуткина Т.В., Здор А.С., Голубина Е.А., Новак А.Н. Неитерационные методы планирования наблюдения из наземных станций многоэлементного множества

орбитальных объектов. // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. Збірник наукових праць. Том XVII 2015 С. 62-78.
4. Лабуткина Т.В., Скороденъ Я.А., Борщева А.В., Тихонова А.А. Неитерационный метод планирования наблюдения орбитальных объектов с космического аппарата // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. 2016. Том XXI. С. 53-69.

PLANNING OF APPLICATION OF THE SYSTEM OF DEVICES ON A SET OF OBJECTS FOR THE SCHEME OF ELEMENTARY OPERATION "ONE OBJECT - K DEVICES"

Ananko Ruslan, Labutkina Tetiana

Abstract. Centralized methods of planning the use of N devices for the realization of operations on a set of M objects with the scheme of the elementary operation is "one object – k devices" are proposed. Methods include modifications for the following cases: 1) only the described scheme of elementary operation is applied ("rigid" requirement); 2) the named scheme is preferred, but there are possible options of reducing the specified (desired) maximum number k for individual operations ("soft" requirement). Methods suitable for multi-elements dynamic systems in real time of their operation. Under planning conditions, the device system and the set of objects are multi-element. Planning methods belong to the category of "fast" methods, which suitable for dynamic multi-element systems in real time of their operation. The verification of the methods is implemented for the generalized system and for the particular case of the satellite system of observation of orbital objects.

Keywords: system of devices, set of objects, planning of operations, satellites of observation of orbital objects.

References

1. Labutkina T.V., Hlaponina A.V., Lukyanenko A.G., Martyinov V.V. Kompleks neiteratsionnyih metodov planirovaniya operatsiy, realizuemyih mnozhestvom dinamicheskih sredstv na mnozhestve dinamicheskih ob'ektov. // Tezy dopovidei Desiatoi mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Informatsiini tekhnolohii v metalurhii ta mashynobuduvanni. ITMM2018», 27–29 bereznia 2018 r, m. Dnipro. – S. 108.
2. Labutkina T.V. Neiteratsionnyie metodyi planirovaniya kompleksnogo ispolzovaniya nazemnyih i kosmicheskih sredstv nablyudeniya orbitalnyih ob'ektov. // Materialy XIX

Mizhnarodnoi naukovo-praktychna konferentsii «Prohresyvna tekhnika, tekhnolohiia i osvita» 19-22 chervnia 2018 roku, m. Kyiv, Ukraina. – T. 2 - S. 219-222.

3. Labutkina T.V., Zdor A.S., Golubina E.A., Novak A.N. Neiteratsionnyie metodyi planirovaniya nablyudeniya iz nazemnyih stantsiy mnogoelementnogo mnozhestva orbitalnyih ob'ektov. // Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniky. Zbirnyk naukovykh prats. Tom XVII 2015 S. 62-78.

4. Labutkina T.V., Skoroden Ya.A., Borscheva A.V., Tihonova A.A. Neiteratsionnyiy metod planirovaniya nablyudeniya orbitalnyih ob'ektov s kosmicheskogo apparata // Systemne proektuvannia ta analiz kharakterystyk aerokosmichnoi tekhniky. 2016. Tom XXI. S. 53-69.

МЕТОД ГЕНЕРУВАННЯ ВИПАДКОВОЇ ВЕЛИЧИНИ З ЗАДАНОЮ ФУНКЦІЄЮ РОЗПОДІЛУ

Безуб В.М. аспірант

НМетАУ, Дніпро

При моделюванні систем з чергами (якщо вхідні потоки і довжини заявок описуються випадковими величинами) досить часто доводиться генерувати незалежні реалізації випадкової величини X із заданою функцією розподілу $F(u)$.

Для цього досить мати [1] в своєму розпорядженні генератор чисел, рівномірно розподілених на інтервалі [0; 1]. Припустимо, що такий генератор у нас вже є і розглянемо метод, відомий як метод зворотньої функції [2]. Передусім відмітимо, що F(x) за змістом є неубутною функцією на кінцевому або нескінченному інтервалі. Для значення $0 \le u \le 1$ визначимо зворотну функцію $F^{-1}(u)$ наступним чином: в точці розриву $F(x)$ $x = x_0$ задамо деяке достатньо мале $\varepsilon > 0$ і, якщо $F(x_0 - \varepsilon) < u \le F(x_0 + \varepsilon)$, визначимо $F^{-1}(u) = x_0$; інакше, призначимо для $F^{-1}(u)$таке значення x, для якого $F(x) = u$. Далі задамо випадкову величину X за допомогою перетворення

$$X = F_x^{-1}(U), \tag{1}$$

де U - випадкова величина, рівномірно розподілена на інтервалі [0; 1].

Ідея методу полягає в наступному. Генеруємо значення U, потім вирішуємо рівняння (1) щодо X. Тоді справедливо

$$P\{X \le x\} = F(x), \tag{2}$$

тобто випадкова величина X має функцію розподілу $F(x)$. Довести (2) не складно.

Зауважимо, що $P\{X \le x\} = P\{F^{-1}(U) \le x\} = P\{U \le F(x)\}$. Далі, якщо величина U рівномірно розподілена на інтервалі [0; 1], то $P\{U \le u\} = F(u) = u$. Це значить, що $P\{U \le F(x)\} = F(x)$ і (2) доведено.

Розглянемо простий приклад. Припустимо, що X має експоненційний розподіл з середнім значенням τ. Тоді $F(x) = 1 - e^{\frac{-x}{\tau}}$ $(0 \le x \le \infty)$, і рівняння (1) приймає вигляд $U = 1 - e^{\frac{-x}{\tau}}$. Вирішивши його, отримаємо $x = -\tau \cdot ln(1 - U)$. Неважко

показати, що $1-U$ також рівномірно розподілена на [0; 1], як і U. Тоді обчислення можна спростити: $x = -\tau \cdot ln(U)$. Таким чином, для реалізації випадкової величини X отримуємо реалізацію випадкової величини U і обчислюємо X за формулою $x = -\tau \cdot ln(U)$.

Література

1. Труб И. Объектно-ориентированноемоделированиена C++. – М.: Питер, 2006.

2. Голованов О.В., Дуванов В.Г., Смирнов В.Н. Моделирование сложных дискретных системнаЭВМтретьегопоколения(опытприменения GPSS). – М.: Энергия, 1978.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.028

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОГОВОЇ ТЕХНІКИ

Грицик В.В.[1], Щербина І.В.[2]

[1] Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., проф. каф.АСУ.

[2] ДДАЕУ,к.ф.-м.н., доц. каф. вищої математики

Вступ. Останні 50 років у нашому технологічно-орієнтованому суспільстві постає ситуація коли кількість людей які залучені в оброку інформації зростає швидше, ніж кількість людей, що залучені у виробництво матеріальних речей. Підсумовуючи минулі і біжучі дослідження та впровадження в сфері інформаційних технологій в ЄС та США (FP7 , Horizon 2020, ведучі IT компанії) ми бачимо актуальність задач комп'ютерного зору [1-4], тому розглянемо кілька домінуючих підходів у системах класифікації.

Постановка задачі. Для класифікації об'єктів потрібно отримати опис зображення при настільки великому числі можливих описів, що приймати кожний за окремий клас є безсенсовним.

Частковою задачею розглядуваної проблеми є розбиття зображення на сегменти. Оскільки, загального методу на усі випадки немає, то розглянемо методи, що дозволяють визначити нові підмножини використовуючи вже виділені підмножини.

Задача розбиття зображення на сегменти.

Розбиття на частини зображення довільного виду

Загальноприйнятий метод виділення на вхідному зображенні деякої підмножини зводиться до знаходження його характеристичної функції за допомогою квантування на два рівні від рівня початкового (вхідного) зображення. Зокрема, для довільного зображення А, операції перетворення зображення φ, числа $t \in R$, в якості вхідної підмножини, можна вибрати таку точкову множину $S_{\varphi,t}$, що для усіх утворюючих її точок яскравість перетвореної множини $\varphi(A)$ буде не меншою за величину $t \in R$.

Іншим способом вибору підмножин є фіксація конфігурації, на якій після застосування операції перетворення виконуються співвідношення $\varphi(A) \le t$, $\varphi(A) < t$, $\varphi(A) > t$.

Квантування вхідного зображення

Для виділення підмножин безпеосередньо на вхідному зображенні піддаймо квантуванню яскравість зображення A. Тобто операція φ є тотожнім перетворенням.

Одночасне застосування згладжування і квантування

Якщо перед використання квантування ми застосуємо операцію φ для фільтрування, тоді в результаті квантування ми отримаємо підмножину, що містить небагато точок, що представляють шум.

Застосування узгодженого фільтра і квантування

Якщо операція φ описує зображення через узгоджений фільтр, наприклад у вигляді нормованої функції взаємної кореляції

$$\varphi = \frac{\iint AB}{\left(\iint A^2 \iint B^2\right)^{0.5}}$$

де А – вхідне зображення, а В – еталонне. У цьому випадку квантування дозволить виділити ті точки, в яких зображення А добре узгоджується з еталонним образом В.

Висновки. У роботі розглянуто основні підходи, що дозволяють визначити нові підмножини використовуючи вже виділені підмножини.

Література

1. Грицик В. В. Оцінка якості передавання і комп'ютерна обробка даних образів / Грицик В. В. // Доповіді НАН України. – 2008. – № 9 : Інформатика та кібернетика. – С. 43-48.

2. Software: running commentary for smarter surveillance? .- Reasearch*eu results supplement. – №24. – May 2010. – P.29

3. V. Hrytsyk, A. Grondzal, A. Bilenkyj,. Augmented reality for people with disabilities // Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies,CSIT'2015.

4. Cutting-edge facial recognition goes mainstream. – Reasearch*eu results magazine. – №68. – December 2017-January 2018. – P.39.

RESEARCH OF THRESHOLD TECHNOLOGY OPTIMIZATION PROPERTIES

Hrytsyk Volodymyr, Scherbina Irina

Abstract. To classify objects, you need to get an image description with so many possible descriptions that it is pointless to take each as a separate class.

A partial task of this problem is to divide the image into segments. Since there is no common method for all cases, we consider methods that allow us to determine new subsets using already selected subsets.

The paper considers the main approaches to identify new subsets using already selected subsets. The publication contains the following sections: partition of an image of any type; quantization of the input image; simultaneous application of smoothing and quantization; application of consistent filter and quantization.

Keywords: computer vision problems, input image, quantization, subsets.

References

1. Hrytsyk V.V. Transmission quality assessment and computer processing of image data // Reports NAofSci of Ukraine. – 2008. – № 9 : Informatics and cybernetic. – P. 43-48.
2. Software: running commentary for smarter surveillance? .- Reasearch*eu results supplement. – №24. – May 2010. – P.29
3. V. Hrytsyk, A. Grondzal, A. Bilenkyj. Augmented reality for people with disabilities // Proceedings of the International Conference on Computer Sciences and Information Technologies,CSIT'2015.
4. Cutting-edge facial recognition goes mainstream. – Reasearch*eu results magazine. – №68. – December 2017-January 2018. – P.39

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ДЕКОДЕРА FFMPEG НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ДЕКОДУВАННЯ ВІДЕО

Зінченко А.В., к.ф.-м.н., Благій О.Ю.

Інститут транспортних систем і технологій НАН України, Україна

Завдяки суттєвому підвищенню продуктивності мобільних процесорів обробка відео у режимі реального часу вже не є прерогативою тільки ПЕОМ та серверів. Сучасні мобільні процесори дозволяють успішно обробляти потокове відео у реальному часі безпосередньо на борту рухомих об'єктів. Разом з тим обмежені ресурси бортових комп'ютерів вимагають точного планування для досягнення максимальної продуктивності.

Для дослідження впливу кількості робочих потоків декодера на продуктивність декодування відео були проведені тести з використанням бібліотек з відкритим кодом FFmpeg на процесорах Intel® Core™ i5-8250U @1,60 GHz (далі Intel) та Allwinner H3 Cortex A7 @912 MHz (далі ARM) під керуванням операційної системи UbuntuCore 16.04.

Для тестів використовувалися два відеофрагменти стандарту H.264: "Big Buck Bunny" та "Patrol", тривалістю 9хв 56сек (бітрейт 700 Кб/с, 640x360 пікселів) та 23хв 21с, (бітрейт 1071 Кб/с, 1280x720 пікселів) відповідно.

У зв'язку з тим, що обидва тестові процесори мають по 4 ядра кожен, досліджено продуктивність декодування тестових відео для одного, двох та чотирьох робочих потоків декодера, а також для кількості робочих потоків за замовчуванням.

Час декодування відео "Big Buck Bunny" на процесорі Intel при використанні параметрів за замовчуванням був більшим на 15%, ніж для 4 явно заданих потоків декодера. Для відео "Patrol" – час за замовчуванням більший на 8-14%. На процесорі ARM для відео "Big Buck Bunny" час декодування за замовчуванням більший на 5%, для "Patrol" – за замовчуванням менший на 2,5%.

Додатково проведено тести одночасного декодування двох однакових відео для створення об'єднаного зображення.. При цьому обидва декодери запускалися з однаковою кількістю робочих потоків, що варіювалась у діапазоні від 1 до 4.

При порівнянні результатів для 4 явно заданих потоків та кількістю потоків за замовчуванням на процесорі Intel для двох об'єднаних відео "Big Buck Bunny" час декодування за замовчуванням був більшим на 12%, для двох об'єднаних "Patrol" – за замовчуванням менший на 5-6%. На процесорі ARM для двох об'єднаних відео "Big Buck Bunny" час декодування практично співпадає, для двох об'єднаних "Patrol" – за замовчуванням менший на 2%.

Отже, продуктивність декодування за замовчуванням для відео "Big Buck Bunny" завжди менша, а для відео "Patrol" – в трьох випадках більша на 2-6%, а в одному – менша на 8-14%, ніж при 4 явно заданих потоках. Таким чином, для досягнення максимальної продуктивності процесу декодування у більшості випадків рекомендується явно задавати параметри декодера.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.029

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ТА ОБРОБКА АНОМАЛІЙ ДАНИХ В ЗАДАЧАХ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

Калініна І.О., к.т.н., доцент,

Гожий О.П., д.т.н., професор,

Чорноморський національний університет ім.П.Могили, Україна.

Вступ. На етапі підготовки даних до моделювання в процедурах машинного навчання, при формуванні початкової вибірки виникають проблеми наявності частини даних, які відрізняються від загальної вибірки та знаходяться на статистично далекій відстані. Такі дані називаються аномаліями або викидами. Аномалії або викиди – це дані, які суттєво відрізняються від інших спостережень [1]. Вони можуть відповідати реальним відхиленням, але можуть бути і просто помилками. Викиди з'являються у вибірках даних з різних причин. Вони можуть бути наслідками: помилок в даних (неточності вимірювання, округлення, невірного запису і т.п.); наявності шумових об'єктів (невірно класифікованих об'єктів); наявності об'єктів «інших» вибірок (наприклад, показання датчика, який вийшов з ладу). У якості справжніх викидів визначимо викиди «в широкому сенсі», тобто дані з набору, які спотворюють границі класу / кластеру. Викиди бувають не тільки в табличних (структурованих) даних, вони можуть бути в графах, часових рядах і т.д.

Основний матеріал. Для ідентифікації та обробки аномалій пропонується процедура схема, якої представлена на рис.1. Процедура складається з трьох етапів. На першому етапі виявляються викиди у вибірках даних. Серед особливостей цього етапу слід відмітити велику кількість методів, які можна застосувати на цьому етапі. Вибір конкретного методу відбувається в залежності від задачі машинного навчання, структури набору даних і типів даних, які обробляються. Серед методів, які використовуються на цьому етапі слід відмітити наступні: методи статистичних тестів (метод Z-оцінки, метод Kurtosis measure, ESD-тест та інш.), методи метричніх тестів (метод KNN, метод LOF), методи модельних тестів, ітераційні методи, методи машинного навчання (SVM, випадкового лісу), ансамблеві методи [2,3].

Головна особливість другого етапу – це те, що на цьому етапі проводиться аналіз причин появи викидів. До причин появи викидів можна віднести: причини пов'язані з похибками у вимірюванні та причини пов'язані з похибками обробки даних, результати зовнішніх впливів, або помилки в записах даних. В залежності від результатів аналізу на цьому етапі можливе повернення до першого етапу з метою вибору іншого методу або для корегування критерію відбору даних.

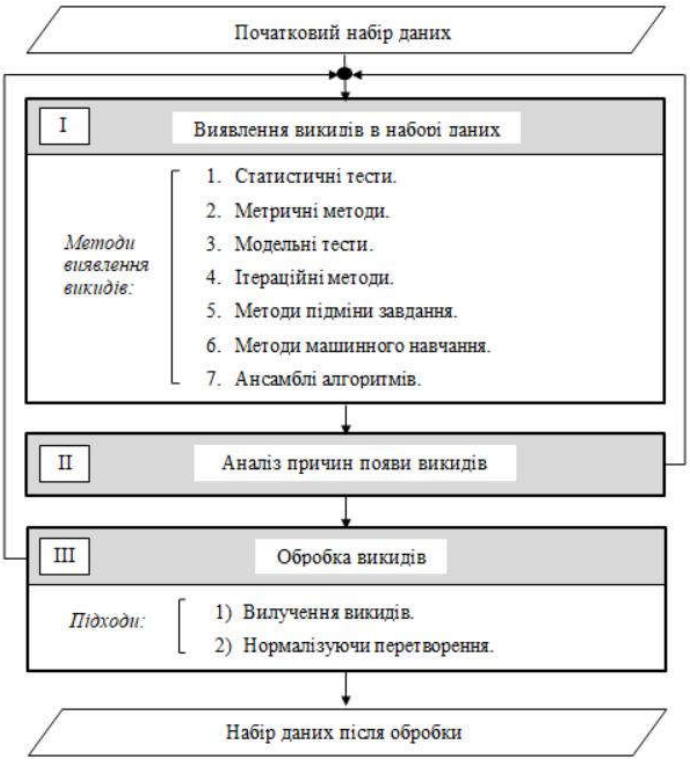


Рисунок 1 – Схема процедури ідентифікації та обробки даних

На третьому етапі здійснюється остаточна обробка наборів даних з викидами, в яких відбувається видалення викидів або нормалізуючі перетворення. Якщо результати не влаштовують, тоді необхідно повернутись до етапу ідентифікації, обрати інший метод та повторно перевірити набір даних на наявність викидів.

При виявлені даних з початкового набору, що є підозрілі на аномалії, їх можна вилучити з набору. Але таке рішення – є суб'єктивним рішенням. Важливо пам'ятати про те, що причини для виникнення подібних спостережень можуть бути різними. Так, видалення викидів, що виникли через невдале планування експерименту або не якісного вимірювання, може бути

іноді цілком виправданим. У той же час, незвичайні спостереження серед значень залежної змінної можуть вимагати більш точного підходу, особливо якщо вони відображають природну варіабельність цієї змінної.

Альтернативою видалення незвичайних значень вибірки є нормалізуючі перетворення, найчастіше, логарифмування. У загальному випадку, знайти оптимальне рішення дозволяє перетворення Бокса-Кокса. Універсальне сімейство перетворень Бокса-Кокса випадкової величини x є ступеневим перетворенням $x' = \frac{x^{\lambda}-1}{\lambda}$ з довільним додатним або від'ємним показником ступеня λ. Оскільки ділення на нуль призводить до невизначеності, то при λ = 0 використовується логарифмічна перетворення $x'(\lambda) = \ln(x)$. Значення λ можна знайти, наприклад, за допомогою максимуму логарифма функції максимальної правдоподібності. Використання подібних перетворень значно зменшує кількість підозрілих на викиди значень в наборі даних.

Висновки. Таким чином, вихідні значення залежної змінної зазвичай представляють інтерес при побудові регресійних моделей в задачах прогнозування та їх перетворення може порушити змістовний сенс перевірки гіпотез. Наприклад, виконавши перетворення, яке нормує дисперсію, виявляється, що щомісячний дохід олігарха мало відрізняється від доходу пенсіонера. Тому краще підібрати метод аналізу, який заснований на розподілі ймовірностей, якій допускає асиметрію розкиду значень в області екстремального значення великих даних, наприклад, гамма-розподіл для безперервних змінних або розподіл Пуассона для дискретних кількісних змінних. Остаточне рішення про видалення аномальних значень з набору даних приймається в залежності від особливостей конкретної задачі.

Література

1. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: A survey //ACM computing surveys (CSUR). – 2009. – Т. 41

2. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection for discrete sequences: A survey //IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2012. – Т. 24. – №5. – С. 823-839

3. Aggarwal C. C., Sathe S. Outlier Ensembles: An Introduction. – Springer, 2017.

IDENTIFICATION AND PROCESSING OF DATA ANOMALIES IN MACHINE LEARNING TASKS

Kalinina Iryna, Gozhyj Oleksandr

Abstract. The paper presents the procedure of identification and processing of data anomalies at the stage of preliminary data processing in machine learning tasks. The procedure consists of three stages. At the first stage, emissions are detected in the data samples. A large number of methods are used for this. The choice of a particular method depends on the task of machine learning, the structure of the data set and the types of data being processed. The methods used at this stage are methods of statistical tests, methods of metric tests, methods of model tests, iterative methods, methods of machine learning, ensemble methods. Until the second stage, the analysis of the causes of emissions is carried out. The causes of emissions include: causes of measurement errors and causes of data processing errors, the results of external influences, or errors in data records. In the third stage, there is a final processing of data sets with emissions, in which there is a removal of emissions or normalizing transformations. The effectiveness of the procedure was tested on different data sets.

Keyword. Data anomalies, preliminary data processing, tests, machine learning tasks, data sets.

References

1. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection: A survey //ACM computing surveys(CSUR). – 2009. – T. 41
2. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly detection for discrete sequences: A survey //IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2012. – T. 24. – №5. – C. 823-839
3. Aggarwal C. C., Sathe S. Outlier Ensembles: An Introduction. – Springer, 2017.

THE CYBER-PHYSICAL SYSTEM FOR COULOSTATIC EXPERIMENT. THE CORROSION MONITORING UNIT

Kapitonov O.G.

Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Engineering.

The term 'cyber-physical systems' refers to integration of computation with physical processes [2]. Usually, the term used to describe embedded systems as well as networks monitoring and controlling physical processes which, through feedback circuits, can affect computation flows. They combine cyber capabilities (communication, computation and control) with physical capabilities (sensing and actuation) to solve problems that neither part could solve alone. Many contemporary experiments in sciences, in particular in physics, require the observation of experiment outcomes with IT devices. The combination of physical experiments and IT devices can be seen as a special case of CPS.

Methods and devices for estimation of corrosional losses or corrosion rate constitute the basis of the corrosion monitoring. Electrochemical methods are very popular. They can be easily automated, are highly sensitive (corresponding threshold of mass losses detection is 10^{-9} g) and allow to determine instant values of corrosion rate. Among them the techniques registering the respond for applied direct or alternative signal seem to have the best perspectives. This group that includes the polarisation resistance method, impedance spectroscopy, coulostatic and other relaxational techniques is based on assumption of direct relations between corrosion rate and such characteristics like polarization resistance R_p and charge transfer resistance R_F.

In this case the whole process of corrosion rate measurement can be divided onto three stages: 1) determination of the process' mechanism, selection of corresponding definition of R_p and equations which depict relations between the mathematical model parameters and characteristic constants of the process; 2) determination of corresponding constants and calculation of parameters; 3) determination of R_p and calculation of corrosion rate.

One must note that there is plenty of factors those can change dramatically the whole scope of concepts mentioned at the first stage description: passivation,

hydrodynamic mode, presence of inhibitors or other surfactants, chemical or physical inhomogeneity of corroded system, and the like. Hence, time limitations for the determination process occur and requirements to the computer system can be described in terms of requirements to the cyber-physical one. From other side, in this specific case of electrochemical measurements some functions of the CPS described earlier [1] become not actual; e.g., potential/current programming control, sensor preparation/renovation; others, such as thermal and hydrodynamic control, reagents input are getting more important.

References

1. Kapitonov A.G. The computer system for coulostatic experiments. The adsorption measurements unit //System technologies. –3 (122). – Dnipro, 2019. – C. 55-58. ISSN 1562-9945

2. Marwedel P. Embedded System Design. Embedded Systems, Foundations of Cyber-Physical Systems, and the Internet of Things //Springer International Publishing AG, 3rd edition. ISBN 978-3-319-56045-8, 2018

THE USE OF FUZZY CLUSTERING FOR BUILDING A KNOWLEDGE BASE IN THE PROBLEMS OF PREDICTING THE DURABILITY OF CORRODING STRUCTURES

Korotka L., Candidate of technical sciences, Associate Professor; Karasov O.
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine, Dnipro

Quite a lot of works are devoted to the study of methods for processing multidimensional data arrays in various subject areas, and these studies are far from being completed [1, 2]. Before starting to work with such data, if possible, preliminary processing should be carried out, for example, removal of abnormal or noisy elements, etc.

One of the directions of processing multidimensional arrays of various structures is cluster data analysis, which allows you to space heterogeneous data into subsets of a more or less homogeneous structure.

There are a sufficient number of clustering methods with different metrics that can be grouped as clear and fuzzy. The use of clear clustering methods allows you to split the original set of objects into several, as a rule, non-overlapping subsets. In this case, it is assumed that any object from the resulting partition into subsets belongs to a single cluster. Fuzzy clustering methods allow you to divide the source data into subsets in such a way that an element can belong simultaneously to several clusters with different degrees of membership. It is obvious that the use of clear or fuzzy clustering methods entirely depends on the problem being solved. The advantages and disadvantages of clustering methods are well known.

Solving practical problems using one or another clustering algorithm, it is necessary to determine the metric. It is known that the simplest is the Euclidean metric, but at the same time, it allows one to obtain a partition in the form of hyperspheres, which is not always practical. Algorithms are known that use a norm to obtain clusters that allows one to obtain subsets of the partition of various shapes. In the absence of information about the best number of subsets of the partition, it is advisable to use a criterion for assessing the quality of clustering, which can be represented by an evaluation function.

One of the most common fuzzy clustering algorithms is the c-means fuzzy clustering method (fuzzy clustering, soft k-means, c-means, fcm algorithm), which is

a generalization of R. Yager's and is also well known. In fact, it consists of the following two stages:

- the data point with the maximum potential to represent the first cluster is selected;

- to determine the next fuzzy cluster and the coordinates of its center in the neighborhood, which is specified by the parameter γ, all data points in the vicinity of the center of the first cluster are deleted.

These two procedures are repeated until all data points are inside the vicinity of the radius of the parameter γ of the sought cluster centers. In the general case, small values of this parameter γ lead to the finding of a small number of clusters larger in terms of the number of points (usually γ = 0.5).

The paper discusses corrosive constructs that operate in a corrosive environment [3, 4]. The input variables are: initial σ_0 and ultimate stresses in the element [σ], corrosion rate v_0, square A_0 and perimeter P_0 bar structural elements, error [ε] numerical solution of a system of differential equations (SDE), which describes the process of accumulation of geometric damage to the structure. The output variable is the integration step h_t to obtain an estimated predicted durability value.

In the numerical solution of SDE, the problematic aspect is the error of the obtained solution [3, 4], which, in turn, is a function of many variables $\varepsilon(v_0, A_0, P_0, \sigma_0, [\sigma], h_t)$. Each variable can be written as a linguistic variable, term-sets, which are defined using fuzzy clustering.

The center of the corresponding cluster is considered as the core of the term set. The carrier of the set is the cluster boundaries. The resulting clusters are considered as a basic knowledge base [4], which requires additional tuning [4, 5]. The α-level principle of generalization is used for the construction of membership functions.

The rule base should provide the ability to achieve the required accuracy of the fuzzy model, in particular, after the parameters of the latter have been determined. At the same time, in order to reduce computational costs and present the model in a more intuitive way: the number of rules contained in the knowledge base should be

as small as possible. In addition, reducing the number of rules in a multi-input model may be a prerequisite for tuning its parameters.

References

1. Solodka N.A., Shapovalov D.D. Analiz i obrabotka dannyh kompanii kak sposob povyshenija ee pribyl'nosti [Analysis and processing of company data as a method of profitability improving]. Elektronnij naukovo-praktichnij zhurnal «Shidna Єvropa: ekonomika,biznestaupravlinnja. 2019. № 6 (23) S. 756–760. (in Russian) (in Scholar)

2. Us S.A., Korjashkina L.S. Modeli ta metody pryjnjattja rishen'(druge vydannja) [Models and methods of decision making] // Dnipropetrovs'k, NGU, 2018, 270 s. (in Ukranian) (in Scholar)

3. Korotka L.I., Korotka Y.A. The use of elements of computational intelligence in problems of forecasting of corroding constructions durability. Mathematical and computer modelling. Series:Technicalsciences – 2017. Issue 16. – P 64-71. (in Scholar)

4. Korotka L. I. The use of fuzzy clustering in solving problem in predicting the durability of corrosive structures. Mathematical modeling. №2(43)2020, C. 44-54. (DOI:https://doi.org/10.31319/2519-8106.2(43)2020.219266)(inScholar)

5. Pegat A. Fuzzy modeling and control. Springer Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2001. 728 p.

ПРО ОДИН МЕТОД ОЦІНКИ ЧУТЛИВОСТІ ФУНКЦІЙ В ТЕХНІЧНИХ ЗАДАЧАХ

Член кор. АН України, док. техн. наук О.П. Круковський,

Док. техн. наук Г.І. Ларіонов

ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України

Властивість системи змінювати свої характеристики за зміни різних внутрішніх та зовнішніх чинників за звичай називають чутливістю. Розділ теорії чутливості пов'язаний з вивченням впливу зміни параметрів на характеристики системи прийнято називати теорією параметричної чутливості [1,2]. У подальшому під терміном чутливість будемо розуміти параметричну чутливість.

Проблема пошуку функцій керування в складних електронних та механічних системах, з використанням теорії чутливості виникла відносно недавно. Пошук складеної функції керування для диференціальних рівнянь полягав у складанні рівнянь для визначення функції чутливості, знаючи яку можна визначати закон керування технічною системою. Причому вимоги до системи рівнянь, а відповідно, і його розв’язку досить жорсткі [1]. Розв’язок повинен бути неперервним та бути стійким до варіації параметрів. Для їх забезпечення необхідно проводити окремі дослідження і лише потім намагатися відшукати функцію чутливості та керування. Причому необхідно провести дослідження з виявлення зв’язку між проблемою чутливості і математичними задачами теорії стійкості [2]. Для широкого кола задач, які виникають у різних галузях науки і техніки проводяться дослідження у напрямку побудови функції чутливості та керування. Але широкого використання внаслідок значної складності досліджень теорія чутливості ще не отримала. Для математичних моделей (ММ) які можуть бути представлені як системами диференціальних рівнянь, так і низкою формул, отриманих експериментально виникає проблема пошуку чутливості рішень за варіації їх параметрів.

Пропонується для визначення чутливості в технічних застосуваннях використовувати наступний алгоритм:

Побудову функції чутливості у області визначення функції замінити на наближену оцінку впливу параметрів у сукупності точок із області визначення. Причому дослідник сам забезпечує і гарантує неперервність функції в точці.

Досвід успішного використання методу послідовної апроксимації (МПА) в прикладних задачах механіки [3] такого представлення показує, що рішення практичних задач може бути розширено на всю область визначення функції, не дивлячись на той факт, що похибки такого представлення зростають при наближенні до її границі та вони не перевищують величину 5-7%. Так виявилось, що така точність є задовільною для інженерних розрахунків в галузі геотехнічної механіки, оскільки вихідні дані для цього визначаються з такою ж точністю. Точність може бути підвищена до необхідного значення за рахунок звуження області зміни параметрів.

Метод послідовної апроксимації (МПА), розроблений автором [3] дозволяє представляти функцію в аналітичному вигляді (у вигляді добутку функцій кожна з яких залежить від однієї змінної) коли вона існує у табличній формі. Ця обставина надихнула автора сформулювати теорему про існування такого представлення для більш ширшого кола задач. Метод послідовної апроксимації базується на теоремі в наступній формі:

ТЕОРЕМА: Нехай існує $F(X)=F(x_1,x_2...x_n)$ яка є визначеною і неперервною разом з частинними похідними першого порядку у замкнутій області $\overline{D}$. Тоді у околі точки $X_0=(x_1^0,x_2^0,..x_n^0)\in\overline{D}$ функція $F(X)$ може бути представлена у вигляді:

$$F(X)\approx\varphi(x_1,...,x_n)=\alpha_n\prod_{i=1}^{n}g_i(x_i)$$

Де $g_i(x_i)$ - функції апроксимації для $f_1,f_2,...,f_n$ які задані у табличній формі, а α_n – коефіцієнт апроксимації, визначається у відповідності до формули:

$$\alpha_n=\frac{F\left(x_1^{\,0},x_2^{\,0},x_3^{\,0},...x_n^{\,0}\right)}{g_1\left(x_1^{\,0}\right)g_2\left(x_2^{\,0}\right)..g_n\left(x_n^{\,0}\right)}.$$

Зазначені функції визначаються наступним чином: $f_1(x_1)=F(x_1,x_1^0,...x_n^0)$, $f_2(x_2)=F(x_1^0,x_2,...x_n^0)$. $f_n(x_n)=F(x_1^0,x_2^0,...x_n)$.

Як засвідчує досвід використання вказаного підходу представлення функції $F(X)=F(x_1,x_2...x_n)$ у околі точки $X_0=(x_1^0,x_2^0,..x_n^0)\in\overline{D}$ має достатню для інженерних розрахунків точність на всій області визначення $\overline{D}$.

Алгоритм застосування МПА може бути представлений послідовністю наступних кроків:

Крок 1. Обираємо точку із області визначення функції $M=M(x_1^0,x_2^0,...,x_n^0), M\in\overline{D}$;

Крок 2. Створюємо функцію $f_1(x_1)=F(x_1,x_2^0,...,x_n^0)$;

Крок 3. Знаходимо вид функції $g_1(x_1)$, яка є апроксимацією для функції $f_1(x_1)$;

Крок 4. Знаходимо $\varphi_1(x_1)$ у відповідності до (1): $\varphi_1(x_1)=\alpha_1 g_1(x_1)$, де α_1 – коефіцієнт апроксимації;

Крок 5. Визначаємо функцію у околі точки М з рівності $F(x_1)\approx\varphi_1(x_1)$.

Повторюємо кроки 2-5 послідовно для змінних $x_j\left(j=\overline{2,n}\right)$ і отримуємо шукане представлення:

$$F(x_1,x_2,x,...,x_n)\approx\varphi(x_1,x_2,x,...,x_n)=\alpha_n g_1(x_1)g_2(x_2)...g_n(x_n),$$

Де α_n –коефіцієнт апроксимації визначається як:

$$\alpha_i=\frac{f_i(x_i)}{\prod_{j=1}^{i}g_j\left(x_j{}^0\right)}$$

$$\alpha_n=\frac{F\left(x_1{}^0,x_2{}^0,x_3{}^0,...x_n{}^0\right)}{g_1\left(x_1{}^0\right)g_2\left(x_2{}^0\right)..g_n\left(x_n{}^0\right)}$$

Коли топологія функції невідома пропонується обирати точку в центрі області визначення. Зрозуміло, що представлення поверхні шуканої функції відбувається з допомогою узагальненого гіперболічного параболоїда і сподіватись на рівномірну поведінку відносної похибки сподіватись не варто.

Широке застосування МПА на практиці показало, що використання класу степеневих функцій є особливо ефективним для проведення оцінювання впливу параметрів на функцію якості. Метод оцінки впливу являє собою відтворення рішення задачі (коли вона побудована у вигляді описаних таблиць чисел) у вигляді добутку степеневих функцій і порівнянні їх показників. Чим

більший показник степені, тим сильніший влив параметра на функцію. Автори сподіваються, що такий підхід є простішим за класичний пошук функції чутливості потребує меншої кількості вимог до неї та знайде застосування у багатьох технічних задачах.

Література

1. Е.Н.Розенвассер, Р.М.Юсупов Чувствительность систем управления, М.Наука, 1981 576с.

2. Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч. Пространство состояний в теории управления (для инженеров) Монография. Пер. с англ. Р.Т. Янушевского. Под ред. М.В. Меерова. — М.: Наука, 1970. — 620 с.

3. Ларіонов Г. І. Оцінювання конструктивних параметрів анкерного кріплення / Г. І. Ларіонов. – Дніпропетровськ: Національна металургійна академія України, 2011. – 286 с.

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ПОБУДОВИ ВЛАСНОГО ЕНЦЕФАЛОГРАФА ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ МОЗКОВОЇ АКТИВНОСТІ ЛЮДИНИ-ОПЕРАТОРА

Купін А.І., д.т.н., проф., Градовий О. В., аспірант

Криворізький національний університет»

В останні роки фундаментальні дослідження електричної активності мозку людини набувають все більшої актуальності. Пов'язано це з двома обставинами. По-перше, нейрофізеологічне вивчення мозку людини важливе для розуміння такого явища, як інтелект. По-друге, гострі потреби практики (медицина, оптимізація операторської діяльності і створення нейрокомп'ютерних інтерфейсів) постійно диктують необхідність інтенсифікувати і поглибити фундаментальні дослідження мозку людини. [1, 2]

Сучасні прилади є багатоканальні самописці (24 і більше каналів), які дозволяють одночасно реєструвати електричну активність від відповідного числа електродів, встановлених на голові обстежуваного. Самі ж електроди являють собою невеликі металеві пластини або стрижні.

Відмінності в потенціалах на шкірної поверхні голови мають маленьку амплітуду, в нормі - близько 100-150 мкв. Після зняття вони подаються на входи підсилювально-реєструючих пристроїв. Основною проблемою є фільтрація сигналу від шуму на апаратному та програмному рівні. У якості підсилювача зазвичай використовуються інструментальні операційні підсилювачі з низьким внутрішнім шумом, близько 1 нв на Гц та великим коефіцієнтом підсилення, наприклад AD8429. Спрощена схема енцефалографа наведена на Рисунку 1. Електроди мають бути обладнані повторювачами сигналу для того, щоб сигнал не затухав при проходженні через кабель. Операційні підсилювачі живляться від біполярного джерела живлення постійного струму. Джерело живлення не повинно пропускати шуми із мережі та мати постійну стабільну напругу. Це можна досягти за допомогою фільтру з конденсаторів C1, C2 та дроселю L1 або живлення від батареї. Для стабілізації напруги використовуються стабілітрони TL431. Схема має бути захищена екраном від радіонаведень.

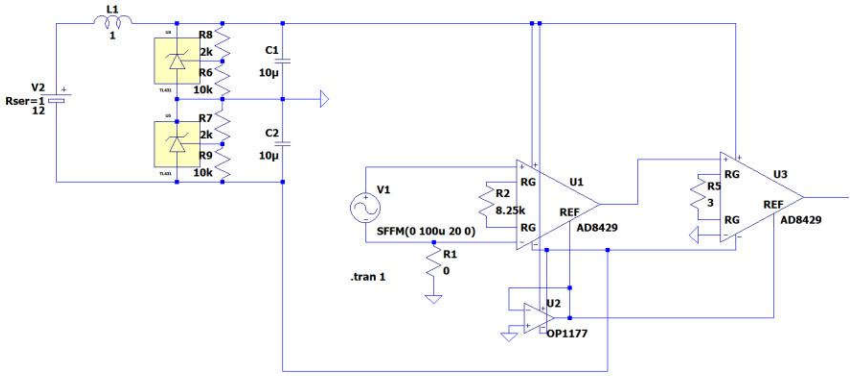


Рисунок 1 – схема джерела живлення та одного каналу підсилювача енцефалографа

Висновки. Отже енцефалографія – перспективний напрямок для неінвазивного дослідження мозку та побудови нейроінтерфейсів. Тому подальші дослідження авторів будуть пов'язані з розробкою та реалізацією власних апаратно-програмних засобів для подібних розробок.

Література

1. "Active electrodes - research" Jarek Foltynski, [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.bioera.net/bw/ae/active_prototype3.html

2. "Устройство электроэнцефалографа" EEG analysis by CMI, [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://cmi.to/ээг/устройство-электроэнцефалографа/

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.030

КЕРУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ МРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ З ВІРТУАЛЬНОЮ ФРАГМЕНТАЦІЄЮ І ВРАХУВАННЯМ ПОТОЧНОЇ «КОМПОЗИЦІЇ» ПЕРЕВАНТАЖЕНИХ ФРАГМЕНТІВ

Легенков О.Д., аспірант кафедри систем автоматизованого управління

Лабуткіна Т.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри систем автоматизованого управління

Дніпровській національного університету імені Олеся Гончара, Україна

Бурхливий розвиток мереж комутації пакетів – одна з ознак сучасності. Серед багатьох різновидів таких мереж – мережі, які складаються з тисяч вузлів. Великі за кількістю вузлів мережі не тільки активно застосовуються на Землі, а й вже створюються у навколоземному просторі (приклад тому – розгортання супутникової мережі Starlink, яка призначена забезпечити потреби мешканців Землі у технологіях Internet). Створення таких великих багатоелементних систем робить актуальними задачі оптимізації керування процесами їх функціонування.

У даній роботі досліджуються задачі керування мережним навантаженням для узагальненого варіанту великої мережі комутації пакетів, яка може бути представлена як множина N однотипних вузлів і ліній зв'язку, які їх поєднують, створюючи коміркову топологію. Також показана особливість окремого випадку реалізації такої мережі на основі угруповання космічних апаратів (вузлів мережі), поєднаних із застосуванням міжсупутникових ліній зв'язку. Можна розглядати «незамкнену» мережу, яку можна представити «розгорнутою» на площині, або «замкнену» коли вузли розташовані на поверхні, яка охоплює деякий об'єм (у окремому випадку – розташовані на сфері). Більш узагальнений випадок, коли у мережі можна виділити декілька сегментів, кожний з яких можна уявляти як мережу з вузлами на замкненій поверхні, що охоплює деякій об'єм, а ці поверхні для кожного сегмента мають деяку спільну точку, навколо якої вони замкнені. Ці сегменти мережі по'вязані між собою завдяки наявності ліній зав'язків між їх вузлами. Маршрутизація «плоска» (тобто однорівнева, не ієрархічна) реалізується за алгоритмом вибору шляху найменшої вартості. Призначення вартостей лініям зв'язку може

враховувати оцінку часу, який знадобиться для передачі даних між вузлами (при однотипних лініях зв'язку залежить від відстані між вузлами) і від прямого або непрямого врахування навантаження у вузлах (яке визначає час затримки інформації у кожному з вузлів). Показником навантаження вузла (заповнення мережним навантаженням, яке очікує у вузлу відправлення подальшим шляхом передачі у мережі або виходу з мережі до користувачів) може бути кількість заповнених рівнів, на які розподілений обсяг накопичувача (наприклад, як описано для задачі моделювання мережі комутації пакетів у роботі [1]).

Задача оптимізації функціонування подібних мереж для випадку створення їх на основі супутникових систем розглядалися, наприклад, у роботах [2-6], деякі результати яких будуть розвинуті у даній роботі. У роботах [2-4] досліджувалися задачі віртуального розподілення таких мереж на фрагменти (кластери) для випадку супутникової мережі зв'язку, побудованої на різновисоких орбітальних угрупованнях, і застосування цього розподілення для керування навантаженням мережі. В роботі [2] представлені варіанти віртуального розподілення мережі на фрагменти (названі кластерами) і алгоритми їх реалізації. В роботі [3] показано, як можна застосовувати цій розподіл на фрагменти для врахування усереднених показників топології кожного з таких фрагментів в алгоритмах маршрутизації. В роботі [4] представлена концепція керування навантаженням мережі з врахуванням усереднених показників навантаження елементарних фрагментів розподілу мережі, до яких належить вузол, при призначенні вартостей лініям зв'язку в алгоритмах маршрутизації найменшої вартості. Мета даної роботи – подальший розвиток цього напрямку керування навантаженням мережі із врахуванням її фрагментації на елементарні фрагменти.

Мережа за обраним правилом розподілена на елементарні фрагменти [2]. Елементарні фрагменти мережі не перетинаються (тобто, один вузол належить тільки одному елементарному фрагменту). Фрагменти можна представити як «клаптик» мережі, якій оточений іншими фрагментами. Наявність зав'язків між вузлами мережі надає можливість застосувати абстракцію – представити цю множину фрагментів як множину зв'язаних у мережу елементів (як

абстрактну мережу фрагментів). Нехай для кожного фрагменту визначний показник його навантаження (наприклад, середнє навантаження його вузлів, або – відсоток його вузлів, в яких навантаження вище за задану границю, та інші). Якщо перевищена задана межа, яка надає визначання елементарного фрагменту як фрагменту з підвищеним навантаженням, то елементарний фрагмент вважається перевантаженим. Далі у введеній уявній «мережі фрагментів» знаходяться зв'язаній групи фрагментів з підвищеним навантаженням (кожний фрагмент зв'язаної групи має зв'язок хоч з одним фрагментом цієї групи). Підхід до визначення таких груп і алгоритм його реалізації аналогічний тому, якій представлений у роботах [5,6] для випадку, коди визначалися зв'язані групи вузлів з підвищеним навантаженням (вузол, якій входить до зв'язаної групи, має зв'язок хоч з одним іншим вузлом цієї групи). Підхід, запропонований у роботах [5,6] надає можливість виявити так звані «флуктуаційні групи вузлів». Розгляд груп фрагментів мережі з підвищеним навантаженням надає можливість аналізу поточного стану розподілення навантаження «у іншому масштабі», є зручним не тільки для наближеного («розмитого») виявлення флуктуацій при малих групах фрагментів із підвищеним навантаженням (у тому числі – одиничного фрагменту з підвищеним навантаженням), а й виявляти різні варіантів «перекосів» навантаження у мережі.

Для визначених груп елементарних фрагментів з підвищеним навантаженням застосовуються модифікації методу керування навантаженням на основі вибору шляхів найменшої вартості, описаного для різних умов в роботах [4,5,6], в якому при маршрутизації враховують належність вузла до фрагментів з підвищеним навантаженням. Стратегії вибору маршрутів, які застосовують вузли перевантажених фрагментів, відрізняються від стратегій, які застосовують вузли інших фрагментів. Стратегії вузлів перевантажених фрагментів і інших вузлів мережі враховують належність вузла до перевантаженої групи за таким принципом: враховується, чи належить він сам до цієї групи, або не належить. Модифікація методу керування обирається, враховуючи поточну наявність груп перевантажених фрагментів мережі (в тому числі – і одиночних фрагментів з підвищеним

навантаженням, і великих за розмірами зв'язаних груп перевантажених фрагментів), а також їх «композицію» у мережі.

Література

1. Лабуткина Т.В., Ларин В.А., Беликов В.В., Борщева А.В., Тихонова А.А., Деревяшкин Д.И. Имитационная модель спутниковой сети коммутации пакетов с разновысотными орбитальными сегментами // Науково-технічний журнал «Радіоелектронні і комп'ютернісистеми». – 2016. – № 1 (75). – С. 66-83.

2. Лабуткина Т.В., Легенков А.Д., Лазарец М.С., Литвиненко Я.С. Разбиение многоспутниковой сети на кластер. / Scientific achievement of modern society. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. – 2020. – Pp. 667-675. http://sci-conf.com.ua.

3. Лабуткина Т.В., Легенков А.Д. Характеристики топологии фрагментированной на кластеры спутниковой сети / Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. Pp. 495-504. URL: http://sci-conf.com.ua.

4. Легенков А.Д., Литвиненко Я.С., Лазарец А.С., Лабуткина Т.В. Балансировка нагрузки фрагментированной на кластеры спутниковой сети / Тези XXII Міжнародної молодіжної науково-практичної конференції «Людина і космос», 12-15 квітня 2020, Дніпро, Україна. – С. 84.

5. Лабуткина Т.В., Шабазов Д.И. «Комбинированное» управление сетевой нагрузкой в сети коммутации пакетов. / Матеріали Міжнародної науково-технічноїконференції Інформаційні технології у металургії і машинобудуванні, 26-29 березня 2019, Дніпро, Україна. – С. 122.

6. Shabazov D., Labutkina T., Brlikov V., Sayenko I., Kuzmin M. Method for quick leveling of disproportional load and load fluctuation in satellite packet switching network / Presentation theses 7th International conference Space technologies: present and future. 21-24 may 2019. Dnipro, Ukrain. – P. 148.

CONTROL OF LOAD OF THE COMMUNICATION NETWORK WITH VIRTUAL FRAGMENTATION AND TAKING INTO ACCOUNT THE CURRENT «COMPOSITION» OF OVERLOADED FRAGMENTS

Lehenkov Oleksandr, Labutkina Tetiana

Abstract. The problems of network load management for a generalized version of a large packet switching network are investigated. The network is divided into elementary fragments according to the selected rule. Data routing is "flat" (not hierarchical). Abstraction is used - a set of network fragments can be represented as

a set of networked elements. For each fragment, a significant indicator of its load (for example, the average load of its nodes or another) is defined. The limit of this indicator is set, which provides the definition of an elementary fragment as a fragment with an increased load. In the entered imaginary "network of fragments" there are connected groups of fragments with the increased loading. For groups of elementary fragments with high load, modifications of the load control method are used due to the choice of the lowest cost paths, in which the routing takes into account the node's belonging to the fragments with high load.

Keywords: management of a packet switching network load, virtual network fragmentation, data routing.

References

1. Labutkina T.V.. Larin V.A.. Belikov V.V.. Borshcheva A.V.. Tikhonova A.A.. Derevyashkin D.I. Imitatsionnaya model sputnikovoy seti kommutatsii paketov s raznovysotnymi orbitalnymi segmentami. // Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Radioelektronni i kompiuterni systemy». – 2016. – № 1 (75). – S. 66-83.

2. Labutkina T.V.. Legenkov A.D.. Lazarets M.S.. Litvinenko Ya.S. Razbiyeniye mnogosputnikovoy seti na klaster. / Scientific achievement of modern society. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool,UnitedKingdom. – 2020. – Pp.667-675.http://sci-conf.com.ua.

3. Labutkina T.V.. Legenkov A.D. Kharakteristiki topologii fragmentirovannoy na klastery sputnikovoy seti / Scientific achievements of modern society. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference. Cognum Publishing House. Liverpool, United Kingdom. 2020. Pp. 495-504. URL: http://sci-conf.com.ua.

4. Legenkov A.D.. Litvinenko Ya.S.. Lazarets A.S.. Labutkina T.V. Balansirovka nagruzki fragmentirovannoy na klastery sputnikovoy seti / Tezy XXII Mizhnarodnoi molodizhnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Liudyna i kosmos», 12-15 kvitnia 2020, Dnipro, Ukraina. – S. 84.

5. Labutkina T.V.. Shabazov D.I. «Kombinirovannoye» upravleniye setevoy nagruzkoy v seti kommutatsii paketov. / Materiali Mizhnarodnoï naukovo-tekhnichnoï konferentsiï Informatsiyni tekhnologiï u metalurgiï i mashinobuduvanni. 26-29 bereznya 2019. Dnipro. Ukraïna.? S. 122./ Materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii Informatsiini tekhnolohii u metalurhii i mashynobuduvanni, 26-29 bereznia 2019, Dnipro, Ukraina.– S. 122.

6. Shabazov D., Labutkina T., Brlikov V., Sayenko I., Kuzmin M. Method for quick leveling of disproportional load and load fluctuation in satellite packet switching network / Presentation theses 7th International conference Space technologies: present and future. 21-24 may 2019. Dnipro, Ukrain. – P. 148.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.031

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ І ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН ЇХ ОБСЛУГОВУВАННЯ

Малієнко А.В. к.т.н., доцент кафедри системного аналізу і управління

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»,
м. Дніпро, Україна

Вступ. Сучасні вимоги транспортного зв'язку потребують використання більш екологічного транспорту, а електротранспорт потребує більш ретельного аналізу місць розміщення пунктів його обслуговування, у тому числі зарядних станцій електромобілів - ЗСЕ. Знаходження мінімального радіуса дії сучасного пункту обслуговування електротранспорту, а також оптимальне розташування його робочої сервісної крапки з надання послуг зарядки електромобілів є актуальним та потребує розробки алгоритму, розрахунку та застосування новітнього математичного апарату.

Основний матеріал. Інтерес до задач багатократного покриття обумовлений, перш за все, важливими практичними додатками. Як показує аналіз сучасної економіки, такі задачі є прикладними та можуть бути використані в різних галузях.

Все різноманіття практично важливих задач оптимального розміщення та покриття умовно розділяються на два класи.

Перший клас – так звані дискретні задачі оптимального розбиття, у яких множина, що розбивається, складається з кінцевого числа елементів.

Другий клас складають задачі k-кратного c-кульового покриття обмеженої області і задачі про мінімальне k-кратне c-кульове покриття континуальної множини з розміщенням центрів кіл. Моделям та методам розв'язання таких задач присвячені, наприклад, роботи [1,2]. Наведені тут алгоритми пошуку радіуса N кіл, що утворюють k-кратне c-кульове покриття множини і розташування станцій зарядки електромобілів показали гарні результати. Вирішення задач зводиться до задачі мінімізації негладкої функції, тому під час їх чисельної реалізації використовуються методи недиференційованої оптимізації.

Розглядаючи пункти обслуговування та розміщення ЗСЕ, в задачах покриття визначеної території, визначаємо мережу доріг і кінцеву множину пунктів розміщення ЗСЕ. Кожен пункт надання послуги зарядки може використовуватися на заданій відстані від нього. Відома множина «небезпечних» (критичних) віддалених ділянок на дорогах між ЗСЕ. Потрібно знайти мінімальне число пунктів надання послуг зарядки всіх «небезпечних ділянок» доріг.

Якщо позначити

$I = \{1, \dots, m\}$ - множина всіх можливих пунктів для розміщення ЗСЕ;

$J = \{1, \dots, n\}$ – множина ділянок дороги що обслуговуються пунктом зарядки;

$$a_{ij=} = \begin{cases} 1, \text{якщо ділянка } j \text{ шляху може обслуговуватися з i – го пункту} \\ \text{та 0 в противному випадку} \end{cases}$$

а змінними задачі ввести

$$x_i = \begin{cases} 1, \text{якщо в пункті i встановлена ЗСЕ} \\ \text{0 в противному випадку} \end{cases}.$$

То математична модель задачі розміщення мінімальної кількості зарядних станцій буде мати вигляд:

$$\min \sum_{i \in I} x_i \tag{1}$$

при обмеженнях:

$$\sum_{i \in I} a_{ij}\ x_i \geq 1,\ j \in J; \tag{2}$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I. \tag{3}$$

Друга модель передбачає мінімізацію витрат, пов'язаних із розташуванням ЗСЕ. Нехай $c_i \geq 0$ – вартість встановлення ЗСЕ в пункті I. Потрібно мінімізувати сумарну вартість витрат:

$$\min \sum_{i \in I} c_i x_i \tag{4}$$

При обмеженнях:

$$\sum_{i \in I} a_{ij}\ x_i \geq 1,\ j \in J; \tag{5}$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I. \tag{6}$$

Надалі нехай $r_j \geq 1$ – мінімальне число пунктів ЗСЕ, які повинні обслуговувати ділянку j дороги з максимальним віддаленням між собою;

$b_j > 0$ – середнє число електротранспорту на ділянці дороги j. Потрібно вибрати пункти встановлення так, щоб кожна дорога обслуговувалась не менше r_j пунктами ЗСЕ, і число зарядних пунктів було б максимальним:

$$\max \sum_{j \in J} b_j \sum_{i \in I} a_{ij} x_i \tag{7}$$

За умови:

$$\sum_{i \in I} a_{ij}\ x_i \geq r_j,\ j \in J; \tag{8}$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in I. \tag{9}$$

Розглянемо також імовірнісну постановку задачі.

Нехай прибуття електромобіля з ділянки дороги відбувається випадковим чином та незалежно один від одного, $q > 0$ – ймовірність того що пункт зарядки зайнятий або не працює; $p_k = 1 - q^k$ – ймовірність того, що хоча б один з k пунктів обслуговування електромобілів буде вільний та працює; $p_k - p_{k-1} = (1 - q^k) - (1 - q^{k-1}) = (1 - q)q^{k-1}$ – приріст при додаванні одного пункту обслуговування ділянки дороги.

Введемо змінну:

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, \text{якщо ділянку } j \text{ обслуговують як мінімум } k \text{ пунктів ЗСЕ,} \\ 0 \text{ в іншому випадку} \end{cases}.$$

Таким чином математична модель буде мати вигляд:

$$\max \sum_{j \in J} b_j (1 - q) q^{k-1} y_{jk} \tag{10}$$

за умов:

$$\sum_{k=1}^{n_j} y_{jk} \leq \sum_{i \in I} a_{ij} x_i\ ,\ \ j \in J; \tag{11}$$

$$x_i, y_{jk} \in \{0,1\}, \tag{12}$$

де $n_j = \sum_{i \in I} a_{ij}, j \in J, i \in I$.

Оптимальним буде розв'язок при $y_{jk} \leq y_{jk-1}$ для всіх $j \in J, 1 < k \leq n_j$

Висновки: Ряд нових вимог економічної складової розвитку країни є розширення математичних постановок задач теорії оптимального розбиття множин, а також методи їх вирішення які будуть побудовані відповідно за цими методами та алгоритмами. У зв'язку з розвитком зазначеної теорії, стимулюється виникненням практичних завдань з встановлення ЗСЕ, актуальним є продовження досліджень безперервних задач оптимального розбиття множин (ОРМ) при додаткових обмеженнях.

Література

1. Киселева Е.М. , Коряшкина Л.С., Ус С.А. Теория оптимального разбиения множеств в задачах распознавания образов, анализа и идентификации систем М-во образования и науки Украины; Нац.Горн.ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 270 с.

2. Коряшкіна Л. С. Визначення оптимальної кількості та місць розміщення зарядних станцій для електромобілів на території міста / Л. С. Коряшкіна, О. Р. Бєляєв // Комп'ютернемоделювання:аналіз,управління,оптимізація. - 2019. - № 1. - С. 23-29.

MATHEMATICAL MODELS OF PROBLEMS OF OPTIMAL PLACEMENT OF ELECTRIC CAR CHARGING STATIONS AND DETERMINATION OF THEIR SERVICE AREAS

Maliienko Andrii

Abstract. Modern requirements of transport communication require the use of more environmentally friendly transport, and electric transport requires a more thorough analysis of the locations of its service points, including charging stations for electric vehicles. In this paper, it is proposed to use the theory and methods of multiple coverage of sets for modeling and solving problems of optimal placement of charging stations of electric vehicles with simultaneous determination of their service areas, taking into account the possibility of overlap.

Keywords: charging electric vehicles, charging station, mathematical model, optimization methods, road design.

References

1. EM Kiseleva The theory of optimal partitioning of sets in problems of pattern recognition, analysis and identification of systems/ EM Kiseleva, L.S. Koriashkina, S. A. Us// Ministry of Education and Science of Ukraine; National Mining University. -D.: NMU, 2015 .-- 270 p.

2. Koriashkina L.S. The designation of the optimal number and space for the distribution of charging stations for electric vehicles on the territory of the city/ L.S. Koriashkina, O. R. Belyaev// Computer modeling: analysis, management, optimization. - 2019. - № 1. - C. 23-29p.

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ПНЕВМОНІЇ ПО РЕНТГЕНІВСЬКИМ ЗНІМКАМ

Островська К.Ю., к.т.н., доцент, Мінаєнко А.С., бакалавр

Національна металургійна академія України

Розробка штучних нейроних мереж почалася ще на початку XX століття, але більш широке поширення нейроні мережі отримали тільки в 90-х роках зі збільшенням потужності обчислювальних систем. З- початково метою спроб створення нейроних мереж було розуміння принципів роботи людського мозку. На сьогоднішній нейрона мережа являє собою якусь спрощену модель людського мозку і успішно використовується при вирішенні найрізноманітніших завдань.

Напрямок медицини і охорони здоров'я вже сьогодні вважається одним із стратегічних і перспективних з точки зору ефективного впровадження нейромережевих технологій. Їх використання може масово підвищити точність діагностики, полегшити життя пацієнтам з різними захворюваннями, підвищити швидкість розробки і випуску нових ліків і т.д.

Основною метою даної роботи є розробка програми для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам з застосуванням нейромережевих технологій.

У всьому світі більш ніж 450 мільйонів осіб заражаються пневмонією на рік і більш ніж 4 мільйони людей вмирають від цієї хвороби. Чисельна різниця між показниками зараження і показниками смертності показує, наскільки важливий ранній діагноз цієї хвороби.

Сьогодні одним з основних методів для діагностики захворювання є рентгенографія грудної клітки. При вивченні рентгенівського знімка органів грудної клітини звертають увагу на структуру кісток і м'яких тканин грудної клітки, форму і прозорість областей легеневих тканин, а також їх структуру, сформовану тінями судин легенів, розташування і структуру коренів легких, становище, форму куполів діафрагми і синусів плевральних порожнин.

Під час діагностики фахівці-радіологи співвідносять білі плями на зображенні, що ідентифікують інфекцію, і білі області, в яких зібралася рідина внаслідок пневмонії.

Однак, через обмеженість колірної схеми рентгенівських зображень, що складаються тільки з відтінків чорного і білого, виникають труднощі, коли справа доходить до визначення є на знімку пневмонія чи ні. Завжди є ймовірність помилкового діагнозу. Якщо діагноз псевдопозитивний, то лікування може тільки нашкодити, якщо - псевдонегативну, то без лікування пневмонія може привести до смерті. В обох випадках неправильно поставлений діагноз може негативно впливати на організм людини.

Досвідчені радіологи не завжди можуть поставити правильний діагноз. А в багатьох країнах, що розвиваються навіть не вистачає кваліфікованих фахівців для своєчасного діагностування пневмонії.

Отже, обчислювальні методи для діагностики захворювання є найбільш надійними, оскільки виключають людський фактор і можуть з більшою точністю визначати вірний діагноз.

Для реалізації програмної частини була обрана бібліотека Keras [1], так як її функціоналу досить для побудови штучної нейроної мережі.

Набір даних для навчання нейроної мережі було взято з сайту Kaggle [2]. Він містить 5863 рентгенівських знімків у форматі JPEG. Фронтальні рентгенівські знімки грудної клітини були взяті у пацієнтів у віці від 1 до 5 років з медичного центру в Гуанчжоу.

Набір даних складається з 3 папок (train, test, val) для тренування, тестування і перевірки нейроної мережі. В одній папці з 2 папки Pneumonia і Normal, в яких розташовуються рентгенівські знімки з пневмонією і без. На рисунку 1 проілюстрований приклад зображень з набору даних.

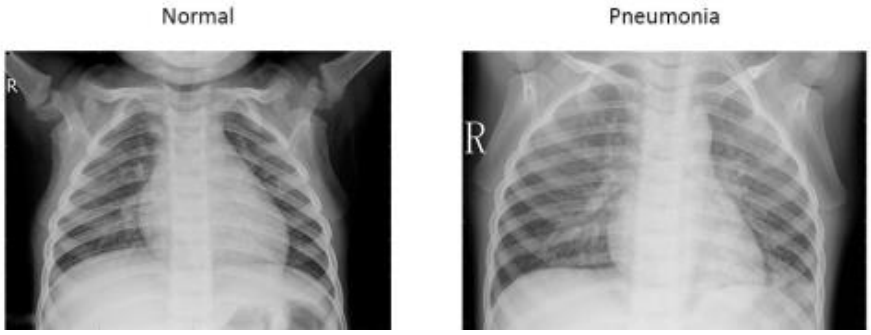


Рисунок 1 – Приклад зображень з наборуданих

Для досягнення кращого результату роботи мережі датасет був збалансований. Таким чином, збалансований набір даних містить 3166 рентгенівських знімків, порівну для кожного класу. Для навчання використовувалося 80% від вибірки, для перевірки нейроної мережі - 10%, і стільки ж для тестування.

Для реалізації програми для розпізнавання пневмонії по рентгенівськім знімкам, яке відноситься до задачі розпізнавання образів, буде застосована архітектура згорткових штучних нейроних мереж [3], структура якої представлена на рисунку 2.

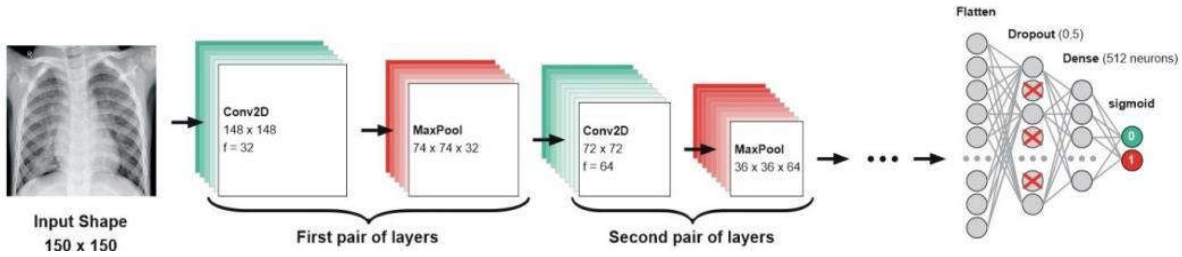


Рисунок 2 – Топологіянейтронноїмережі

Мережа складається з 4 пар чергуються згортальних шарів і шарів підвибірки, а також з 1 шару проріджування і 2 повнозв'язних слоїв. Дана топологія була обрана через найбільшу точності мережі, яку було виявлено експериментальним шляхом.

Література

1. Офіційнийсайт Біблеотекі TensorFlow мови Python [Електронний ресурс]: - Режим доступу: https://www.tensorflow.org/

2. Англомовний сайт Kaggle [Електронний ресурс]: - Режим доступу: https://www.kaggle.com/

3. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети : учебник / В.С.Ростовцев. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 216с.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ МОВ ПРОГРАМУВАННЯ

Очеретяний О.К., к.т.н. Баклан І.В.

НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна

Вступ. Доменні мови приваблюють все більше і більше користувачів, оскільки вони спеціалізовані та оптимізовані для певної проблемної област. В даний час кількість нових мов програмування є значною [1], але мови загального призначення часто не відповідають конкретним потребам кінцевих користувачів. Доменні мови - один із способів вирішити цю проблему. Доменні мови можуть бути розділеними на різні незалежні виміри: внутрішній проти зовнішнього, чи текстовий проти графічного чи табличного. Основний фокус у порівнянні віддається текстовим синтаксисам, оскільки вони мають кілька додаткових переваг, інтеграції в існуючі засоби розробки, доповнення коду, маркери помилок та швидкі виправлення. Тоді як Фаулер описав початкове бачення систем підтримки проектування мов програмування [2], кілька зрілих текстових систем з'явилися в останні роки.

Мета роботи. Таким чином, виникає необхідність дослідження ефективності існуючих систем підтримки проектування мов програмування з отриманням критеріїв якості процесу проектування проблемно-орієнтованих мов програмування. Також, необхідно з'ясувати, які системи підтримки проектування найкраще забезпечують ефективну розробку проблемно-орієнтованих мов

Дослідження. Там, де проблемно-орієнтовані мови перейшли у виробниче використання, результати були дуже обнадійливими [3]. Однак багато проектів, які перейшли на використання проблемно-орієнтованих мов, зупинилися до стадії виробництва або навіть пілотної стадії. Окрім звичайних причин, які впливають на всі проекти, одні з них найпоширеніших скарги були на обраний інструмент – доменну моу або його інструмент її моделювання. З широким різноманітям способів проектування для проблемно-орієнтованих мов, існує напрочуд невелика кількість емпіричних досліджень, що порівнюють їх. На даний час існує велика різниця в кількості часу що необхідні для досягнення

однакової ефективності у використанні доменної мови при використанні різних інструментів проектування. Деякі системи підтримки проектування проблемно-орієнтованих мов вимагають роботи в 50 разів більше, ніж інші [4]. Розробники мов, які також є програмістами, можуть віддати перевагу роботі з фреймворком, а не з системою проектування мов, але це може бути в 2000 разів повільніше [5].

Проведення емпіричного порівняння систем підтримки проектування мов програмування (СППМП) є важким, особливо з огляду на широкий спектр зусиль, необхідних для досягнення однакових результатів. У більшості випадків лише малі мови можуть бути побудовані виключно для експерименту: інакше використання менш ефективних інструментів займе занадто багато часу експерименту. Більш реалістичні дані доступні з повнорозмірних промислових використаннь завжди, за визначення проблемно-орієнтованості, базуватися на побудові різних мов, а отже не підійдуть для дослідження.

Таким чином, емпіричні дослідження в промисловості, як правило, концентруються на порівняння продуктивності проектувальних систем з проблемно-орієнтованих мов до продуктивності до використання даних мов. Ці цифри мають пряму цінність для компанії при оцінці того, який підхід використовувати для побудови їхньої продукції, а також при оцінці початкової вартості та віддачі щодо інвестування у використання проблемно-орієнтованих мов в іншому домені. Інша компанія, дивлячись на результати, може побачити, що використання засобу проектування були успішними, а отже, чи гідні вони їх розгляд. Однак дане порівнняння ніяк не покаже різницю у використанні різних засобів проектування.

Таким чином, можливо кілька різних видів порівняння, наприклад:

– порівняння систем проектування як різних способів створення проблемно-орієнтованих мов для тієї самої мови;

– порівняння зусиль щодо оновлення отриманої проблемно-орієнтованої мови коли змінюється засіб проектування, проблема або доменне рішення;

– порівняння продуктивності отриманої проблемно-орієнтованої мови проти рукописного написання того самого коду;

– порівняння продуктивності різних зроблених мов для одного домену з різними робочими середовищами.

Висновок. У досліджені наведено порівняння систем підтримки проєктування мов програмування, що орієнтовані на роботу із проблемно-орієнтованими мовами. Перевагами даних систем є орієнтація на роботу із конкретними областями для опису нотацій мов програмування Системи дозволяють створювати необхідні засоби для роботи із спроєктованими мовами програмування та забезпечують базові покращення в процесі проєктування. Недоліками даних систем є відсутність схожості в роботі систем та продуктах які отримує розробник на виході.

Література

1. S. Dmitriev. Language oriented programming: The next programming paradigm. JetBrains onBoard, 1(2), 2004

2. Martin Fowler. 2010. Domain Specific Languages (1st. ed.). Addison-Wesley Professional.

3. Kelly, S., and Tolvanen, J.-P. 2008. Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation. Wiley.

4. El Kouhen, A., Dumoulin, C., Gérard, S., and Boulet, P. 2012. Evaluation of Modeling Tools Adaptation. CNRS HAL.

5. Kelly, S. 2004. Comparison of Eclipse EMF/GEF and MetaEdit+ for проблемно-орієнтованих мов. In Proceedings of the OOPSLA & GPCE Workshop on Best Practices for Model Driven Software Development.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.032

АВТОНОМНІ СИСТЕМИ: КОГНІТИВНІ ОБЧИСЛЕННЯ НА ЗАСАДАХ ПАРАДИГМИ ГРАНИЧНИХ УЗАГАЛЬНЕНЬ

Прокопчук Ю.О. д.т.н., доцент

Інститут технічної механіки НАН України, Україна

Вступ. Дослідження в області автономних систем, зокрема когнітивних технічних систем (КТС) зосереджені на розробці машин, роботів та систем, які здатні автономно сприймати навколишнє середовище і взаємодіяти з ним, як жива істота. Ця область досліджень включає такі області, як штучний інтелект, кібер-фізичні системи, робототехніка, когнітивні мережі, машинне навчання, обробка зображень і комп'ютерна графіка, моделювання і т.д. [1 - 5] У доповіді розглядається математичне і програмне забезпечення критично важливих цілеспрямованих систем, для яких важлива гнучкість в умовах обмежених ресурсів і радикальної невизначеності, але неприйнятні відмови функціонування. Обґрунтовується необхідність глибокої інтелектуалізації автономних критичних систем космічного призначення [3]. Особливої актуальності дана проблематика набула у зв'язку з міжнародним проектом «Місячне село» (Moon Village), в реалізації якого активну участь бере і Україна.

Перспективність такого підходу підтверджує американська компанія Intuitive Machines, яка розробляє декілька пристроїв для дослідження Місяця (NASA доручила їй доставити на Місяць п'ять наукових інструментів; рік запуску 2021). Всі ці пристрої відносяться до класу КТС. Інші приклади КТС космічного призначення [1, 2]: IBM Watson IoT, CIMON - перший асистент зі штучним інтелектом в космосі (використовує IBM Watson); кооперативні та когнітивні архітектури для супутникових мереж, когнітивні супутникові сузір'я. PhD автора (1987 р) присвячена розробці крокуючих роботів для дослідження інших планет.

У 2020 році NASA була розроблена уточнена таксономія технологій [1], яка включає сімнадцять окремих дорожніх карт технологічних областей (Taxonomy Areas - TX), зокрема «TX10: Автономні системи» (10.1 Ситуаційна та самосвідомість; 10.2 Розум і дія; 10.3 Співпраця та взаємодія; 10.4 Техніка та цілісність). Розроблено «Платформу NASA для автономних систем» (NASA

Platform for Autonomous Systems – NPAS). Головною метою NPAS є забезпечення можливості багаторазового впровадження розподілених ієрархічних автономних операцій та фундаментальних можливостей на підтримку цілей Програм Gateway та Artemis. Важливо відзначити, що розвиток перспективних технологій НАСА призводить до появи додатків для населення в цілому, включаючи пристрої, що поліпшують здоров'я, медицину, транспорт, промисловість, громадську безпеку і споживчі товари.

Основний матеріал. Однім з головних напрямків дослідження є забезпечення максимальної автономізації функціонування складної системи космічного базування, що відповідає зокрема, загальній стратегії NASA. Розроблено загальну схему інформаційної моделі розподіленого багатоагентного обчислювального інтелекту автономної космічної системи на засадах когнітивного підходу [3]. Запропоновано новий клас моделей складних адаптивних систем космічного базування – «когнітивні технічні системи» [3]. Вивчені їх властивості. Одна з головних властивостей – це існування багато-масштабного фазового простору, який породжується мережами начерків значень тестів, задач та образів [5]. Наведемо приклад когнітивних обчислень в рамках «парадигми граничних узагальнень» (ПГУ) [4, 5].

Будь-яке число-значення будь-якого тесту має множинну інтерпретацію, що дозволяє визначити таку динамічну суб'єктивну сутність як «когнітивне число» (ког-число / cog-number). Приклад інтерпретації: «Температура тіла = 38°C» → «Темп. висока» → «Темп. неНорма». На рисунку 1 в динаміці показана структурна (фрактальна) інфляція - генерація сенсу - когнітивного числа x деякого тесту A.

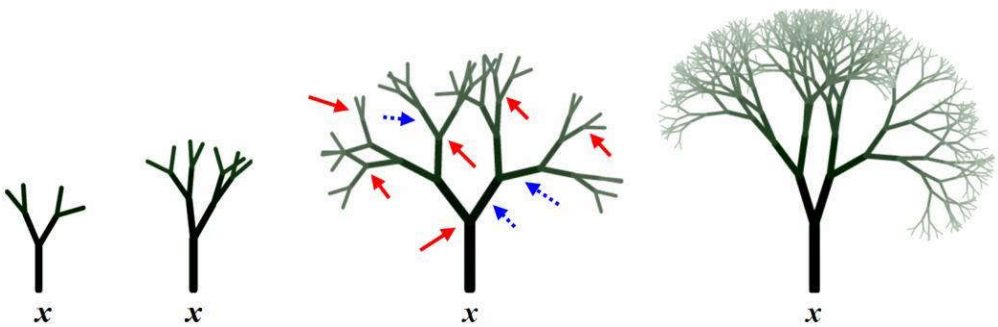


Рисунок 1 - Структурнаінфляціякогнітивногочисла x

Вузли 'дерева' / мережі начерків задають внутрішню інтерпретацію початкового числа / значення. В процесі суб'єктивної інфляції ког-число «зростає». На середньому зображенні для прикладу показані індуктори, які також «дозрівають» в процесі накопичення досвіду і є частиною ког-числа [5]. Причому індуктори є і для вузлів і для зв'язків (стрілки різного кольору і типів). Індуктори реалізують інтуїцію. Порівняйте концепції «ког-числа», «нечіткого числа», «р-адичного числа» і «сірого числа». Будь який природний сенсор формує ког-числа або ког-знаки.

На кожній стадії розвитку версії ког-числа формально відрізняються між собою (мають різну схему інтерпретації або схему смислового моделювання). За схожою причини ког-числа х близьких за змістом тестів відрізняються у різних суб'єктів.

Візуалізація ког-числа нагадує деревовидні р-адичні структури (застосування даних структур до психоаналізу розвивав, наприклад А.Ю.Хренніков), але суть їх абсолютно різна. Хренніков розглядав «р-адичну систему духовних координат». В рамках ПГУ роль «духовних / ментальних координат» виконують мережі начерків.

Описуючи стан довільної динамічної системи вектором когнітивних чисел, отримаємо ПГУ-концепцію багато-масштабного фазового простору динамічної системи. Кожен масштабний рівень формує свій малюнок поведінки динамічної системи на основі власної фізики [5].

Кожне ког-число в рамках заданого тесту має власну мережу начерків-інтерпретацій. Об'єднавши в кожен момент часу мережі начерків всіх чисел-значень тесту А, отримаємо загальну мережу начерків тесту, яку, в ряді випадків, можна представити у вигляді орграфу доменів тесту G(A) (приклад на рис. 2; кола - це домени, знизу вгору йде узагальнення; базовий/нижній домен числовий) [5]. Більш детально даний вид мереж начерків розглядається в новій монографії «Інтуїція: досвід формального дослідження» (2021 рік). Інфляція орграфу доменів означає інфляцію задач розрізнення цілеспрямованої системи. Актуалізація будь якої задачі автоматично та імпліцитно запускає всі узагальнені задачі як в дозрівання, так і в пошук рішення (концепції «континууму задач», «стріла пізнання», «штучний коннектом») [5].

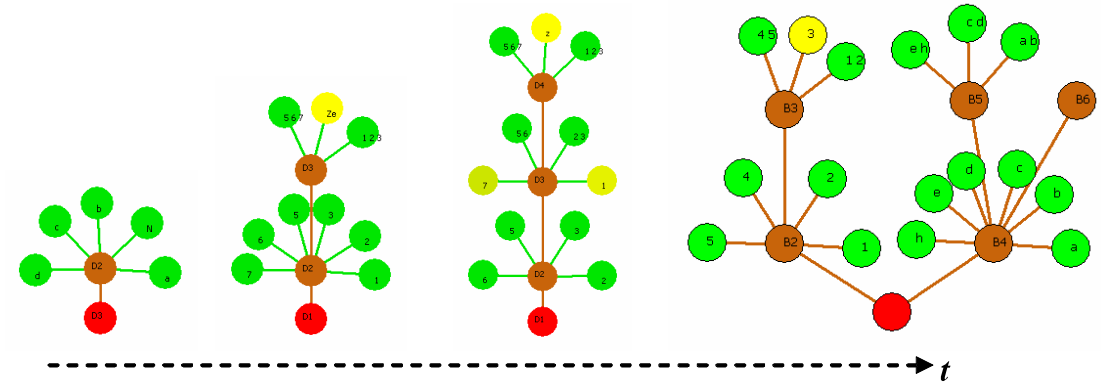


Рисунок 2 - Приклад стадій структурної інфляції орграфу доменів тесту G(A)

Орграф значень/доменів тесту або мережа радикалів позиціонується як найпростіша знаннєва (когнітивна) структура/архітектура когнітивної обчислювальної системи (Cognitive computing systems are autonomous systems that are based on machine cognition) [5].

Висновки. Основна мета когнітивних обчислень - розробити цифрову модель, здатну імітувати процеси мислення людини. Когнітивний движок (cognitive engine) відповідає за реалізацію функціональності когнітивної системи. У доповіді обговорюється нова методологія побудови когнітивної операційної системи (COS), яка заснована на парадигмі граничних узагальнень. Методологія включає машину аналізу та інтеграції даних, що імітує людську інтуїцію. Основою COS є «штучний коннектом - когнітом» КТС, який забезпечує тотальний аудит, м'яке вимірювання та прогноз інформаційних потоків. Основне завдання COS - забезпечити максимальну гнучкість, швидкість реакції і живучість в умовах обмежених ресурсів, деградації і радикальної невизначеності (коли невідомі статистичні закономірності).

Література / References

1. 2020 NASA Technology Taxonomy https://techport.nasa.gov/view/taxonomy

2. Girimonte D., Izzo D. (2007). Artificial Intelligence for Space Applications. In: Schuster A.J. (eds). Intelligent Computing Everywhere. London: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-943-9_12

3. Prokopchuk Y., Ryzhkov I., Savonik O., Samoilov S. (2019). Cognitive technical systems - a strategic resource of programs for the colonization of planets. Proceedings of the 7th

International Conference "Space Technologies: Present and Future" (Dnipro, Ukraine). Dnipro: Yuzhnoye SDO. P. 193.

4. Nosov P. S., Popovych I. S., Cherniavskyi V. V., Zinchenko S. M., Prokopchuk Y. A., Makarchuk D. V. (2020). Automated Identification Of An Operator Anticipation On Marine Transport. Radio electronics, Computer science, Control, № 3 (54). P. 158–172. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-3-15

5. Prokopchuk Y.A. (2017). Sketch of the Formal Theory of Creativity. Dnepr, UA: PSACEA Press. 452 p. (in RU)

AUTONOMOUS SYSTEMS: COGNITIVE CALCULATIONS ON THE PRINCIPLES OF THE BOUNDARY GENERALIZATIONS PARADIGM

Prokopchuk Yurii

Abstract. Research in the field of Autonomous Systems focuses on the development of machines and robots that are able to perceive their environment autonomously and to interact with it like a living being. This field of research includes such areas as Autonomous Intelligent Systems, Cognitive Technical Systems, Autonomous Perception and Decision Making, Cognitive/Urgent Computation, Cyber-Physical Systems, Artificial Intelligence (AI), AI Assistants, Sense-Making Platform, Cognitive Operational Systems, Cognitive Networks/Internet, Autonomous Space Robotics, Machine Learning, Big Data Calculus, Data Science Machine Eliminates Human Intuition, and simulation. The report examines the mathematical and software support of autonomous systems. The necessity of deep intellectualization of autonomous systems for space purposes is substantiated.

Keywords: autonomous systems, cognitive technical systems, cognitive computing, the paradigm of limiting generalizations.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХРЕСТОВИНИ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ SOLIDWORKS SIMULATION

[1]Псьол С.В., к.т.н., доцент,

[2]Рудик О.Ю. к.т.н., доцент, [2]Ковбасюк А.В., магістрант

[1]Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Б.Хмельницького

[2]Хмельницький національний університет, Україна

Рульове керування машини – це вузол, відповідальний за безпеку всіх, хто перебуває у салоні. Несправності рульового керування дуже часто стають причинами важких аварій, при яких можуть постраждати учасники дорожнього руху. Тому водій завжди повинен реагувати на найменші зміни в роботі механізмів машини, а у випадку, якщо дають збій органи керування, реакція повинна бути негайною.

Хрестовина рульового вала автомобіля – це деталь вузла, який задає необхідний напрямок руху. Її руйнування або зношення можуть бути причиною аварії. Несправностями хрестовини служать наступні ознаки: великі зусилля для повороту рульового колеса; уповільнені повороти коліс; ривок руля при обертанні; сторонні шуми на нерівних дорогах.

Проблема в тому, що на механізм впливають наступні фактори: постійна вібрація, скачки температури, тертя й вологість. Гумові ущільнювачі втрачають свою еластичність, засохле мастило стає середовищем часток бруду й вологого конденсату. У свою чергу зношуються та іржавіють голки підшипників. При цьому зазор у незначні десяті міліметра, який є причиною неприємного акустичного ефекту, створює люфт і погіршення керованості.

Задача дослідження – визначити деформацію хрестовини рульового керування автомобіля Іж-2126, та, на основі цього, її працездатність та можливі причини виходу з ладу.

Для визначення полів пружних деформацій і напружень в об‘ємі хрестовини був обраний метод скінченних елементів (МСЕ). Даний метод широко використовується на практиці через прийнятну точність розв'язку, можливістю опису криволінійних границь областей, врахування граничних

умов різних видів, одержання розв'язків у всіх розрахункових вузлах, швидкістю розрахунків пружних параметрів у досліджуваній області [1, 2].

Область ділиться на плоскі або об'ємні елементи, у яких невідомий розподіл характеристик апроксимується поліномами різного ступеня. За допомогою системи лінійних алгебраїчних рівнянь проводяться розрахунки значень пружних напружень і деформацій у кожному вузлі сітки скінченних елементів. Значення даних характеристик у будь-якій точці обраної області будується методом апроксимації.

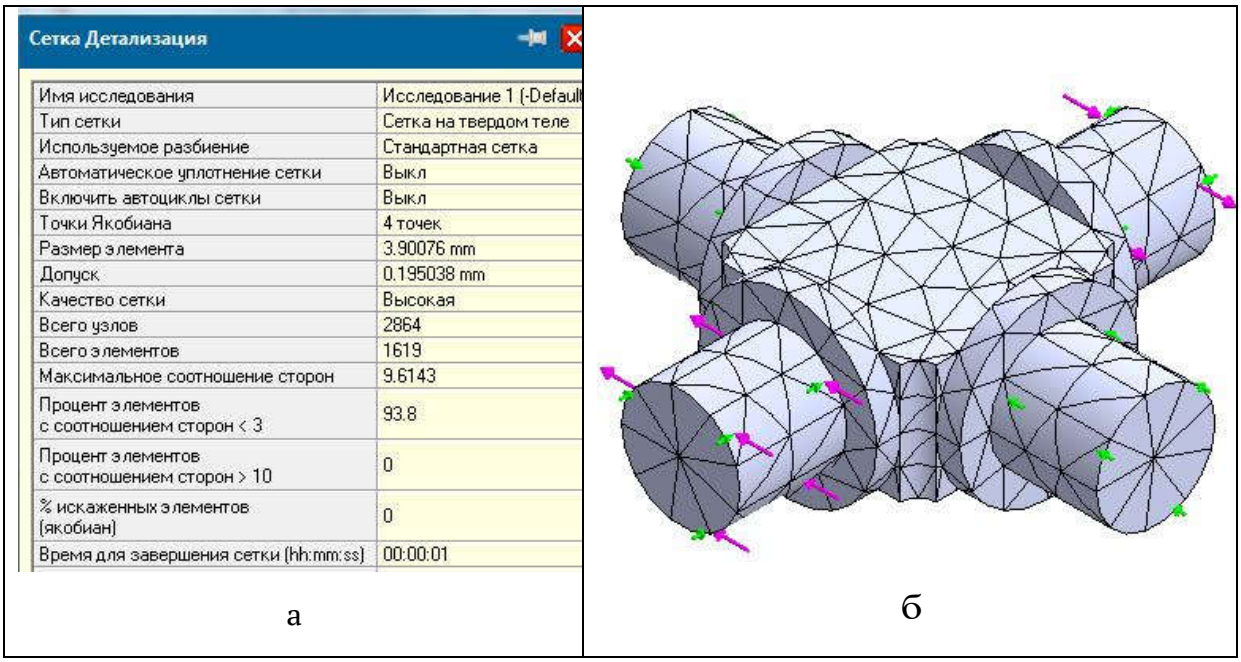
Розбивка області на елементи – перша процедура етапу виділення скінченних елементів. Від якості розбивки багато в чому залежить точність одержуваних результатів. Наприклад, розбивка на двовимірні елементи, близькі за формою до рівносторонніх трикутників, забезпечує кращі результати порівняно з розбивкою на витягнуті за формою трикутні елементи. Можливість легко варіювати розмірами елементів – важлива властивість МСЕ (остання дозволяє враховувати концентрацію напружень, температурні градієнти, різні властивості матеріалу досліджуваного об'єкта тощо). Розбивка області на елементи починають від границі з метою найбільш точної апроксимації форми границі, потім проводиться розбивка внутрішніх областей. Часто розбивку області на елементи проводять у кілька етапів. Спочатку область розбивають на досить великі підобласті, границі між якими проходять там, де змінюються властивості матеріалу, геометрія, прикладене навантаження та ін. Потім кожна підобласть розбивається на елементи. Різкої зміни розмірів скінченних елементів на границях підобластей намагаються уникати.

Формування й розв'язок системи лінійних рівнянь складає основну частину МСЕ. До переваг МСЕ, реалізованого в середовищі SolidWorks [3, 4], слід віднести певну гнучкість, що дозволяє враховувати складні граничні умови, наочність представлення отриманих результатів, а також широкий вибір інструментів візуалізації.

До недоліків відносять деяку складність програмної реалізації, необхідність створення сітки елементів у всій області, що вимагає великого об‘єму комп'ютерної пам'яті. Труднощі, які виникають при розв'язку системи

рівнянь, іноді перешкоджають використанню МСЕ для дослідження напружено-деформованого стану в складних об'єктах.

Прийнято: сила на рульовому колесі – 120 Н; передаточне число рульового механізму – 20,3; тому діюча на шипи хрестовини сила – 2436 Н. Для виготовлення хрестовини з бібліотеки SolidWorks вибрано сталь 40 ГОСТ 535-88 ($\sigma_т$ = 275 МПа). Параметри сітки та її відображення на хрестовині наведено на рис. 1.



Сетка Детализация

Имя исследования	Исследование 1 (-Default
Тип сетки	Сетка на твердом теле
Используемое разбиение	Стандартная сетка
Автоматическое уплотнение сетки	Выкл
Включить автоциклы сетки	Выкл
Точки Якобиана	4 точек
Размер элемента	3.90076 mm
Допуск	0.195038 mm
Качество сетки	Высокая
Всего узлов	2864
Всего элементов	1619
Максимальное соотношение сторон	9.6143
Процент элементов с соотношением сторон < 3	93.8
Процент элементов с соотношением сторон > 10	0
% искаженных элементов (якобиан)	0
Время для завершения сетки (hh:mm:ss)	00:00:01

а б

Рисунок 1 – Параметри сітки (а) та її відображення на хрестовині (б)

Результати розрахунків: при шкалі деформації 0,138621 максимальні вузлові напруження von Mises виникають у вузлі № 2711 і складають 87,8607 МПа, тобто не перевищують допустимих значень. При цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності k = 3,12996.

Максимальна деформація хрестовини складає 0,04 % (рис. 2). Отже, вона не може бути причиною погіршення працездатності рульового керування. Очевидно, саме знос шипів створює люфт і погіршення керованості.

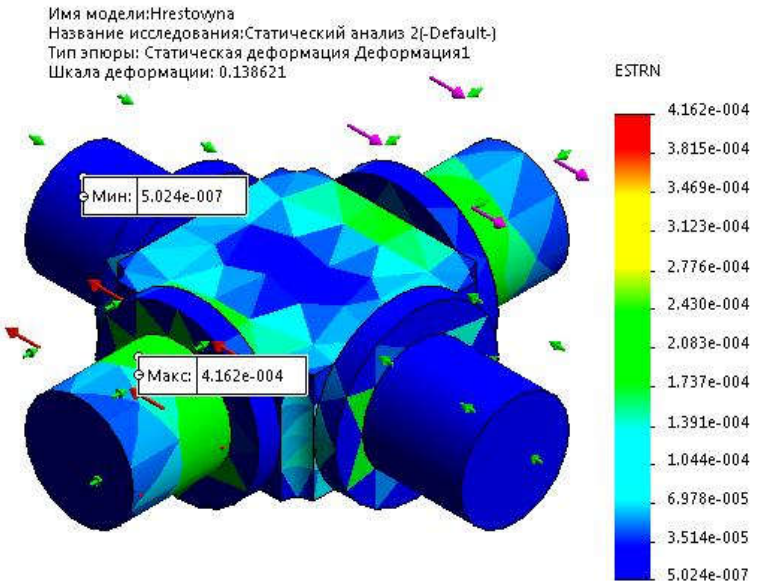


Рисунок 2 – Епюра розподілу деформації хрестовини

Отримані результати свідчать, що за даного рівня навантажень хрестовина, не дивлячись на наявність місцевих зон пластичності, зберегла несучу здатність з точки зору статичної міцності. Але дія циклічних навантажень може призвести до руйнування при досить невеликому числі циклів. Тому подальша оцінка ресурсу хрестовини повинна виконуватись з позицій малоциклової втоми.

Література

1. Рудик О. Ю. Застосування інформаційних технологій для розрахунку деталей автомобілів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, М. А. Гостімський. – Режимдоступу: http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8357

2. Рудик О. Ю.Застосуванняінформаційнихтехнологійпридослідженнітранспортних засобів [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, Д. Л. Першко. – Режим доступу: http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8559

3. Андрощук М. В. Використання SolidWorks для прогнозування міцності матеріалів [Електронний ресурс] / М. В. Андрощук, О. В. Диха, О. Ю. Рудик. – Режим доступу: http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/8468

4. Рудик О. Ю., Застосування SolidWorks Simulation для розрахунку захвата знімача підшипників [Електронний ресурс] / О. Ю. Рудик, В. С. Приведенець. – Режимдоступу: http://elar.khnu.km.ua/jspui/handle/123456789/6454

DECISION MAKING WHEN CHOOSING COMPUTER-AIDED ENGINEERING SOFTWARE

Solodka N. Master

Dorosh N. Associate Professor

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Today, solution of computer-aided design is based on the creation and implementation of computer-aided design of technical objects (CAD), which solve the whole range of tasks from task analysis to the development of complete design and technological documentation. To date, many CAD programs of various orientations, accessibility and functionality have been developed and maintained. Search for effective system that best meets the requirements of the designer is a problem, as currently there are only formal classifications of CAD by certain features.

A complete study of the design systems market requires not only time but also special knowledge. The choice of a CAD is determined in each case by the needs of the company, its scale, peculiarities of training and production, experience and qualifications of employees, etc. This choice is not as simple as it may seem at first glance. The modern consumer prefers a comprehensive solution for existing problems, including the choice of the optimal specification of software and hardware. They are also interested in their integration with each other, selection and testing of equipment, its implementation, staff training, launch of software and hardware and its further technical support. Purchase of powerful expensive systems often does not solve all the problems of design and technological services, their implementation is very difficult and, therefore, the result of investment in CAD remains negative.

Currently in the market of CAD / CAM / CAE systems there is a large range of systems that differ in cost, functionality and the degree of coverage of the design, technological and production areas of the company.

The main features of design systems, which future users pay attention to when choosing, include the following [1-3]:

– the degree of complexity in the development and the availability of all the required functions to solve the problems;

– the degree of openness of the system to configure the user interface and connect additional software modules;

– focus on a certain type of graphics;

– cross-platform – it is desirable that the system operates on different hardware and software platforms;

– conditions of access – free / fee-based, including cost;

– the ability to create specifications and support different standards of documentation;

– the possibility of integration into a single document management system of the company, including the configuration of the language functions of the region of use, etc.

In practice, there may be much more of these issues and they are all quite specific and sometimes contradictory. Therefore, currently some developers and dealers who sell software for design, are thinking about developing expert systems that will clearly define the needs of the customer when choosing a rational software tool for design. These expert systems must interactively allow the customer and the software supplier to choose the most efficient software product to solve production problems. The use of knowledge-based systems is critical in decision support [4-6]. Therefore, the purpose of this work is to develop a prototype of an expert system for the selection of CAD, which does not require additional special knowledge in the field of computer administration and provides in a short time an advice on the system most relevant to the designer's request.

When creating an expert system, data and knowledge that are accumulated in the knowledge base are used. Its implementation depends on the choice of model of knowledge representation: semantic, logical, productive or frame [7]. In the presented development the knowledge base is designed using a semantic network. The search system of the developed prototype of the ES is based on the mechanism of direct inference.

The finished software product with certain improvements can be used in educational institutions, research institutions, design departments, architectural and design studios and by individuals.

References

1. Mares, A., Senderska K. (2012), "Criteria for selecting the CAD system - How to choose CAD system", Transferinovácií. 2012. Vol. 24. pp.220-222.

2. 9 criteria for choosing a 3D CAD system. https://www.solidworks.com/sw/docs/Top9_WP_2010_ENG_FINAL.pdf

3. 3. Kannan, G., Vinay, V.P. (2008), "Multi-criteria decision making for the selection of CAD/CAM system", International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM). 2008. Vol. I2 p.151-158.https://doi.org/10.1007/s12008-008-0045-5

4. Cánovas-Segura, A. Morales, J. M. Juarez, M. Campos and F. Palacios (2019), "A lightweight acquisition of expert rules for interoperable clinical decision support systems", Knowledge-Based Systems. 2019. Vol. 167. pp. 98-113. https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.01.007.

5. Ivanova, Ye.O., Korotka, L.I. (2017), Intelektualna pidsystema diahnostuvannia zakhvoriuvan na osnovi analizu krovi [Intelligent subsystem for diagnosing diseases based on blood tests], Kompiuterne modeliuvannia: analiz, upravlinnia, optymizatsiia [Computer modeling: analysis, management, optimization], 2017. Vol. 2 (2). pp. 35-41.

6. Kuznecov, V.I., Evtushenko, G.L., Andryuhina, M.V., Kurilenko, D.A., Dubrovin, A.E. (2019), Reshenie sistemnyh zadach slozhnoj struktury s ispol'zovaniem metodov mnogokriterial'nogo analiza v SPPR NOOTRON [Solving systemic problems of complex structure using methods of multicriteria analysis in DSS NOOTRON], Sistemnye tekhnologii [System technologies], 2019. Vol. 3 (122). pp. 140-152.

7. Solodka, N. O., Polishyk, E. O., Liashenko, O. A. (2018), Vykorystannia hrafovoi ta reliatsiinoi modelei danykh pry rozrobtsi ekspertnykh system [Using the Graph Database Model and the Relational Model while Developing Expert Systems], Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu [Visnuk of Kherson National Technical University], 2018. Vol. 4(67). pp. 246-251.

МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК ДЛЯ КОНТРОЛЮ РЕГЛАМЕНТУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Спірінцев В.В. к.т.н., доцент

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Україна

Вступ. Технічна експлуатація транспортних засобів [1] є однією з найважливіших підсистем автомобільного транспорту, яка, в свою чергу, забезпечує необхідний рівень технічного стану автомобілів. Для ефективної роботи транспортного засобу необхідно постійно здійснювати їх конструктивну модернізацію та використовувати нові технологічні й інформаційні методи та підходи вибору стратегії технічної експлуатації, проведення технічного обслуговування та регламенту. Конструктивна модернізація транспортного засобу, полягає у широкомасштабному використанні комп'ютерних та інформаційних систем, які контролюють різноманітні процеси технічної експлуатації автомобілів, забезпечуючи їх інформатизацію, оптимізують та планують їх роботу, а також створюють умови для проведення моніторингу параметрів технічного стану.

Основна частина. Зараз у сучасному світі спостерігається тенденція всебічного застосування комп'ютерної техніки та технологій в різних сферах людської діяльності. Сучасний ринок пропонує безліч систем, що здатні здійснювати діагностику та контроль регламенту обслуговування транспортного засобу. Дані системи служать незамінним помічником у постачанні водія інформацією про роботу транспортного засобу в цілому, інформують про можливі дефекти, несправності вузлів і агрегатів, а також відстежують міжсервісні інтервали, які в свою чергу нагадують про необхідність своєчасного проходження технічного обслуговування автомобіля.

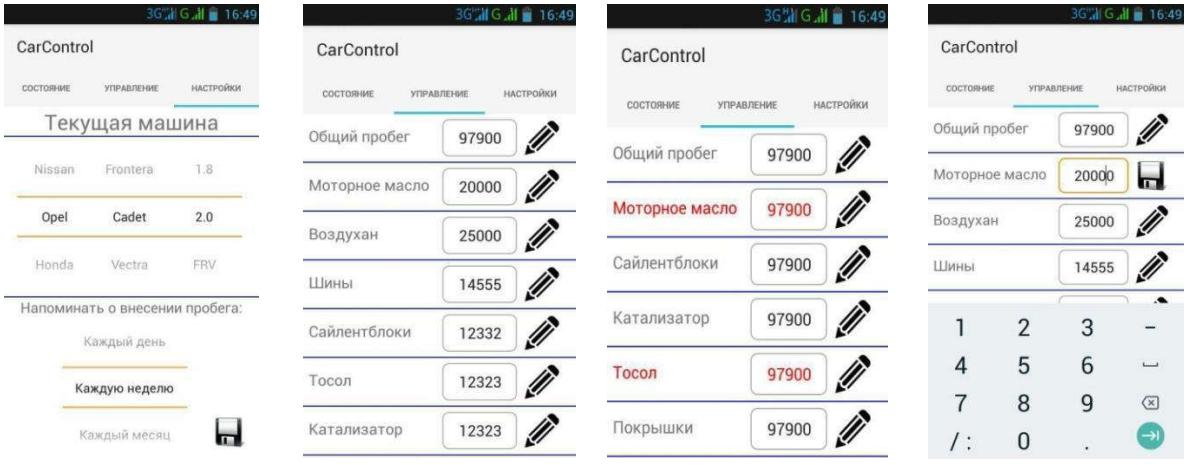
В даній роботі пропонується розроблений мобільний додаток "CarControl"на базі ОС Android (рисунок 1). Для реалізації додатку було використано: XML - розширювана мова розмітки, Typescript та фреймворк NativeScript.

Однією з головних цілей при створенні додатку була розробка простого, інтуїтивно зрозумілого, ергономічного інтерфейсу. Враховуючи це, в даному додатку пропонується три основних діалогових вікна для роботи користувача:

"Состояние", "Управление", "Настройки". Мобільний додаток дає можливість слідкувати за станом транспортного засобу та не забувати проходити планове технічне обслуговування.

Робота додатку починається з екрану "Управление" (рисунок 1,а). В ньому необхідно обрати потрібний зі списку автомобіль, для якого є власні технічні характеристики. Нижче потрібно обрати період за яким додаток буде інформувати про необхідність оновлення пробігу. Це потрібно для того, щоб програма робила розрахунки та своєчасно попереджала про необхідність заміни конкретних деталей. Усі обрані пункти потрібно зберегти натисканням на символі дискети 🖫.

На наступному екрані "Управление" необхідно ввести пробіг автомобіля, який потім потрібно буде оновлювати (рисунок 1,б). Згодом, в залежності від пробігу, додаток буде виділяти червоним кольором елементи, які потребуватимуть заміни (рисунок 1,в). Після того, як ці деталі буду замінені на нові, необхідно зафіксувати кілометраж, на якому конкретна деталь вузла була оновлена (рисунок 1,г). Для цього необхідно натиснути на символ олівця ✎, в активованому полі ввести нові дані та зберегти їх натиснувши на символ дискети.



а) б) в) г)

Рисунок1 - Користувальницькийінтерфейсмобільногододатку

Для кращого сприйняття та розуміння технічного стану транспортного засобу можна перейти до наступного екрану "Состояние", де весь автомобіль та

його основні вузли зображені графічно. Це дозволить візуально бачити чи потребують якісь елементи заміни чи ні (рисунок 2). Вузли, що вимагають заміни виділяються червоним кольором. Якщо ж в машині для жодної деталі не прийшов термін заміни, то всі елементи відображаються чорним кольором.

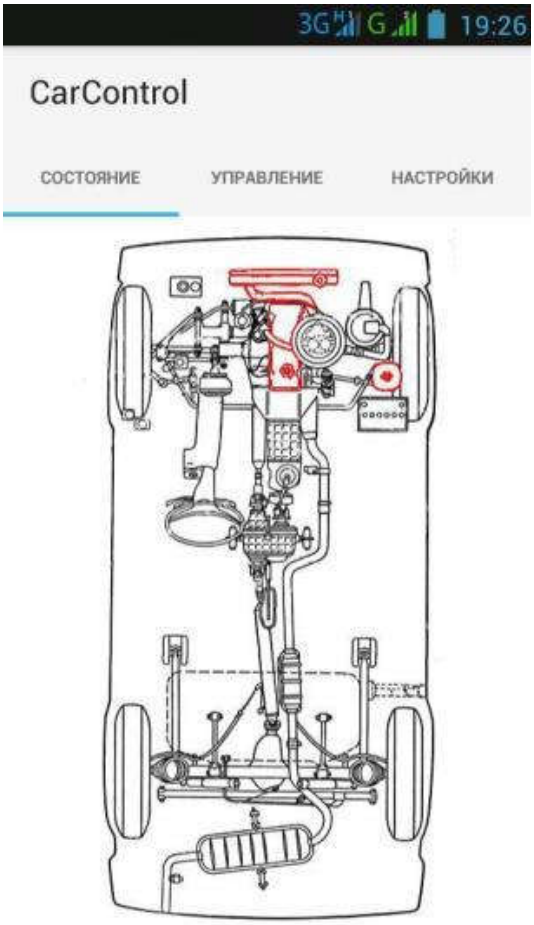


Рисунок2 - Графічневідображенняпотрібнихзамін

Висновки. В роботі запропоновано мобільний додаток, який дозволить власникам автомобілів в залежності від пробігу, без постійного звернення до сервісної книжки, контролювати технічний стан свого автомобіля. Користувач без додаткових розрахунків знатиме які елементи основних вузлів і коли необхідно замінити. Також надходитимуть нагадування про необхідність проходження технічного обслуговування й поновлення страховки.

Література

1. Мигаль В. Д. Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів: монографія / В. Д. Мигаль. Х.: Майдан, 2018. 262 с.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.033

МОДЕЛЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТІВ РОЗПОДІЛУ ЕЛЕМЕНТІВ ШИХТИ МІЖ КІНЦЕВИМИ ПРОДУКТАМИ ДОМЕННОЇ ПЛАВКИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Тогобицька Д.М., д.т.н., проф., Бєлькова А.І., к.т.н.,
Степаненко Д.О., к.т.н., Ліхачов Ю.М.

Інститут чорної металургії ім. З.І. Некрасова
Національної академії наук України

Сучасні умови доменної плавки характеризуються істотними змінами сировинних і енергетичних умов виробництва чавуну, що пов'язано з використанням пиловугільного палива і промислових відходів, що містять шкідливі домішки і лужні сполуки, які суттєво впливають на кінцеві показники плавки та стан роботи печі.

Тому опис процесів агрегатних і фазових перетворень залізорудних матеріалів і взаємодії рідких фаз у сучасних умовах плавки являється необхідною передумовою одержання високих техніко-економічних показників та якісного чавуну. Прогнозування процесів розподілу елементів шихти між продуктами плавки дає можливість оперативно оцінювати показники кінцевих розплавів та виконувати на цій основі аналіз технологічної ситуації до завантаження шихти в піч і прийняти рішення щодо зміни шихтових умов, шлакового або теплового режимів плавки.

Відповідно до методики фізико-хімічного моделювання відновлювальної плавки за схемою «Шихта» + «Технологія» = «Продукти плавки» [1, 2] хімічний склад чавуну та кінцевого шлаку розраховується залежно від складу вихідної шихти і параметрів технологічного режиму на основі прогнозних моделей коефіцієнтів розподілу елементів L_E (сірки, кремнію, марганцю і заліза) між продуктами плавки, в яких частки переходу елементів в шлак розглядаються як змінні величини, що залежать від конкретних шихтових (Fш) і технологічних умов (Fт): $L_E = f$ (Fш; Fт).

Для сучасних умов роботи однієї з доменних печей України ДП№1, яка працює з використанням пиловугільного палива (119 кг/т чавуну) і природного газу (55 м3/т чавуну) досліджено вплив шихтових і технологічних параметрів плавки на показники кінцевих продуктів плавки. За фактичними даними

показників роботи печі створена вибірка даних, що включає інформацію про витрати і хімічний склад компонентів завантажувальної шихти, відповідних показників технологічного режиму плавки і показниках хімічного складу виплавленого чавуну і шлаку за добу.

Виконані раніше дослідження [2] показали доцільність використання інтегральних показників шихти Кш і температурно-дуттьового режиму Кт для прогнозування коефіцієнтів розподілу елементів шихти між продуктами плавки. Інтегральний показник якості доменної шихти Кш включає поєднання співвідношень оксидів шихти і параметрів первинних розплавів, що характеризують агрегатні перетворення і відновлення матеріалів в печі: $Fe_{об}/SiO_2$– показник багатства шихти; CaO/SiO_2 - основність шихти; MgO/SiO_2, Al_2O_3/SiO_2, R_2O/CaO – магнезіальний, глиноземний і лужний модулі шихти; $T_{нф}$, $T_{кг}$– температури фиільтрації через коксову насадку і краплинного просочування первинного шлакового розплаву, °С; $FeO_{пш}$– зміст FeO у первинному шлаковому розплаві, мас. %; Δе та ρ– хімічний еквівалент та показник стехіометрії шлакоутворюючої частини шихти.

Для оцінки впливу технологічних умов роботи печі використовуються теоретична температура горіння коксу біля фурм Tt, ступінь використання газу η_{co}, довжина фурменої зони $L_{ФЗ}$, а також температурний індекс печі ТІП, який визначається на основі даних температур горіння Tt, колошникового газу Ткг, чавуну Тч і дуття Тд: $ТІП^* = \frac{2500 - Tt}{T_{КГ}} \bullet \frac{1550 - Тч}{1250 - Тд}$ [1].

На рис. 1-2 представлені деякі залежності, що відображають найбільший ступінь впливу показників шихти і температурно-дуттьового режиму на формування кінцевих продуктів доменної плавки.

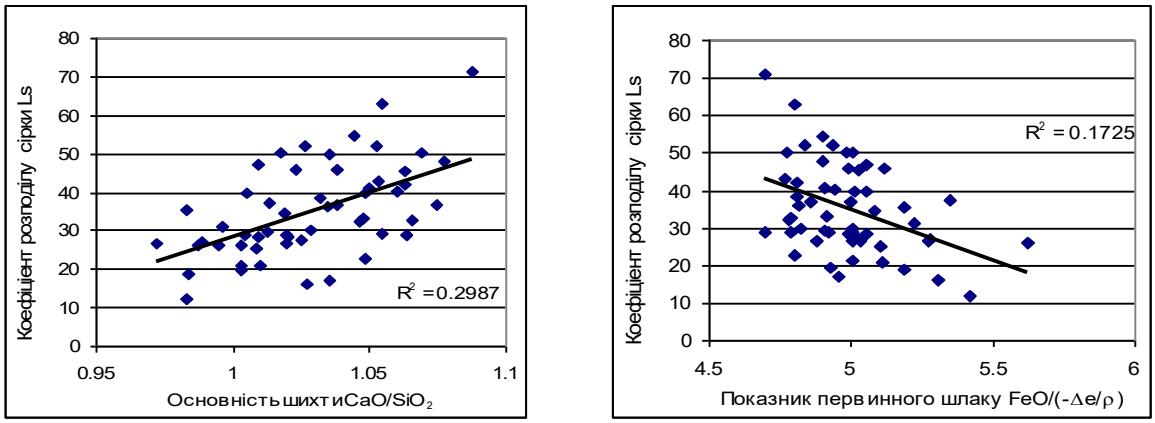


Рисунок1 - Впливпоказниківзавантажувальної доменноїшихтинакоефіцієнт розподілусірки для умов роботи ДП №1

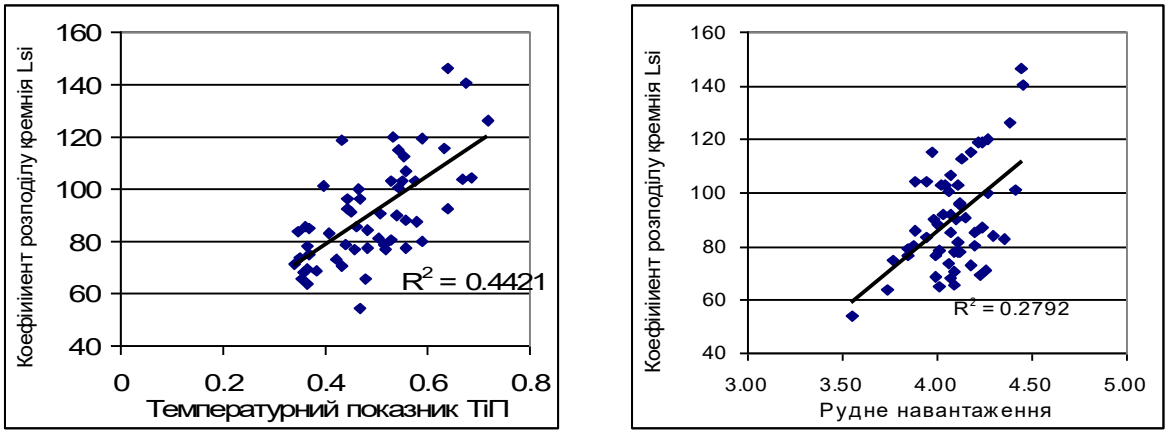


Рисунок 2 - Впливпоказниківтемпературно-дуттьовогорежиму накоефіцієнт розподілукремнію для умов роботи ДП №1

З використанням математичного апарату узагальненої функції бажаності Харрінгтона і на підставі виявлених зв'язків показників шихти з коефіцієнтами розподілу сірки і кремнію між продуктами плавки розроблено аналітичну залежність для інтегрального показника якості шихти Кш:

$$K_{Ш} = \left(\frac{Fe_{об}}{SiO_2}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{CaO}{SiO_2}\right)^{0,22} \left(\frac{Al_2O_3}{SiO_2}\right)^{0,13} \cdot \left(\frac{MgO}{SiO_2}\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{R_2O}{SiO_2}\right)^{0,2} \cdot \left(\frac{T_{кт}}{T_{нф}}\right)^{0,06} \cdot \left(\frac{FeO_{пш}}{-\Delta e/\rho}\right)^{0,19} \quad (1)$$

Аналогічним підходом отримана аналітична залежність для розрахунку Кт від вищеназваних показників технологічного режиму плавки:

$$Кт = ТІП^{0,5} \cdot \eta_{CO}^{\ 0,2} \cdot L_{ФЗ}^{\ 0,3} \quad (2)$$

На основі виявлених закономірностей і отриманих оцінок впливу для умов роботи ДП№1 отримано аналітичні залежності для прогнозного розрахунку коефіцієнтів розподілу елементів у вигляді рівнянь:

$$Ls = (P/K)^{0.15} \cdot Кш^{0,5} \cdot Кт^{0,35}; \quad (3)$$

$$Lsi = (P/K)^{0.33} \cdot Кш^{0,15} \cdot Кт^{0,52}, \quad (4)$$

$$Lmn = (P/K)^{0.2} \cdot Кш^{0,35} \cdot Кт^{0,45} \quad (5)$$

де Р/К – рудне навантаження.

Частка впливу кожного показника на розподіл елементів шихти виражена у вигляді відповідного ступеня. Зокрема, вміст сірки в чавуні в першу чергу визначається хімічним складом шихти і шлаку, а також тепловим станом печі, що відображено у відповідних значеннях ступеня при показниках Кш і Кт . На вміст кремнію в чавуні в більшій мірі впливає дуттьовий режим: температура і вологість дуття, а також рудне навантаження на кокс і в меншій мірі склад шлаку.

Таким чином, розроблена методика розрахунку коефіцієнтів розподілу елементів шихти між продуктами плавки з використанням інтегральних критеріїв шихти і температурно-дуттьового режиму підтвердила доцільність її використання в сучасних умовах роботи доменних печей України. Так, для умов роботи доменної печі з використанням у шихті вторинної сировини (брикетів, марганцевого концентрату і т.д.), а також заміною частини природного газу пиловугільним паливом отримано аналітичні залежності для розрахунку коефіцієнтів розподілу елементів шихти між чавуном і шлаком. Це забезпечує прогнозний розрахунок хімічного складу чавуну та шлаку при вирішенні завдання обгрунтованного вибору складу шихти в конкретних шихтових і технологічних умовах плавки. Такий підхід до розрахунку складу чавуну та властивостей шлаку залежно від конкретних сировинних і технологічних умов на основі використання комплексних показників шихти й технології відрізняється від відомих підходів, що базуються на коефіцієнтах розподілу, заданих константами.

Література

1. Тогобицкая Д.Н., Выбор состава доменной шихты, обеспечивающего направленное формированиежидкихпродуктов доменной плавки / Д.Н. Тогобицкая, А.И. Белькова, Д.А. Степаненко // Металлургическая и горнорудная промышленность. Днепропетровск. 2016. № 3. С. 11-18.

2. Togobitskaya D. N. Experience of Using the Integral Indicator of the Domain Charge in Selecting the Basic Mode of the Domain Melt / D. N. Togobitskaya, A.I. Bel'kova, I.G. Murav'eva,D.A.Stepanenko // Steel in Translation. -2018. -Vol. 48. -№. 10. -Pp. 652-658.

MODELING OF DISTRIBUTION COEFFICIENTS OF CHARGE ELEMENTS BETWEEN FINISHED PRODUCTS OF BLAST FURNACE SMELTING IN MODERN CONDITIONS

Togobitskaya D.N., Bel'kova A.I., Stepanenko D.A., Likhachev Yu.M.

Abstract. The results of using the developed methodology for predicting the distribution coefficients of the charge elements between the products of blast-furnace smelting based on the calculation of the integral parameters of the charge and the temperature-blowing regime for modern operating conditions of one of the blast furnaces in Ukraine are presented. The proposed approach differs from traditional methods of considering the distribution coefficients of charge elements as constant values and provides a predictive calculation of the chemical composition of cast iron and slag depending on specific charge and technological conditions when solving the problem of a reasonable choice of the composition of the blast furnace charge.

Key words: blast furnace charge, cast iron, slag, sulphur and silicon partition coefficients, forecast model, technological regime parameters.

References

1. Togobitskaya DN, Selection of the composition of the blast-furnace charge, providing directional formation of liquid products of blast-furnace smelting. Togobitskaya, A.I. Bel'kova, D.A. Stepanenko // Metallurgical and mining industry. Dnepropetrovsk. - 2016. - No. 3. - S. 11-18.

2. Togobitskaya D. N. Experience of Using the Integral Indicator of the Domain Charge in Selecting the Basic Mode of the Domain Melt / D. N. Togobitskaya, A.I. Bel'kova, I.G. Murav'eva,D.A.Stepanenko // Steel in Translation. -2018. -Vol. 48. -№. 10. -Pp. 652-658.

СЕКЦІЯ 5

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА

SECTION 5

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES AND ORGANIZATION OF MODERN PRODUCTION

ISSN-online 2708-0102

ОЦІНЮВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІОНІЗАЦІЇ ПОВІТРЯНОГО СЕРЕДОВИЩА В РОБОЧИХ ЗОНАХ

Біляєв М.М. д.т.н.[1], Русакова Т.І. д.т.н.[2]

[1]Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Україна

[2]Дніпровський національний університет імені О. Гончара, Україна

Проблема збереження здоров'я робітників на підприємствах – є надзвичайно вагомою в галузі охорони праці, особливо для промислових підприємств. Оскільки одним із основних принципів державної політики у сфері охорони праці є повна відповідальність роботодавця за створення належних безпечних і здорових умов праці працівників, тому забезпечення нормативних параметрів повітряного середовища в робочих зонах є актуальною задачею на сьогодні. Як відомо, шкідливі та небезпечні чинники, які виникають на території промислових підприємств, обумовлені виробничою спрямованістю цих підприємств, тому необхідні методи оцінки та прогнозування параметрів повітряного середовища в робочих зонах працівників [1]. Правильна оцінка якості повітряного середовища дає можливість спрогнозувати рівень хронічних захворювань у робітників, а відповідно і керувати цим ризиком за рахунок технічних засобів, що знижують вплив шкідливих факторів на працівника.

Забезпечення іонізації повітряного середовища в робочій зоні є одним із найважливіших чинників підтримання доброго самопочуття й високої працездатності персоналу. Установлено, що значне зниження вмісту заряджених частинок (іонів) у повітрі впливає на появу в працівників підвищеної хворобливості, скарг на втому, депресію, нудоту, безсоння, дратівливість, респіраторні порушення й ін. У той же час перебування людей в умовах із помірно підвищеною іонізацією атмосфери, за переважання кількості негативних іонів, навпаки, має сприятливий вплив на організм.

Метою даної роботи є розробка інформаційних технологій для оцінювання та покращення безпеки праці сучасного виробництва, а саме розробка програмного забезпечення для оцінки, аналізу реальних ситуацій відносно аероіонного режиму в повітрі робочих зон, що може сприяти

отриманню необхідної інформації для розробки та використання засобів захисту.

В роботі запропоновано новий метод прогнозування та оцінки аероіонного режиму в робочих зонах на відкритій території промислових підприємств, який базується на тривимірному моделюванні розповсюдження аероіонів, дозволяє враховувати взаємодію аероіонів різної полярності та пилу, наявність перешкод в робочих зонах, нерівномірність поля швидкості повітряного потоку та турбулентну дифузію.

Цей метод використано для розв'язання задачі з оцінки аероіонного режиму в робочих зонах на відкритій місцевості промислового майданчика при наявності різних джерел емісії аероіонів та пилу. В даному випадку утворення позитивних аероіонів відбувається за рахунок автотранспорту, що рухається по території заводу та дихання людей, що там працюють. Виникнення пилу обумовлюється внаслідок руху автотранспорту, а утворення негативних аероіонів – за рахунок дії іонізатора, який встановлено в робочій зоні. На даній території майданчику розміщуються екрани, що змінюють аеродинаміку руху аероіонів та пилу.

Проведено низку обчислювальних експериментів, в наслідок яких виявлено закономірності зміни концентрації аероіонів та пилу на висоті 1,7 м, що відповідає розташуванню органів дихання робітників. Гранично допустима концентрація пилу становить $ГДК_{с.д.}$ = 0,15 мг/м^3, тому концентрація пилу в цій зоні перевищує $ГДК_{с.д.}$ на 20 %. Оптимальний рівень позитивних аероіонів складає 1 500–3 000 іонів/см^3, максимально допустимий рівень – 50 000 іонів/см^3, у робочій зоні спостерігається перевищення допустимого рівня на 10 % [2].

Розроблений математичний метод прогнозу можна застосовувати для оцінювання концентрації аероіонів різної полярності й пилу.

Метод реалізовано у вигляді прикладної програми для розрахунку аероіонного режиму в робочих зонах на відкритій місцевості промислових майданчиків. Метод не прив'язаний до конкретного промислового майданчика і дозволяє оцінити значення концентрації аероіонів як локально, так і в усій розрахунковій зоні. Результати розрахунків корисні як для забезпечення

допустимих умов праці на робочих місцях промислових майданчиків, так і під час створення нових робочих місць.

Література

1. Numerical and experimental study on airborne disinfection by negative ions in air duct flow / P. Zhou, Y. Yang, G. Huang, A. C. K. Lai // Building and Environment. – 2018. – Vol. 127. – P. 204–210.doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.11.006

2. Rusakova T. I. Method for predicting parameters of the aeroionic mode in open terrain ground areas. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2019. Вип. 3 (81). С. 16–26. ISSN 2307-3489, DOI:10.15802/STP2019/170273

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.034

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДЛЯ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ДІАГНОСТИКИ СТАНУ МЕРЕЖІ

Глоба Н.І. магістр, Дмитрієва І.С. к.т.н., доц.

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна

Головне призначення електроенергетичних систем полягає у забезпеченні надійного постачання споживачів електричною енергією нормованої якості та у необхідних обсягах за умови мінімально можливих витрат.

Сучасні електроенергетичні системи відносяться до класу великих людино-машинних систем кібернетичного типу, оскільки характеризуються великою кількістю регульованих параметрів. Це означає, що задачі управління енергосистемами є нетривіальними і у більшості практичних випадків визначити оптимальний розв'язок таких задач неможливо. В умовах оперативного управління режимами енергосистем це пов'язано із жорстким обмеженням часу для прийняття рішення, а під час прогнозування перспективних режимів та проектування розвитку енергосистем – із невизначеністю та неоднозначністю вихідної інформації, наприклад, даних про перспективні навантаження енергосистеми [1].

Правильно побудована експертна система дозволить зменшити кількість потенційних помилок у прийнятих рішеннях.

В основі експертної системи лежить база знань про конкретну предметну область, яка повинна накопичуватися в результаті побудови та експлуатації ЕС.

Розподілена електрична мережа за своєю структурою нагадує граф. Прикладом завдання, яке необхідно розв’язати за допомогою автоматизованої системи, може бути вибір маршруту перепідключення електромережі для відновлення роботи системи.

На наш погляд, більш ефективним для даної задачі буде використання алгоритм обходу графа.

В рамках даної роботи було розроблено модифікованій алгоритм Дейкстри.

Мета модифікації полягає в підвищенні ефективності запропонованого рішення, можливість роботи в зваженому графі і виключення помилок під час

пошуку альтернативного шляху. Цей результат досягається шляхом запам'ятовування всіх зв'язкових вузлів і прорахунку мінімальних маршрутів до всіх вершин, з урахуванням ліній, що знаходяться в стані аварії.

Модифікований алгоритм показав більшу ефективність в порівнянні з іншими алгоритмами, що розглядались, тому на базі його в подальшому реалізовано прототип експертної системи.

Література

1. Кацадзе Т.П. Експертні системи прийняття рішень в енергетиці: навч. посіб. / Т.Л.Кацадзе. – К.: ЛОГОС, 2014. – 173 с.

2. Dijkstra's shortest path algorithm [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.geeksforgeeks.org/dijkstras-shortest-path-algorithm-greedy-algo-7/

DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR CONSTRUCTION OF THE SYSTEM NETWORK STATUS DIAGNOSTICS

Globa Nazar, Dmytriieva Iryna

Annotation. Using a consulting model, it is possible to decrease information content it needs to take into account that to the controller and accelerate a decision-making process. Also the correctly built consulting model will allow to decrease the amount of potential errors in made decision. As part of this work, a modified Dijkstree algorithm was developed. The modified algorithm showed large efficiency as compared to other algorithms that was examined, that is why the prototype of consulting model is realized in future on the base of him.

Keywords: expert system, modified algorithm, electric power network.

References

1. Katsadze T.P. Ekspertni systemy pryiniattia rishen v enerhetytsi: navch. posib. / T.L.Katsadze. – K.: LOHOS, 2014. – 173 s.

2. Dijkstras shortest path algorithm [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: https://www.geeksforgeeks.org/dijkstras-shortest-path-algorithm-greedy-algo-7/

ВИКОРИСТАННЯ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ІТ БІЗНЕС МОДЕЛІ ПІДПРИЄМСТВА

Гнатушенко Вік.В., д.т.н., професор, Руденко В.П., студент,
Царик В.Ю., аспірант

Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна

Витрати на традиційні форми використання інформаційних систем і технологій на сьогоднішній момент є дуже значними: витрати на оновлення модулів програмного забезпечення, амортизацію і ремонт обладнення, заробітна плата обслуговуючого персоналу і т.п. При автоматизації будь-якої сфери діяльності найчастіше враховуються тільки явні витрати (розробка та впровадження ІС) і мало уваги приділяють прихованим витратам (експлуатаційні витрати). В зв'язку з цим бізнесу запропонована альтернативна віртуальна форма ІТ-інфраструктури, основу якої складають хмарні технології. Хмарні інформаційні технології являють собою модель майже всеосяжного і зручного мережевого доступу до загальних обчислювальних ресурсів (сервери, додатки, мережі, системи зберігання та сервіси) [1]. ІТ-галузь і, особливо, сервіси хмарних технологій можуть допомогти бізнесу адаптуватися до реалій під час пандемії, не тільки зберегти прибуток, але і, навіть, її наростити незважаючи на економічну кризу. Amazon Web Services (AWS) є популярним провайдером загальнодоступних хмар з найширшим спектром продуктів, опцій для обчислень і зберігання даних, а також послуг, які клієнт може передати під управління [2].

В роботі розроблена система з використанням AWS, яка призначена для розробки, проектування та модернізації сучасних «локальних» бізнес моделей, задля підвищення ефективності та економії ресурсів, як приклад розроблено інтернет магазин. На етапі проектування розроблено діаграму діяльності, яка відображає порядок дій об'єктів в часі та подання часових особливостей передачі і прийому повідомлень між об'єктами; розроблено Use Case (варіант використання) - сценарна техніка опису взаємодії - визначено вимоги користувача, взаємодії окремих частин (модулів) систем, описано взаємодії людей і компаній в реальному житті; розроблено контекстну модель створення інтернет магазину за методологією IDEF0 (методологія функціонального

моделювання і графічна нотація, призначена для формалізації і опису бізнес-процесів). Дана робота корисна при проектування та створенні IT бізнес моделі невеликих підприємств та організацій.

Література

1. Abdullah Alqahtani, Hina Gull. Cloud Computing and Security Issues/ Alqahtani Abdullah, Gull Hina // International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 13, Number 22. 2018. p. 16077-16084.
URLhttps://www.ripublication.com/ijaer18/ijaerv13n22_87.pdf

2. Inc. Amazon Web Services. Amazon [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://aws.amazon.com/(дата звернення: 12.02.2021)

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.035

УЛЬТРАЗВУКОВИЙ КОНТРОЛЬ ВИРОБІВ З КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Клименко С.В., Кисельов П.Г.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

В даний час питання забезпечення якості продукції, що випускається та її контролю стоїть особливо гостро. Це пов'язано, в першу чергу, з постійно зростаючими вимогами до підвищення надійності при зростаючих навантаженнях на вироби, що тягне за собою посилення технічних норм на наявність дефектів певного типу в готової продукції [1]. До найбільш перспективних матеріалів відносяться полімерні композитні матеріали (ПКМ), які все частіше застосовують в сучасному машинобудуванні РКТ, особливо в тих випадках, коли жоден інший матеріал не відповідає вимогам нової техніки. Контроль якості продукції без відповідного використання методів і засобів неруйнівного контролю та діагностики в сучасних умовах практично неможливо[2]. Щодо дефектів внутрішньої структури, найбільш результативним є саме ультразвукова дефектоскопія, яка набула широкого поширення у виробництві неруйнівного контролю металоконструкцій. Однак композитні матеріали отримують все більш широке застосування і надають виклик традиційним способам дефектоскопії. Ультразвукова дефектоскопія заснована на техніці порівняння луна-сигналів які проходять крізь контрольований об'єкт з луна-сигналами Неоднорідна структура ПКМ часто генерує шум, обумовлений розсіюванням звукових хвиль, навіть в твердих матеріалах. Однак, тріщини, площа яких наближається до діаметра променю ультразвуку, відображають сильні локалізовані сигнали і швидко детектуються. Проведено дослідження використання портативного ультразвукового дефектоскопу та визначено, що для виявлення поздовжніх тріщин або розшарувань його використання достатньо, але для більш надійного виявлення та реєстрації дефектів, повноти контролю слід використовувати автоматизовані системи ультразвукового контролю, що мають більшу чутливість та швидкість сканування, крім того дозволяють визначати розмір, площу та орієнтацію дефектних зон з можливістю побудови якісного

зображення дефектної зони для подальшої оцінки працездатності всієї конструкції з ПКМ.

Література

1. Потапов О.М. Композиты: перспективы использования в космической и ракетной технике // О.М. Потапов / Косм. наука і технології. 2015, 21;(5). С. 69-74

2. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов: ГОСТ 18353-79. – [Чинний від 1980-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1994. – 12 с.

3. Актуальные проблемы авиации и космонавтики – 2015. Том 2 с.78-79

ULTRASOUND INSPECTION OF COMPOSITE MATERIAL PRODUCTS

Klymenko Svitlana, Kuselyov Pavel

Abstract. Polymer composite materials are used in modern rocket and space engineering, but the question of technical diagnostics of such products is very acute. The study of PCM products showed that the use of a portable ultrasonic flaw detector with high-frequency transducers is possible, but on small particles (product areas) of control.

Keywords: polymer composite materials (PCM), ultrasonic control, rocket and space technology (RST), non-destructive testing (NDT).

References

1. Potapov O.M. Kompozity: perspektivy ispolzovaniya v kosmicheskoj i raketnoj tehnike // O.M. Potapov / Kosm. nauka i tehnologiyi. 2015, 21;(5). S. 69-74

2. Kontrol nerazrushayushij. Klassifikaciya vidov i metodov: GOST 18353-79. – [Chinnij vid 1980-07-01]. – M.: Izd-vo standartov, 1994. – 12 s.

3. Aktualnye problemy aviacii i kosmonavtiki – 2015. Tom 2 s.78-79

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.036

ОЦІНКА ІНФОРМАТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ ОЧІКУВАНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИБІРОК ВИМІРЮВАНЬ З НЕВІДОМИМИ СТАТИСТИЧНИМИ ЗАКОНОМІРНОСТЯМИ

Малайчук В.П., Клименко С.В., Астахов Д.С.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

Оцінка математичних очікувань вибірок незалежних випадкових величин класична теоретична статистика розглядає як критерій їх порівняння [1]. Для проведення обчислювальних експериментів розроблено програмне забезпечення. Обчислювальні експерименти проводилися на моделях випадкових величин за трьома законами розподілу ймовірності: логістичним (симетричним), експоненційним та релєєвським (асиметричним). Проведені експерименти дозволили провести перевірку та висунути судження щодо порівняння математичного очікування коротких вибірок з невідомими статистичними закономірностями краще проводити шляхом порівняння середніх арифметичних значень вибірок, ніж медіан. При порівнянні забезпечувалось рівність математичного очікування обраних критеріїв трьох законів розподілу. Рівність дисперсії можлива тільки при застосуванні логістичного та релєєвського закону розподілу. Дослідження проводилося за наступним алгоритмом: порівняння мінімальних та максимальних значень вибіркових середніх значень та значень медіан, після чого проводився аналіз вибірок на однорідність використовуючи вибіркові середні значення з урахуванням коефіцієнту асиметрії; проводилося дослідження викидів у вибірках випадкових величин; досліджувалися мінімальні та максимальні значення медіан. На основі отриманих експериментальних досліджень отримано, що при невідомому законі розподілу ймовірності порівняння на однорідність краще проводити шляхом вибіркових середніх значень, так як вони найбільш близькі до теоретичних значень математичного очікування у порівнянні з емпіричними медіанними зі своїми теоретичними значеннями. Оскільки їх різниця говорить про їх схожість або відмінність їх законів розподілу ймовірності. Для визначення інформативності між вибірковими

медіанами та арифметичними середніми використовувався критерій Стьюдента, який показав, що найбільш інформативним є вибіркові середні.

Література

1. Кобзарь А.М. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников.М.: Физматлит, 2006. – 816с.

ASSESSMENT OF THE INFORMATIVITY OF MATHEMATICAL EXPECTATIONS OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF MEASUREMENTS WITH UNKNOWN STATISTICAL REGULARITIES

Malaychuk Valentin, Klymenko Svitlana, Astakhov Dmitry

Abstract. Conducted research evaluation of information of application of sampling medians and arithmetic mean relatively experimental sampling measurements with unknown statistical regulations. The information was compared between the sample medians and the arithmetic mean according to Student's criterion.

Key words: mathematical expectation, variance, probability distribution law, median means, random variables

References

1. Kobzar' A.M. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. M.: Fizmatlit, 2006. – 816s.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.037

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПІЗНАВАННЯ ВИБІРОК ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ВИМІРЮВАНЬ

Малайчук В.П., Клименко С.В., Лисенко Н.О.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна

При проектуванні та випробуванні технічних об’єктів інформація про їх причинно-наслідкові зв’язки міститься у вибірках експериментальних вимірювань, як правило, з невідомими статистичними закономірностями. Розуміння цих закономірностей може бути отримано шляхом комп'ютерної обробки експериментальних вимірювань. Математична статистика пропонує формування безперервних функцій розподілу ймовірностей та подальшу їх статистичну обробку.

Класична математична статистика пропонує використовувати емпіричні функції розподілу для порівняння експериментальних вибірок. Існує основні три види таких критеріїв порівняння – це двохвибіркові критерії Колмогорова-Смирнова, Катценбайсера-Хакля та Андерсона [1].

Труднощі вирішення завдань розпізнавання вибірок починаються тоді, коли теоретичні закони і функції розподілу ймовірностей невідомі. При проведенні експериментальних випробувань отримані вибірки вимірювань об’єкту можуть бути як еталонами норми, так і еталонами браку. Вибірки можуть бути короткими і тоді за ними не можна побудувати гістограм, які могли б служити моделями законів розподілу ймовірностей. У цьому випадку в якості еталонів можна формувати емпіричні функції розподілу ймовірностей і вирішувати задачі розпізнавання.

Для проведення обчислювальних експериментів розроблено програмне забезпечення. Обчислювальні експерименти проводилися на моделях випадкових величин з логістичним (симетричним) законом розподілу ймовірності. В ході експериментів досліджено ефективність вирішальних правил розпізнавання, побудованих на основі емпіричних функцій розподілу ймовірностей. Результати дослідження довели, що запропоновані технології розпізнавання стану об'єкту контролю за короткими вибірками експериментальних вимірювань є інформативними. Розроблені технології

можуть бути рекомендовані для застосування в задачах контролю та спостереження за станом технічних об'єктів.

Література

1. Кобзарь А.М. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников.М.: Физматлит, 2006. – 816с

ASSESSMENT OF THE INFORMATION OF MATHEMATICAL EXPECTATIONS OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF MEASUREMENTS WITH UNKNOWN STATISTICAL REGULARITIES

Malaychuk Valentin, Klymenko Svitlana, Lysenko Natalia

Abstract. Technologies for recognizing samples of experimental measurements with the use of empirical decision rules based on probability distribution functions have been developed and studied. Based on the results of computational experiments, conclusions are made about the effectiveness of the proposed decision rules when applying them to short samples of experimental measurements.

Keywords: computer-integrated technologies, decisive recognition rules, mathematical statistics, empirical probability distribution functions.

References

1. Kobzar' A.M. Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. M.: Fizmatlit, 2006. – 816s.

УДК 681.5.042

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЗЕРНОВОЇ СУШАРКИ БАРАБАННОГО ТИПУ

Кобрій В. В., Фешанич Л. І.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна, kobriivladimir@gmail.com

Розглядається особливості функціонування автоматизованої зернової сушарки барабанного типу. Описано переваги сучасних мобільних зерносушарок. Наведено технічні засоби автоматизації необхідні для надійного функціонування автоматизованої зернової сушарки барабанного типу.

Система сушіння зерна за допомогою нагрітого повітря була розроблена досить давно і залишається актуальним варіантом у сьогоденні [1]. Станом на 2020 рік в сільському господарстві найбільшою популярністю користуються конвективні сушарки зерна. У сушарках даного типу теплота передається нагрітим повітрям. При цьому теплота витрачається на випаровування вологи шляхом нагрівання злаку до температури випаровування води. Водяна пара поглинається повітрям і виводяться з сушарки за допомогою вентиляторів. Зазвичай великі сушарки зерна працюють за рахунок природного газу або рідкого палива, також існує багато варіацій малих сушарок, які працюють на електриці або на твердому паливі: дровах, вугіллі, біомасі та інші.

У сушарках зерна присутні 4 важливі фактори:

– Продуктивність сушарки;

– Вартість обладнання і запчастин;

– Стабільність продуктивності і гарантія безпеки для робітника;

– Простота очищення і контроль над нагріванням температури.

Сушарки зерна можна розділити на дві категорії[2]:

1) періодичної дії, коли зерно завантажується партія по кілька тонн (3-25 тонн, залежить від комплектації сушарки), у такому режимі переважно працюють мобільні сушки зерна, які швидко розкладаються і можуть транспортуватися при потребі;

2) безперервної дії, коли зерно подається постійно. У такому режимі роботи переважно працюють стаціонарні сушки. Вони великі за розмірами і призначені для великих об'ємів сировини (від 10 тонн). Якщо вологість зерна на виході з такої сушки не відповідає нормі, то його відправляють на повторну сушку.

Щоб закласти зерно на тривалий термін зберігання безпечно, його потрібно як слід просушити. Тоді його можна буде продати в найвигідніша час. Зерно навіть поліпшується, якщо грамотно підібрати режим сушіння. Майже у всіх зернових сушарках процес відбувається ідентично: один цикл складається з чотирифазного процесу: завантаження (верхнє/нижнє), сушка, охолодження і вивантаження.

Розглянемо переваги сучасних мобільних сушарок зерна.

– Рух повітря відбувається рівномірно завдяки стінкам однорідної товщини. Це зводить до мінімуму витрати енергії;

– Невеликий вентилятор втягує холодне повітря до пальника і розігріте повітря великого обсягу досягає продукту – зниження енергоспоживання;

– Перфорована сітка з нержавіючої сталі кріпиться до елементів рами оброблених гарячим цинкуванням, в рази збільшує термін служби сушарки;

– Завантажувальний лоток має велику площу. Завдяки чому завантаження зерна можна проводити з звичайних самоскидів і ковшових навантажувачів, без застосування розширювачів і накопичувальних ємностей;

– Комплект пелюсткового захисту камери сушки захищає від займання;

Можна підготувати зернові для помелу та посіву.

– Дослідимо технічні засоби автоматизації для автоматизованої зернової сушарки барабанного типу ЗС-6200.

Модель сушарки ЗС-6200 можна побачити на рисунку 1.1.

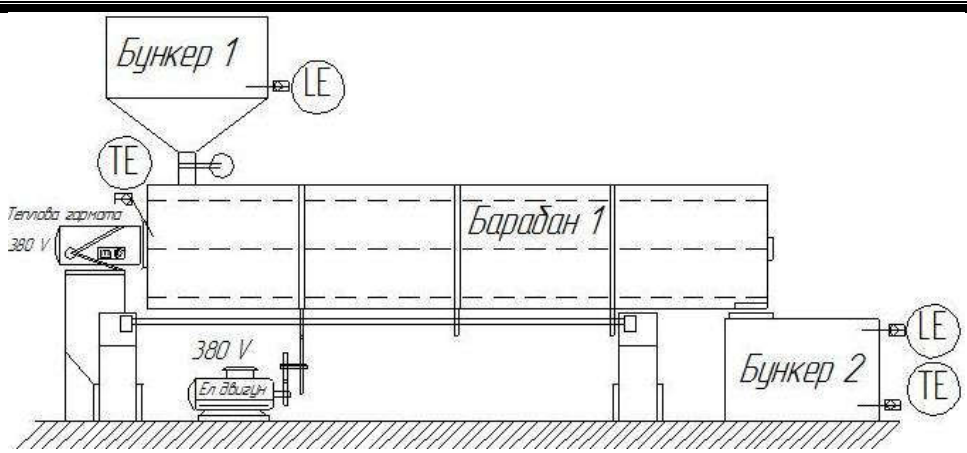


Рисунок 1 – Зернова сушарка барабанного типу ЗС-6200

Принцип роботи даної сушарки дуже простий: сира сировина (зерно з великим відсотком вологи) потрапляє у бункер 1 шляхом безпосереднього насипу. З бункеру 1 зерно подається у основну частину сушки – барабан 1. Подача зерна у барабан здійснюється за допомогою механічного клапана на вході у барабан 1. Нагрів повітря у барабані здійснюється за допомогою електричної теплової гармати Термія АО ЕВО 6,0/0,4 ТП потужністю 6 кВт. Регулювання температури здійснюється вбудованим термостатом у тепловій гарматі, відповідно до показників від мікрохвильового давача вологості M-Sens 2 (SWR engineering) який знаходиться у бункері 2 з готовим продуктом. Зерно, яке подається у барабан 1 сушиться за рахунок гарячого повітря та постійного перемішування, яке відбувається завдяки обертанню барабана 1 через привід від трифазного електричного двигуна АРІ 112 М4 5.5 кВт. Висушене зерно висипається під дією сили тяжіння у спеціальний отвір на виході з барабана 1 і потрапляє у бункер 2.

Додатковими системами якості вихідного продукту служать давачі. Мікрохвильового давач вологості M-Sens 2 (SWR engineering) у бункері 1 вимірює вологість вхідної сировини. У барабані та у бункері 2 вмонтовані термоопори ДТС хх4 для додаткового вимірювання температури, щоб переконатися, що процес проходить правильно відповідно до конкретної зернової культури.

Якщо вологість вихідного продукту не відповідає нормі, то існує 2 варіанти вирішення проблеми:

1. Відправити зерно на повторне сушіння з бункеру 2 у бункер 1.

2. Відрегулювати кут нахилу установки шляхом підйому або опускання барабана 1. Це змінити швидкість проходження зерна по установці, відповідно зміниться вихідна вологість.

Література

1. М.С. Пушкар, С.М. Проценко. Проектування систем автоматизації. Навчальний посібник.

2. Денисенко В. П. ПИД-регуляторь: принцип построения и модификацыии. Ч. 1 / В.П.Денисенко.Современныетехнологииавтоматизации.2006, №4. С. 66-74.

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСПАДКОВУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБІВ В УМОВАХ САМООРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Кусий Я.М., к.т.н., доцент, Погорілий Ю.О., студент

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

Об'єднання теоретико-експериментальних підходів дослідження фізики відмов, комп'ютерного моделювання та статистичного оброблення і аналізу експлуатаційної інформації [1] доцільно реалізовувати з єдиних синергетичних позицій для оцінки спонтанного формування структур та їх поведінки [2-4]. Раціональне керування технологічним успадковуванням властивостей виробів для забезпечення їх експлуатаційних характеристик і показників надійності в умовах самоорганізації структур служить методологічною основою проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення деталей і складання машин [1, 2]. Упорядкування стану системи пов'язано із узгодженою поведінкою підсистем, що формують єдине ціле із новими властивостями і математичним описом взаємозв'язків елементів [2-4].

Загальні закони організації та розвитку систем підлягають системному функціонально-морфологічно-інформаційному аналізу, на підставі дослідження взаємозв'язків і взаємовпливів функціонального, морфологічного та інформаційного опису [5].

Функціональні процеси у системі безпосередньо пов'язані з інформаційними, при цьому джерелом інформації для її функціонування є внутрішній ресурс і середовище, а носієм – речовина (морфологічна інформація) та енергія. Внутрішня енергія характеризує еволюцію, цілі та діяльність системи [5].

З позиції адитивності інформації I для множини R_0 N незалежних рівно імовірних реалізацій системи $R_0 \in [R_{01}; R_{0N}]$ функціональна залежність [2]:

$$I\left(\prod_{i=1}^{N} R_{0i}\right) = I(R_{01}) + \ldots\ldots + I(R_{0N}), \qquad (1)$$

має єдиний розв'язок [2, 4]:

$$I = K\ell n(R_0), \qquad (2)$$

де $K=\log_b(e)$ – константа; індекс b описує індивідуальні особливості частин або підсистем [3]; b=2 при вираженні інформації в бітах [4, 5].

Кількісною характеристикою при еволюції інформаційних потоків служить інформація на один символ і [2]:

$$i = -K \sum_{j=1}^{k} p_j \cdot \ell n(p_j), \tag{3}$$

де p_j – імовірність j-того стану системи із k можливих.

Сумарну інформацію, що характеризує перехід з одного стану системи в інший за умови безпосереднього взаємозв'язку між невизначеністю стану об'єкта та його фізичними властивостями [4, 5], визначають за формулою:

$$I = -k \cdot \sum_{j=1}^{k} p_i \cdot \ell og_b(p_i), \tag{4}$$

Взаємозв'язки між причинами та діями у системі описуються рівняннями виду $\dot{q} = F_0(q(t); t)$ [2]:

$$\dot{q} = -\gamma \cdot q + F(t), \tag{5}$$

де q – параметр, що описує дію; γ – функція затухання; F(t) – функція, що визначає зовнішній силовий вплив.

Розв'язок (5) представляє собою відклик системи на прикладене зусилля F(τ) [2]:

$$q = \int_0^t e^{-\gamma(t-\tau)} F(\tau) d\tau \ , \tag{6}$$

При ототожненні для умов самоорганізації зовнішніх сил із частинами власне системи ($F \to q_1$, $q \to q_2$), отримаємо дві підсистеми [2, 4]:

$$\dot{q}_1 = -\gamma_1 \cdot q_1 - a \cdot q_1 \cdot q_2, \tag{7}$$

$$\dot{q}_2 = -\gamma_2 \cdot q_2 + b \cdot q_1^2. \tag{8}$$

За наявності адіабатичного наближення [4]:

$$\gamma_2 \geq \gamma_1 \tag{9}$$

при $\dot{q}_2 = 0$ отримаємо розв'язок [2]:

$$q_2(t) \approx \gamma_2^{-1} \cdot b \cdot q_1^2(t) \tag{10}$$

Після підстановки (10) в (7), отримаємо:

$$\dot{q}_1 = -\gamma_1 \cdot q_1 - (a \cdot b / \gamma_2) \cdot q_1^3, \tag{11}$$

Розв'язки рівняння (11) при $\gamma_1 > 0$ і $\gamma_1 < 0$ є різними [2]:

- при $\gamma_1 > 0$ і $(a \cdot b)/\gamma_2 > 0$ отримаємо стійкий розв'язок $q_1 = 0$,

- при $\gamma_1<0$ і $(a \cdot b)/\gamma_2 > 0$ отримаємо нестійкий розв'язок $q_1=0$ і два стійких розв'язки $\pm\sqrt{\gamma_1/((a \cdot b)/\gamma_2)}$, причому згідно (11) $q_2 \neq 0$

У такому випадку q_1 є параметрами порядку підсистеми – модами, які визначають ступінь її впорядкованості та підпорядковують собі інші підсистеми [2].

Встановлено [2-4], що частина підсистем $q_j=q^{(var)} \in (j=1.....m)$ відповідає нестійким модам, а інша – $q_j= q^{(s)} \in s(j=m+1.....k;)$ – підпорядковується стійким.

При переведенні систем внаслідок самоорганізації у стан $q^{(s)}$ вплив флуктуацій та оптимізаційних критеріїв приводить до їх еволюції, причому величина флуктуації параметра порядку має вирішальне значення на характер функціонування систем [2].

В самоорганізованих системах керування її адаптивністю та надійністю забезпечується умовами формування та величинами флуктуацій за рахунок зміни кількості підсистем [4]. При адитивності величини повного виходу для підпорядкованим стійким модам інформаційних підсистем, що визначаються стійкими модами з фіксованим параметром порядку, отримаємо [2-4]:

$$q^{(s)} = q_d^{(s)} + q_r^{(s)}, \qquad (12)$$

де $q_d^{(s)}$, $q_r^{(s)}$ – відповідно чітко визначений детермінований і флуктуючий (з розсіяними характеристиками) входи.

Загальна величина виходу системи визначається за формулою [2]:

$$q_\Sigma = \sum_s q^{(s)} = \sum_{j=m+1}^{k} q_j \,, \qquad (13)$$

Повний вихід системи (13) збільшується пропорційно числу підсистем s або реалізуючих їх характеристик і критеріїв, флуктуації зростають лише як $\sqrt{s}$ (в реальних процесах пригнічення розсіювання характеристик відбувається ще інтенсивніше).

Згідно синергетичного підходу технологічне забезпечення регламентованих показників якості виробів відповідно до необхідних експлуатаційних характеристик і показників надійності реалізується обмеженою кількістю раціональних варіантів взаємодій виробу із технологічним середовищем на етапах і стадіях його життєвого циклу.

Література

1. Kusyi Ya., Stupnytskyy V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusyi, V. Stupnytskyy // Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. – P. 276-284.

2. Haken H. Synergetics An Introduction Nonequilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry, and Biology: Third Revised and Enlarged Edition / H. Haken. – Berlin:Springer-Verlag,1983. – 395 p.

3. Haken H., Portugali J. Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition / H. Haken, J. Portugali. – Berlin: Springer,2015. – 90 p.

4. Haken H. Information and Self-Organization A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition / H. Haken. – Berlin: Springer, 2006. – 258 p.

5. Ebeling W., Freun J., Rateitschak K. Entropy and extended memory in discrete chaotic dynamics / W. Ebeling, J. Freund, K. Rateitschak // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 1996. – Vol. 6, Issue 04. – P. 611-625.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.038

МОДЕЛЬ ПАРАЛЕЛЬНИХ ОБЧИСЛЕНЬ З БЕЗПЕРЕРВНИМ ЧАСОМ

Мороз Д.М.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
м Дніпро, Україна

Вступ. Паралельні обчислювальні технології розвиваються дуже швидко, а з появою обчислювальних кластерів паралельні обчислення сталі доступні багатьом [1, 2]. Створення паралельних обчислювальних систем зажадало розробки математичних концепцій побудови паралельних алгоритмів, тобто алгоритмів, пристосованих до реалізації на подібних обчислювальних системах [3, 4]. У даній роботі на прикладі розв’язку нестаціонарного рівняння конвективно-дифузійного перенесення, показана ефективність розпаралелювання обчислень на основі методу прямих.

Розробка обчислювальних схем проводилася з урахуванням наступних обставин. Температурні поля в умовах конвективного теплообміну пов'язані з полями швидкостей. У загальному випадку між полем швидкостей і температурним полем існує зв'язок, тобто розподіл температури залежить від розподілу швидкостей і, навпаки, розподіл швидкостей залежить від розподілу температури. У окремому випадку, коли масовими силами в рівняннях руху можна нехтувати, а в'язкість вважати не залежною від температури, то двосторонній зв'язок перетворюється на односторонній. Розподіл швидкостей стає незалежним від розподілу температури. В цьому випадку можна говорити про задачу тепло - і масообміну, яка розв'язується на заданому фоні динамічних полів швидкості. Відомою проблемою, що виникає при побудові різницевих схем для цього класу задач, є апроксимація нелінійних конвективних складових, що входять в ці рівняння. Теоретичні дослідження цих процесів нині значною мірою базуються на їх числовому моделюванні з використанням сучасних комп'ютерних технологій. Зокрема, застосування багатопроцесорних обчислювальних систем зумовило розвиток і методів розпаралелювання обчислень, векторизації й синхронізації обчислювальних процесів. У доповіді показано, що побудова числово-аналітичних схем з безперервним часом, по-перше, має максимальну паралельну форму, що

відповідає концепції неорганічного паралелізму, і, по-друге, є перспективним при розв'язуванні великих завдань металургійної теплофізики у поєднанні з методами розщеплювання на аналітичних рішеннях з адаптацією за часом.

Основний матеріал. Створення паралельних обчислювальних систем зажадало розробку математичної концепції побудови паралельних алгоритмів, тобто алгоритмів, пристосованих до реалізації на подібних системах. Основою побудови паралельного алгоритму може служити як послідовний алгоритм, так і задача сама по собі. При розпаралелюванні послідовного алгоритму найбільш розумним видається прагматичний підхід, а саме в послідовних алгоритмах виявляються елементи, що часто зустрічаються, які потім трансформуються в паралельну форму.

Для побудови максимально паралельних числово-аналітичних схем на підставі апріорної інформації шукана функція представляється у вигляді ряду Тейлора

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(t,x) = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon_x^n \cdot Y_{p,n+1}(t), \tag{1}$$

де

$$\begin{cases} \varepsilon_x = \dfrac{x - x_p}{x_{p+1} - x_p} \in [+1,-1], \\ Y_{p,n+1} = \dfrac{Dx1^n}{n!} \cdot \left.\dfrac{\partial Y}{\partial x^n}\right|_{x=x_p}. \end{cases}$$

Після узгодження (1) з досліджуваним рівнянням і прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях ε_x^n, отримують систему звичайних диференціальних рівнянь (СЗДР)

$$Y'_{p,n+1}(t) = \frac{(n+1)(n+2)}{Dx1^2} \cdot Y_{p,n+3}(t) \tag{2}$$

які мають форму Коши

$$Y_{p,n+1}(0) = \varphi_{p,n+1}, \tag{3}$$

де $\phi_{p,n+1}$ – відомі значення тейлоровских компонент початкової функції. Обмежимося в правій частині ряду Тейлора (1) кінцевим числом доданків $n = N$, тоді отримують

$$Y_{p+\varepsilon_x,1}(x,t) = \sum_{n=0}^{N} \varepsilon_x^n \cdot Y_{p,n+1}(t), \tag{4}$$

де N – ціле число. Щоб апроксимувати досліджуване рівняння в точці (x_p, t) введемо в розгляд замикаючі зв'язки

$$\begin{Bmatrix} Y_{p,N+1} \\ Y_{p,N} \end{Bmatrix}. \tag{5}$$

Поклавши в (4) $\varepsilon_x = \pm 1$, отримують на триточковому шаблоні систему з двох рівнянь алгебри

$$\begin{cases} Y_{p,N+1} + Y_{p,N} = \left[Y_{p+1,1} - \sum\limits_{n=0}^{N-2} Y_{p,n+1} \right], \\ Y_{p,N-1} - Y_{p,N-1} = (-1)^N \cdot \left[Y_{p-1,1} - \sum\limits_{n=0}^{N-2} (-1)^n \cdot Y_{p,n+1} \right]. \end{cases} \tag{6}$$

Знайдемо

$$\begin{Bmatrix} Y_{p,N+1} \\ Y_{p,N} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left[Y_{p+1,1} \pm (-1)^N \cdot Y_{p-1,1} \right] - \sum \phi_n^{\pm} \cdot Y_{p,n+1} \right\}, \tag{7}$$

де

$$\varphi_n^{\pm} = 1 + (-1)^{n+N}, \quad \text{N = 2, 3, 4, .} \tag{8}$$

нормуючі множники.

Порядок точності обчислень визначається утриманим значенням N. Так, при N = 2 значення $n = \overline{0,0}$ і тоді отримують

$$\begin{cases} Y_{p,2} = \frac{1}{2} \cdot \left[Y_{p+1,1} - Y_{p-1,1} \right], \\ Y_{p,3} = \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left[Y_{p+1,1} + Y_{p-1,1} \right] - 2 \cdot Y_{p,1} \right\}. \end{cases} \tag{9}$$

Після підстановки (9) в (4) отримаємо СЗДР

$$Y'_{p,1}(t) = \frac{1}{Dx1^2} \cdot \left\{ \left[Y_{p+1,1}(t) + Y_{p-1,1}(t) \right] - 2Y_{p,1}(t) \right\}, \quad p = \overline{1, 2m-1}, \tag{10}$$

де $\left\{ Y_{0,1}(t), Y_{2m,1}(t) \right\}$ – граничні функції першого роду.

Помітимо, що розвинений підхід включає звичайні скінечно-різницеві методи як окремий випадок. Так, схема (7) співпадає з класичною задачею Диріхле, а схема (10) – із задачею Неймана. Для задачі (10) характерно і те, що передача інформації на межах області в схему рахунку внутрішньої точки реалізується точно без пониження порядку апроксимації.

Розроблена процедура числово-аналітичної дискретизації досить просто узагальнюється і на інші типи диференціальних рівнянь математичної фізики.

Задавшись метою синтезувати паралельні алгоритми цього методу із співвідношень (9) витікає, що він вписується в концепцію необмеженого паралелізму. Дійсно, якщо можна призначити один процесор на один вузол розрахункової області, то стає можливим проведення розрахунків в усіх вузлах паралельно.

Висновки. Для дослідження задач тепло - і масообміну виведено відповідний клас математичних моделей. Процедура обробки математичних моделей зведена до використання числово-аналітичного підходу, що дозволило розробити ефективні алгоритми рішень коефіцієнтних задач довільного порядку точності. У доповіді наводяться результати рішення тестових завдань на основі запропонованого підходу.

Отже, побудова числово-аналітичних схем з безперервним часом, по-перше, має максимальну паралельну форму, що відповідає концепції неорганічного паралелізму, і, по-друге, є перспективним при розв'язуванні великих задач металургійної теплофізики у поєднанні з методами розщеплювання на аналітичних рішеннях з адаптацією за часом.

Література

1. Shvachych G.G. Prospects of construction highly-productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Indastry and Education : IV Intrenational Conference. May 30 – June 6. 2008, Varna, Bulgaria, 2008. Vol. 2. P. 815 – 819.

2. Швачич Г.Г., Побочий И.А., Иващенко Е.В., Сушко Л.Ф. Математическое моделирование теплофизических свойств материалов обратными методами. Вісник Херсонськогонаціональногоуніверситету. Херсон. 2019. № 2 (69). Ч. 3. С. 211 – 215.

3. Швачич Г.Г., Иващенко В.П., Іващенко О.В. Чисельно-аналітична концепція розв’язків прикладних задач на основі схем підвищеного порядку точності. Комп’ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація. Дніпро. 2017. № 1. С. 85 – 89.

4. Швачич Г.Г. Об алгебраическом подходе в концепции распределенного моделирования многомерных систем. Теория и практика металлургии. 2007. № 6(61). С. 73 – 78.

PARALLEL COMPUTING MODEL WITH CONTINUOUS TIME

Moroz Dmytro

Abstract. The aim of this work is to construct a numerical-analytical method of designing efficient algorithms for solution of tasks having the parabolic type. Using a priori information about the smoothness of solutions, great attention is paid to the construction of solutions of high -order accuracy. Creation of parallel computing systems required the development of mathematical concepts for constructing parallel algorithms, i.e. algorithms adapted for implementation in these systems. As the basis for constructing the parallel algorithm we can take both: a sequential algorithm and the task itself as well. The most sensible at parallelization of sequential algorithm is pragmatic approach; actually sequential algorithms detect common elements which further are transformed to a parallel form. It is shown, that the algorithm of numerical - analytical vectorization has the maximal parallel form and, hence, minimally possible time for realization on parallel computing devices.

Keywords: numerical-analytical method, parabolic type, solutions of high-order accuracy.

References

1. Shvachych G.G. Prospects of construction highly-productive computers systems on the base of standard technologies. Strategy of Quality in Indastry and Education : IV Intrenational Conference. May 30 – June 6. 2008, Varna, Bulgaria, 2008. Vol. 2. P. 815 – 819.
2. Shvachych G.G., Pobochiy I.A., Ivaschenko E.V., Sushko L.F. Matematicheskoe modelirovanie teplofizicheskih svoystv materialov obratnyimi metodami. VIsnik HersonskogonatsIonalnogounIversitetu. Herson. 2019. № 2 (69). Ch. 3. S. 211 – 215.
3. Shvachych G.G., Ivaschenko V.P., Ivaschenko O.V. Chiselno-analItichna kontseptsIya rozv'yazkIv prikladnih zadach na osnovI shem pIdvischenogo poryadku tochnostI. Komp'yuternemodelyuvannya: analIz, upravlInnya, optimIzatsIya. DnIpro. 2017. № 1. S. 85 – 89.
4. Shvachych G.G. Ob algebraicheskom podhode v kontseptsii raspredelennogo modelirovaniya mnogomernyih sistem. Teoriya i praktika metallurgii. 2007. № 6(61). S. 73 – 78.

ОСНОВИ АВТОМАТИКИ ПРОФІЛЮВАННЯ ЗАМКОВОЇ НАРІЗІ

Онисько О. Р. д.т.н., доцент, Лобур О.М., Романюк Я.С.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Ефективність буріння нафтогазових свердловин значною мірою залежить від якості з'єднувачів бурильних труб між собою. Ці з'єднувачі називають бурильними замками, а нарізі відповідно бурильними нарізями. Оскільки у технології виготовлення таких нарізей застосовують операції точіння, тому до профілю токарного різця приділять значну увагу щодо точності різальної крайки і її впливу на точність профілю нарізі [1], а також на якість самої конічної замкової нарізі, у тому числі згвинчуваність [2] та герметичність [3]. Не менш важливим виявлено впливи профілю інструмента і його геометричних параметрів на сам процес точіння нарізі [4]. Найбільш впливовими параметрами є передній кут різця, задній кут, а також кут нахилу його різальної крайки λ (див. рис.1).

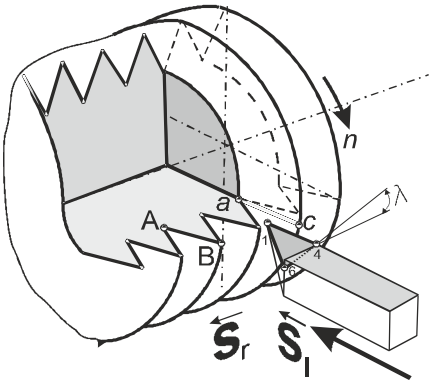


Рисунок 1 – Загальна схема точіння нарізі різцем із ненульовим значенням кута нахилу різальної крайки

Ненульові значення геометричних параметрів: переднього кута і кута нахилу різальної крайки значно збільшують технологічні можливості процесу і досягнення високих показників якості бурильних замків при умові досягнення точних розрахунків профілю різальної крайки. Оскільки існує понад три десятки типорозмірів замкових нарізей і запропоновано значний діапазон значень переднього кута [1] для різних за твердістю і міцністю матеріалів для їхнього виготовлення то виявляється доволі потрібним спеціальний алгоритм розрахунку профілю за такими вхідними параметрами. Основи такого

алгоритму закладено у працях [5, 6]. Наразі йдеться про можливості застосування комп'ютерно-реалізованих технологій автоматичного розрахунку інструментів, і зокрема профілювання різьбових різців. На основі робіт [1,2,4,5,6] у праці [7] здійснено синтез автоматичного розрахунку профілю токарних різців для забезпечення високопродуктивного виготовлення нарізей на бурильних замках.

Удосконалена синтезована схема алгоритму для нарізеточіння передбачає серед своїх вхідних параметрів на тільки геометричні параметри різця, а також і ряд параметрів, які пов'язані із параметрами, що характеризують типорозміри замків і відхилення налаштувань різець-заготовка-верстат, які завжди супроводжують процес точіння (рис.2).

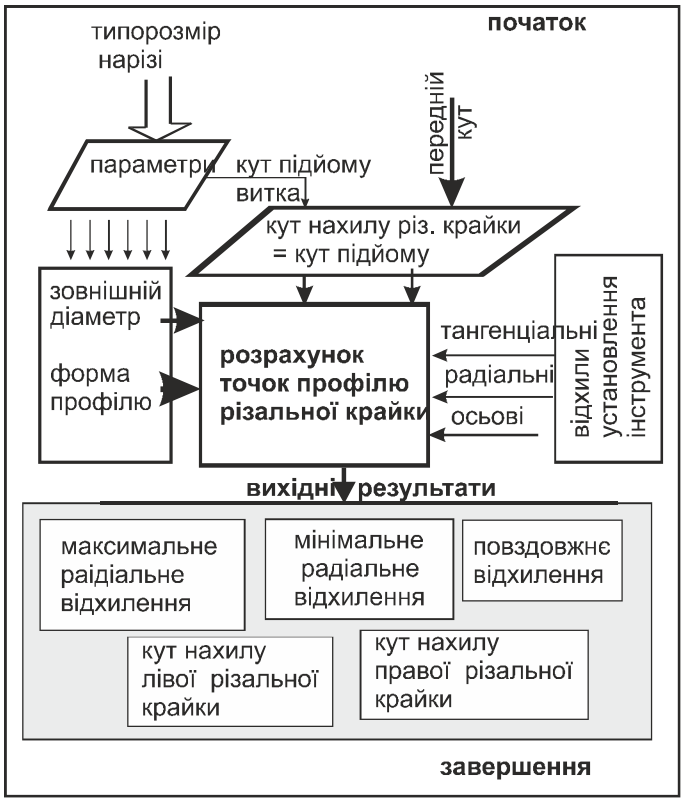


Рисунок 2 – Синтезованасхемаалгоритмудляавтоматичногорозрахункувихідних параметрівконічноїзамковоїнарізі

Основи автоматики профілювання замкової нарізі, як видно із рис.2 охоплюють фактично усі можливі впливові вхідні чинник: відхили у системі заготовка-інструмент- верстат, а також параметри замкової нарізі і

технологічні геометричні параметри різця, що робить запропонований автоматичний алгоритм практично корисним як для розрахунків профілю високоточних нарізевих різців, так і для отримання високопродуктивних бурильних замків.

Література

1. Onysko O., Kopei V., Pituley L., Medvid I. and Lukan T. (2020) Influence of the Thread Profile Accuracy on Contact Pressure in Oil and Gas Pipes Connectors. In: Vitalii Ivanov at al.(Eds). Advances in Design, Simulation and Manufacturing: Proceedings of the 3-th International Conference on Design, Simulation and Manufacturing: The Innovations Exchange, DSME-2020. / DSME 2020, LNME, P. 432–441.

2. Panchuk V., Onysko O., Lukan T., Medvid I. Theoretical study of dependence of screwing of drilling-pipe connector on thread- process cutting tool profile. Mining-Informatics, Automation and Electrical Engineering. Kraków, 2019. No 1(537). P.7–17.

3. Onysko O., Borushchak L., Kopei V., Lukan T., Medvid I., Vryukalo V. (2020) Computer Studies of the Tightness of the Drill String Connector Depending on the Profile of Its Tapered Thread. In: Karabegović I. (eds) New Technologies, Development and Application III. NT 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 128. Springer, Cham P. 720–729.

4. Onysko O., Kopey V., Panchuk V., Medvid I., Lukan T. Analitical Study of the kinematic rake angles of the cutting edge of the lathe tool for the tapered thread manufacturing. Grabchenko's international conference on Advanced manufacturing Processes. Volodymyr Tonkonogyi at al. (eds): «InterPartner» 2019. LNME, Odesa. P.236–245.

5. Онисько О. Р. Алгоритм розрахунку функціональної залежності форми бічних профілів замкової конічної гвинтової нарізі для елементів бурильних колон від герметичних параметрів різця. Науковий вісник Івано-Франківськогонаціонального технічногоуніверситетунафти і газу. Івано–Франківськ, 2017. № 1(42). С.46–53.

6. Онисько О. Р., Пітулей Л. Д., Довбуш І. З. Профіль різальної кромки різців для виготовлення замкової нарізі з мінімальноюнегерметичністю. Вісник національного університету «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контрольумашинобудуваннітаприладобудуванні.Львів, 2018. № 891. С.42–51.

7. Onysko O., Lukan T, Pituley L, Shuliar I, Havryliv. Y. (2020) Basics of automation of profiling of high-efficient inserts of the tool for thread machining. STED Journal 2(2). November 2020. P. 22–28.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.039

ПРО УМОВИ ОТРИМАННЯ ВИСОКОМІЦНОЇ ХОЛОДНОДЕФОРМОВАНОЇ АРМАТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕПРИВІДНОЇ КЛІТІ

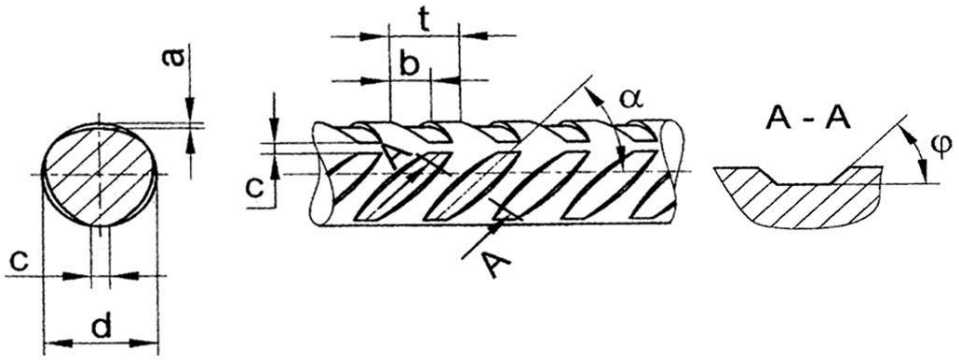
Приходько І. Ю., д.т.н., с.н.с., Парусов Е. В. к.т.н., с.н.с.,
Парусов О. В. к.т.н., с.н.с., Чуйко І. М. к.т.н.

Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України (Україна)

Вступ. Сучасні вимоги, які пред'являють до залізобетонних шпал (ЗБШ) для вантажопасажирських перевезень, зумовили потребу подальшого вдосконалення і впровадження прогресивних способів виробництва металопродукції, зокрема високоміцної арматури. Головна мета підприємств, які виробляють попередньо-напружені залізобетонні вироби, полягає у зменшені металоємності і трудомісткості виготовлення конструкцій, а також підвищенні енергоефективності технологічного процесу [1]. У якості матеріалу для виробництва ЗБШ нового покоління використовують високоміцну холоднодеформовану арматуру зі сталей перлітного класу (0,8...0,9 % С) діаметром 9,45...9,81 мм з тимчасовим опором руйнуванню $\sigma_в \geq 1570$ МПа. Отримання високоміцної арматури залежить від ефективного поєднання структури і механічних властивостей вихідної сировини (бунтового прокату) в комплексі з різними способами цілеспрямованого впливу. Профілювання холоднодеформованої переробної заготовки відбувається в спеціальному пристрої (кліті) й зумовлює додаткову пластичну деформацію поверхневих шарів. Для умов України зазначений сортамент металопродукції є новим та достатньо перспективним, а дані щодо енергосилових параметрів роботи клітей для профілювання переробної заготовки, які використовують у країнах ближнього зарубіжжя, на теперішній час відсутні. Отже, доцільно визначити енергосилові параметри роботи кліті для профілювання холоднодеформованої переробної заготовки й оцінити вплив нанесених вм'ятин на несучу здатність арматури в умовах експлуатації.

Результати досліджень та їх обговорення. Для моделювання нанесення профілю на переробну заготовку враховували пружно-пластичні деформації та теплові процеси. В якості деформуючого інструменту закладена непривідна кліть з трьома роликами, розташованими під кутом 120° один до одного. При

діаметрі роликів 180 мм, довжині бочки 20 мм ширина і глибина калібру склали 8,0 мм і 1,7 мм, відповідно, з радіусом закруглення калібру 5,56 мм. На роликах розташовані насічки під кутом 45° до лінії прокатки для формування на поверхні заготовки «відбитків» глибиною 0,2 мм. У результаті обробки необхідно було отримати арматурний прокат, геометричні параметри якого наведені на рис. 1. Отриманий шляхом математичного моделювання зразок арматурного прокату відповідав заданим геометричним параметрам, а мінімальний розмір від максимального поглиблення до протилежної поверхні прокату становив не менше 9,5 мм.



d – номінальний діаметр арматури (9,5 мм); a – глибина вм'ятин (0,2 мм); b – ширина вм'ятин (3,5 мм); t – шаг вм'ятин (5,5 мм); c – ділянки, що необжимаються (1,5 мм); α – кут нахилу вмятин (45°); φ – кут нахилу стінки вм'ятин (45°);
Рисунок 1 – Геометричні параметри високоміцної холоднодеформованої арматури

В якості вихідного матеріалу використано холоднодеформовану переробну заготовку діаметром 9,7 мм з тимчасовим опором руйнуванню 1602 МПа і границею плинності 1338 МПа зі сталі C86D [2]. Дослідження формозміни переробної заготовки проводили у комп'ютерній програмі QForm. Максимальне зменшення площі поперечного перерізу після нанесення профілю і, отже, відносного подовження прокату становить ~ 5 %. Не дивлячись на малий ступінь деформації, деяка її частина проникає вглиб заготовки на (0,10…0,12)·R. Оскільки внутрішні області зменшеного поперечного перерізу не зміцнюються, то несуча здатність арматури повинна зменшуватися разом з поперечним перерізом. У той же час важливу роль відіграє формування поздовжніх залишкових напружень, які виникають в арматурному прокаті.

За результатами моделювання встановлено, що в деформованому шарі виникають розтягуючі залишкові напруження (~ 950 МПа), а у внутрішніх – стискаючі (~ 350 МПа). Залишкові напруження розтягнення формуються на глибині приблизно (0,20…0,25)·R. Сума максимальних залишкових напружень розтягнення і технологічного натягу на ділянці стабілізації не повинна перевищувати границю плинності арматурного прокату. На практиці процес стабілізації холоднодеформованої арматури здійснюється під впливом питомого технологічного натягу, який складає ~ (0,3…0,45)·$\sigma_в$. В цьому випадку технологічний натяг повинен бути не менше 480,6 МПа, а повна сила натягу при зменшеній на 5 % площі поперечного перерізу 33,74 кН. У той же час максимально питомий натяг протягання становить 139,6 МПа, тобто істотно менше значення питомого технологічного натягу. Відомості про силу переднього натягу, необхідного для реалізації технологічного процесу, представляють цінність з позиції управління гальмівною станцією на вході ділянки нанесення профілю і стабілізації. Згідно з отриманими даними, необхідна тягнуча сила є змінною: максимальні значення досягають величини ~ 9,8 кН, а мінімальні – 6,5 кН.

Для проектування промислової установки проведена оцінка сили, яка діє на неприводні ролики в процесі деформації. Максимальні значення сили, що діє на кожен ролик, складають 3,45 кН, а мінімальні – 2,0 кН.

Очевидно, що потрібно проаналізувати вплив переднього і заднього натягів, які створюються для реалізації механо-термічної обробки, на напружено-деформований стан переробної заготовки в осередку деформації. На рис. 2 наведена залежність зменшення поперечного перерізу (ΔS, %) арматурного прокату і, відповідно, відносного видовження ($\Delta\delta$, %) від питомого технологічного натягу в процесі стабілізації, коли напружений стан прокату в осередку деформації змінюється під впливом натягу і внаслідок підвищення швидкості протягання.

При підвищенні переднього натягу до робочого значення 480,6 МПа максимальна радіальна сила на ролики зменшується до 2,25 кН. Площа поперечного перерізу арматури зменшується, а відносне подовження зростає до ~ 6,3 % (крива 1), що вимагає в період створення натягу і розгону при виході

технологічної лінії на робочу швидкість корекції положення роликів для підтримки необхідного поперечного перерізу прокату. При цьому достатньою умовою для підтримки відносного подовження на рівні 5,0 % є відведення одного з трьох роликів на 0,10 мм (крива 2). Взаємозв'язок переднього і заднього питомого натягу в процесі нанесення профілю при відведенні одного з роликів на 0,10 мм і підтримці відносного подовження арматурного прокату на рівні 5,0 % наведено на кривій 3.

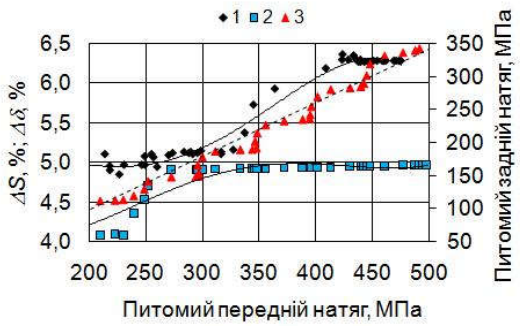


Рисунок 2 – Взаємний вплив технологічних параметрів на відносне видовження арматурного прокату під час стабілізації

Проникнення холодної пластичної деформації є незначним, але за результатами моделювання встановлено, що значення $\sigma_{0,2}$ і $\sigma_в$ в місцях поглиблень профілю зростають, однак це не може у повній мірі компенсувати втрату несучої здатності через зменшення поперечного перерізу арматурного прокату. Наведені результати розрахунків і їх аналіз дозволяють проектувати устаткування технологічної ділянки для нанесення профілю переробної заготовки, а саме пристрою з трьома непривідними роликами спільно з гальмівною та тягнучою станціями.

Висновки. Для отримання холоднодеформованої високоміцної арматури з високовуглецевої сталі запропонований методологічний підхід, заснований на моделюванні процесу і аналізі комплексу його параметрів, який дозволяє проектувати обладнання для нанесення періодичного профілю на поверхню переробної заготовки, інтегрованого в загальну виробничу лінію спільно з гальмівною і тягнучою станціями, а також ділянкою стабілізації.

Література / References

1. Parusov E. V., Parusov V. V., Sagura L. V. et. al. Development of energy- and resource-saving production technology of high-strength strands. Metallurgical and Mining Industry. 2016. № 5. pp. 100–104.

2. Prikhod'ko I. Yu., Parusov E. V., Parusov O. V., Chuiko I. N., Klemeshov E. S. Elements of technology for producing cold-formed rebar from C86D steel using an idle stand. Steel in Translation. 2020. Vol. 50. No. 7. P. 481–486. DOI: 10.3103/S0967091220070116

ABOUT CONDITIONS OF RECEIVING HIGH-STRENGTH COLD-DEFORMED REINFORCEMENT WITH USING OF NON-DRIVING ROLLING STAND

Prykhodko Ihor, Parusov Eduard, Parusov Oleg, Chuiko Ihor

Abstract. The energy-power parameters of applying a periodic profile to a remaking bars are determined. For the considered sizes of calibers, the maximum value of the forces acting on the rollers, as well as the values of the required pulling force, are established. The influence of the depth of dents of the profile on the bearing capacity of high-strength reinforcing steel is studied. It was experimentally established that after applying the profile and stabilization, the loss of the bearing cross section of reinforcing steel by 5.0 % is compensated by an increase in R_m and $R_{0.2}$. The proposed methodological approach based on the modeling of the technological process and the assessment of the complex of its parameters allows you to design equipment for profiling the remaking bars, integrated into the common line of the stabilization section together with the pulling device.

Keywords: wire rod, cold plastic deformation, remaking bars, high-strength reinforcement, non-driving rolling stand.

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS: SUPERCOMPUTERS, PROGRAM TOOLS, YOUNG SCIENTISTS

Redchyts D.[1], Polevoy O.[1], Tarasov S.[1], Moiseienko S.[2],
Tuchyna U.[1], Chashyna I.[1], Tuchyna M.[3]

[1]Institute of Transport Systems and Technologies of NASU (Ukraine)

[2]Kherson National Technical University (Ukraine)

[3]Institute of international relations Taras Shevchenko National University of Kyiv (Ukraine)

To date computational fluid dynamics (CFD) is one of the components of the design process in aerospace industry, propulsion engineering, wind energy, due to the lower cost of numerical investigations are compared with the natural experiments. Major aim of CFD is reproduction real physical processes with the maximum degree of certainty. Due to this is possible better understanding the processes, make recommendations for aerodynamic shapes of designed device near to optimal. These calculations allow for detailed characteristics of the device well before its manufacture and deployment, significantly reducing the cost of expensive blowing in the wind tunnels, which are present in the standard design methods. Another problem are environmental problems - simulation of atmospheric phenomena, river hydrodynamics, distribution of pollution in urban and industrial areas.

Supercomputers to solve the CFD problems are installed and operated in the United States, Western Europe, Japan, China. Necessity to use such a powerful computer technology is caused to the fact that the vast majority flows occurring in practice are non-stationary, three-dimensional, turbulent. The practical application of computational fluid dynamics, for example, the choice of the optimal configuration of the device requires many parametric studies under realistic deadlines calculation unit (no more than 1-2 days). Today in Ukraine there are no supercomputers entering the TOP-500, the best Russian supercomputer ranked number 31 on the list.

Modern software packages aimed at solving problems in computational aerodynamics, can be divided into four groups.

The first group includes scientific software packages developed in major research centers in the U.S. and Western Europe (NASA, ONERA, DLR, NLR), as well as in corporations Boeing, Lockheed, etc. The tools have evolved over several decades and are designed primarily for applications aerospace industry. They involve the use of massively parallel supercomputers to get the results in real time. Unfortunately, these packages are the intellectual property of the developer and are usually available for a wide range of researchers.

The second group includes commercial CFD software such as ANSYS, STAR-CD, CFX, FLUENT, FLOW-3D, ACE-U, CFD++, etc. The objective purpose of commercial CFD software is to help designers associated with the tasks of computational fluid dynamics, but do not have real opportunities to develop their own CFD packages. From the point of view of the hardware used, the commercial packages are designed for use on personal computers or PC clusters. This, in turn, leads to decreased physical reliability of the results in favor of automating calculations and versatility of commercial packages.

The third group consists of CFD programs developed at universities and small research centers in almost all developed countries. Groups of employees are usually small (4-10 scientists, graduate students, programmers), computer equipment varied, depending on the level of funding an individual organization. It is here that there are new CFD ideas, new models of turbulence. Although these packages are inferior to the first and second group of the universality, research packets can compete successfully in dealing with individual, highly specialized tasks of computational fluid dynamics.

The fourth group includes software developed by the principle of "one researcher - one package." At present, this principle is extremely important for the development of young professionals and scientists. With self-development researcher develops computational aerodynamics basis, reveals the possibility of numerical methods and analyzes the physical features of these flows.

Creating a reliable CFD package requires the use of skilled programmers who own multiple programming languages. In Russia and Ukraine, there is a serious problem because the programmer in IT-profit organization earns several times more than the young scientist, even if he is PhD.

The authors of this paper have extensive experience in the development and application of computational fluid dynamics for wind power, high-speed ground transport, supersonic aircraft, turbine, control of flow separation using plasma actuators, heat and mass transfer in internal and external flows. Unfortunately, the actual calculations are limited to two-dimensional (plane and axisymmetric) flows, as well as several variants of three-dimensional flows. Power of personal computers or small clusters do not allow research flow around bodies of complex configuration (complete configuration of aircraft, ground transport), to apply modern methods of simulation turbulence (large scale turbulence, direct numerical simulation).

The authors have developed a specialized CFD package in which a compromise between the required computational resources and the quality of the results. On the one hand, provide a complete approach of computational fluid dynamics based on the Navier-Stokes equations, including several differential turbulence models, as well as multi-block approach for the flows in multiply connected domains. Designed CFD package allows us to solve the problem of dynamics and aerodynamics, including electrodynamics processes, electrochemistry, multiphase fluids, combustion processes and plasma kinetics. The results allowed us to formulate new technical ideas, get new understanding about the physics of flow separation and the ways of its control, to reproduce the real structure of the flow over a wide speed range from incompressible flow to supersonic.

CFD software developed by the authors is actually computing core software without the interactive shell. According to the above-proposed classification this package is relate to the fourth group. Establishment in Ukraine teams of young scientists associated with a number of objective difficulties.

Higher education institutions (universities) usually learned training of highly qualified CFD specialists. Analysis of the curricula of foreign universities shows that CFD is usually taught 2 years (3rd and 4th year). On graduation courses (MA) is individual training young professionals and scientists, often associated with the new solution of scientific problems. In Ukraine, experts in computational fluid dynamics do not get ready at all, and training on the mechanics of liquids and gases is the old fashioned way: on the basis of analytical and semi-empirical approaches, the basics of numerical methods are given in the framework of the model equations of

mathematical physics. As a result, Master Thesis's foreign graduates often exceed the level of candidate dissertation in the Ukraine.

After the collapse of the Soviet Union in 1991, the relationship between fundamental science and industry do not actually exist. The general crisis of the 90s led to the fact that the traditional consumers of high-end technologies (aerospace, engine building, shipbuilding) are forced to deal with short-term survival at the expense of the development of promising directions. Suffered as a science and education, and, objectively speaking, at the moment, scientists cannot fully provide for the needs of industry. A vicious cycle of "no orders from the industry - poor development of science," and vice versa, "obsolete technology - a weak competitiveness in foreign markets."

To date the level of funding for research and education leaves much to be desired. Young scientists and experts are still keen to go abroad or get a commercial structure in search of a normal material standard of living. The accelerated growth of science and education is essential to the development of new technologies, and concepts, training of young scientists.

Obviously, the disparate efforts cannot get out of the current crisis. Activity of coordination industries, Academy of Sciences, Ministry of Education is required at the highest level. The objective of the efforts, the appropriate level of organization and adequate funding are integral components.

A possible way out is to develop some target programs and create specialized groups, including young professionals to implement these programs. This would allow young researchers to find his place in science, benefiting the country.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ КОКСОВАНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОКСУ ЗАДАНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Сорокін Є. д.т.н., Байкіна К.

Національна металургійна академія України, Україна

Результати з вивчення структури окремих густинних фракцій як добреспікливого, так слабкоспікливого вугілля [1], а також отриманих даних з вивчення можливості використання окремих фракцій слабкоспікливого вугілля в шихті для коксування [2] дозволяють провести оптимізацію складу вугільних шихт, що містять густинну фракцію слабкоспікливого вугілля для отримання необхідних властивостей металургійного коксу.

Для визначення оптимальної зони, що задовольняє одночасно три подані рівняння, насамперед було проведено розрахування значень кожної із зазначених функцій. Розрахунки було зроблено в діапазоні значень, у яких проводився розрахунок центрального композиційного ортогонального планування.

Отже,

– для процентного вмісту густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ, як фактору, діапазон значень було використано V = 5 ÷ 15%;

– для гранулометричного складу густинної фракції вугілля марки ДГ, як фактору, діапазон значень було використано G = 70 ÷ 90%.

При цьому крок дорівнював:

– для процентного вмісту густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ, V = 0,5 %;

– для гранулометричного складу густинної фракції вугілля марки ДГ, G = 1 %.

В результаті проведеного розрахунку були отримані дані, за якими розроблено прямокутні матриці, що мають загальний вигляд для всіх параметрів оптимізації, представлений рівнянням 1.

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{i} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{j1} & \dots & a_{ji} \end{pmatrix}; \qquad (1)$$

Далі, проводилося масштабування отриманих даних, кожної з матриць і окремо взятого параметра оптимізації, тобто було проведено нормування від

мінімального до максимального значення і так, щоб оптимальні значення дорівнювали нулю. Зазначені вище розрахунки зроблені за рівняннями 2 і 3 залежно від характеру описуваної поверхні.

$$a'_{ij} = \frac{\max a_{ij} - a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}; \qquad (2)$$

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij} - \max a_{ij}}{\max a_{ij} - \min a_{ij}}; \qquad (3)$$

де в рівняннях 2 і 3:

a'_{ij} – розраховане значення матриці в кодованій формі, тобто отримані значення – у межах від 0 до 1;

a_{ij} – значення вихідної матриці у певній ланці;

$\max a_{ij}$ – максимальне значення у вихідній матриці;

$\min a_{ij}$ – мінімальне значення у вихідній матриці.

За отриманими даними будувалася окрема матриця. Розрахунок проводився шляхом порівняння результатів попереднього розрахунку. Тобто вводився коефіцієнт значущості і визначалася кількість точок на векторному просторі, що задовольняють введений критерій одночасно за трьома статистичними рівнянням.

Подальші розрахунки проводили з рівнем значимості 90%, тобто значення функцій параметрів оптимізації відрізнялися від оптимальних не більше ніж на 10%. Результати проведеного розрахунку подано на векторному просторі рисунок 1.

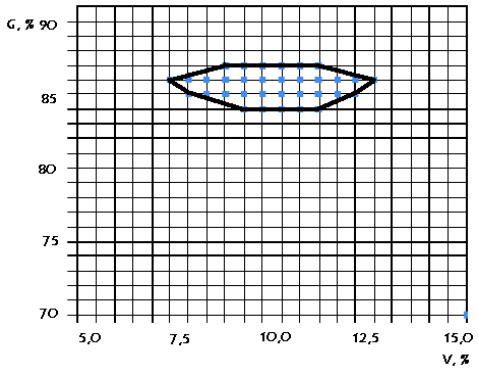


Рисунок 1 – Векторнийпростірвизначенняоптимальнихзначеньпри 90%оцінкизначущості

Зона оптимальних значень при 90% оцінки значущості значно зменшилася, порівняно з результатами попередніх розрахунків. При цьому оптимальний вміст густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ у вугільній шихті становить від ~ 7,5% до ~ 12,5%, тобто оптимальним вмістом є 10% домішки.

Зона оптимальних значень для гранулометричного складу має менший діапазон значень, на відміну від попереднього фактору і знаходиться в межах від ~ 84% до ~ 86%. Зміщення оптимальних значень відносно центра плану в бік більш тонкого помелу свідчить про те, що менші частинки густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ містять у своєму складі менше домішок органічних сполук, які не відносяться за густиною до цієї густинної фракції.

Отже, результати розрахунку оптимальних значень відносно і одночасно за трьома параметрами оптимізації показали, що оптимальним вмістом густинної фракції слабкоспікливого вугілля марки ДГ є 10% при відносно високому вмісті часток <3 мм ~ 85%.

Література

1. Kushnareva T.A. Clinkering Properties of Individual Fractions of Enriched Poorly Clinkering Coal / T.A. Kushnareva, E.L. Sorokin // Coke and Chemistry, 2018. – Vol. 61. – № 2. – P. 38-41.

2. Starovoit A.G. Modification of the Clinkering Properties of Coal 1. Profound Enrichment / A.G. Starovoit, E.L. Sorokin, T.A. Kushnareva // Coke and Chemistry, 2019. – Vol. 62. – № 5. – P. 174-176.

СЕКЦІЯ 6

СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ ТА КІБЕРБЕЗПЕКА

SECTION 6

SYSTEM INFORMATION PROCESSING TECHNOLOGIES AND CYBERSECURITY

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ЕЛЕКТРОННИХ БАЗАХ ДАННИХ

Ігнатьєва В.Б., канд. техн. наук, доцент

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, Україна

Вступ. У сучасному світі на сайтах організацій присутні бази даних за допомогою яких користувачі можуть отримати вільний доступ до вітчизняної і світової науково-технічної інформації. Одночасно, організації зобов'язані дотримуватися Закону України «Про авторське право і суміжні права», який регулює й охороняє відносини, що стосуються використання творів науки, культури й мистецтва. Тому важливим стає питання збереження рівноваги між дотриманням прав авторів і задоволенням потреб суспільства.

Питанням, пов'язаним проблемі дотримання прав авторів при систематизації інформації в електронних ресурсах присвячені дослідження О. Ф. Бойкової, С. Г. Богацької, В. А. Мінаєвої, С. А. Моїсєєвої, О. Б. Антопольського, Н. З. Стародубової, Я. Л. Шрайберг та ін. [1-3]. У той же час ряд положень щодо використання науково-технічної інформації в електронних ресурсах організацій потребує більш детального розгляду відносно дотримання законодавства.

Метою дослідження є розробка алгоритму систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних організацій.

Основний матеріал. При систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних організацій можна виділити чотири основних напрями діяльності з використанням електронних ресурсів, в яких питання дотримання авторського права є найбільш спірними: 1) збір, використання і збереження електронних документів; 2) використання інформації, отриманої з Internet і інших комп'ютерних мереж; 3) оцифровування документів самою організацією для створення резервних копій або ж для використання документів службами електронної доставки документів; 4) копіювання документів з баз даних, оптичних дисків та інших електронних носіїв [2].

На жаль, при простому скануванні необхідних видань, та розміщенні електронних копій документів в своїй мережі для надання доступу до них читачам, організації, зокрема бібліотеки, порушують норми закону тричі: 1)

розміщуючи без згоди суб'єктів авторського права твір в своїй мережі, адже відтворення будь-яких матеріалів, що охороняються авторським правом, без згоди суб'єктів авторського права є порушенням авторських прав; 2) надаючи до них доступ читачів; 3) передаючи документи в електронній формі по мережах без здійснення виплат авторам.

Детальний аналіз використання науково-технічної інформації організаціями, розгляд і вивчення чинного законодавства та виявлення деяких недоліків в ньому, дали змогу розробити алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних. В якості організації, яка систематизує науково-технічну інформацію розглянуто бібліотеку (рис. 2).

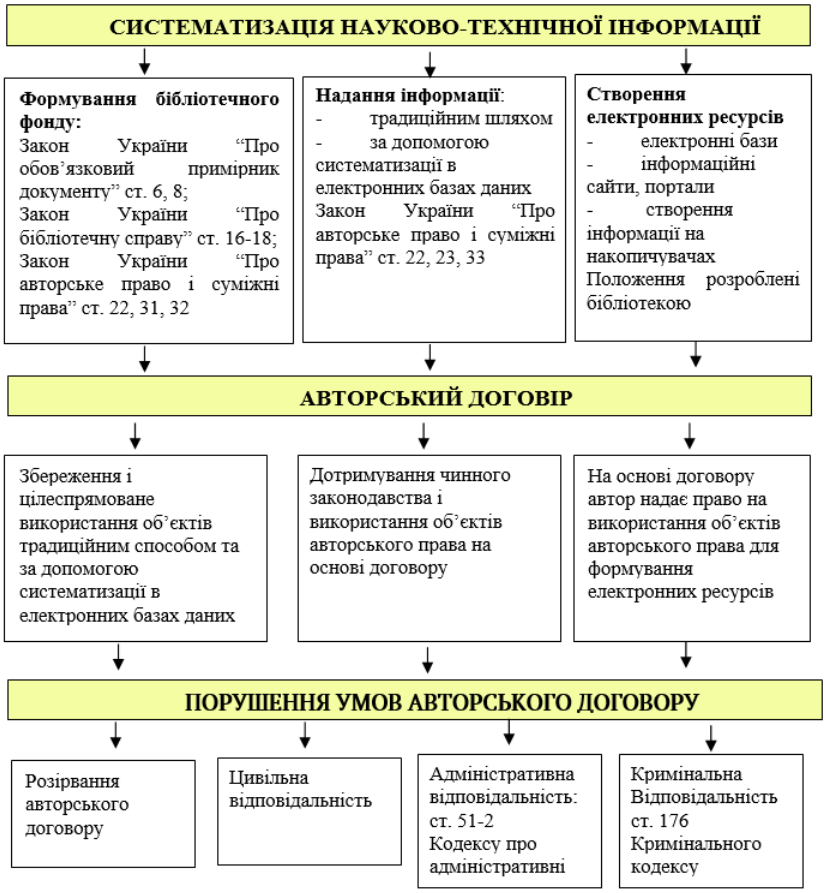


Рисунок - Алгоритмсистематизаціїнауково-технічноїінформаціїв електроннихбазахданих

Перша частина алгоритму вказує на традиційні способи використання науково-технічної інформації як об'єктів авторського права і способи

використання при систематизації в електронних базах даних. На алгоритмі показана робота в трьох напрямах:

1. Формування і збереження об'єктів авторського права, тобто формування бібліотечного фонду. Цей процес повинен відбуватися згідно законам України: «Про обов'язковий примірник документу» ст. 6, 8; «Про бібліотечну справу» ст. 16, 18; «Про авторське право та суміжні права» ст. 22, 31, 32.

2. Надання інформації традиційним шляхом та за допомогою систематизації в електронних базах даних. Систематизовані бази даних дають змогу зробити електрону копію документу, але при цьому треба дотримуватися Закону України «Про авторське право та суміжні права» ст. 22, 23, 33.

3. При створенні електронних ресурсів бібліотеки широко використовують твори авторів. Створюючи свої ресурси працівники бібліотеки повинні пам'ятати про авторські права і діяти стосовно чинного законодавства. При створенні електронних ресурсів розроблюється Положення бібліотеки, в якому регламентується основні засади формування і використання електронних ресурсів.

Всі три напрями використання об'єктів авторського права повинні супроводжуватися авторськими договорами. В договорі може бути прописано як використовувати об'єкти авторського права при їх систематизації і збереженні в електронних базах даних, а також як надавати інформацію користувачам, не порушуючи при цьому прав авторів.

Остання частина алгоритму вказує на те, які заходи будуть застосовані, якщо бібліотеки не будуть дотримуватися положень авторського договору та чинного законодавства.

Насамперед, це розірвання умов авторського договору і припинення подальшої співпраці між двома сторонами.

За захистом авторського права необхідно спочатку звернутись до порушника з претензією, а потім, якщо порушник не відповів на претензію, або відповів, що своїми діями не порушує авторське право, можна звернутись до суду.

Висновки. Розроблений алгоритм систематизації науково-технічної інформації в електронних базах даних дозволяє організаціям розміщувати об'єкти авторського права в розроблених електронних базах даних без порушення прав авторів.

Література

1. Бойкова О. Ф. Интеллектуальная собственность и информационные ресурсы библиотек / О. Ф. Бойкова // Университетская книга. - 2008. - №1. - С. 30-35.
2. Моисеева С. Вопросы авторского права при использовании электронных документов в библиотеках: опыт работы и пути решения проблемы / С. Моисеева // Бібліотечний форум України. - 2004. - № 1. - С. 25-31
3. Шрайберг Я. Л. Библиотеки в условиях правовой и технологической эволюции процессов общественного развития. Ежегодный доклад Конференции "Крым". Год 2008 / Я. Л. Шрайберг // Науч. и техн. б-ки. - 2009. - № 1. - С.7-46.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.040

THE TASK OF REDESIGNING LARGE DISTRIBUTED CORPORATE SYSTEM

Kosolapov A., DrSci (Eng), peofessor

Computers Department, National University of Railway Transport named. acad. V. Lazaryan, Dnipro, Ukraine

1. Introduction. Modern global information networks are extremely complex structures that are constantly changing, which is associated with the appearance and removal of certain servers, the commissioning of new communication channels and the dismantling of outdated and unreliable communications [1,3]. All this affects of the information flows routing in the network. This is NP-complete problem [6]. There are many ways to solve it at the lower levels of the open systems interconnection reference model, but for the application level it is important to have its own methods of forming routes with a specific understanding of the applied problems characteristics and their requirements for managing information flow routes. This is especially important for systems B2B, B2C [3,4]. In [5], the author proposed a set of M-models for finding rational structures of global networks and systems, which is solved at the stage of complex systems conceptual design. This paper proposes new mathematical models, integral channel weighting index and a criterion for optimizing information flows.

2. The proposed mathematical models and optimization criterion. The network under study will be represented as an undirected edge-weighted graph with a set of vertices (nodes) $V = \quad ..,v_n\}$ that can be sources $O = \quad ..,o_{ns}\}$ or receivers $D = \quad ..,d_{np}\}$ of information flows, where. $ns \leq \quad \leq$.

Each source o_k can generate many directed information flows $W_k = \quad {}_2,\ldots,w_{kl}\}$. Each information flow is described by a four:

$$\langle OD_{kj},\ b_{kj},\ \lambda \quad ,$$

where $OD_{kj} =$ - is the OD-pair or Origin-Destination pair, indicating the source o_k and receiver d_j of the information flow;

b_{kj} - the average volume of an information message generated by a source o_k that creates a flow $w_{kj} = \quad \times$ (bit / s) with an average intensity λ ;each source

can generate several streams, which differ in the following elements: d_j, b_{kj} (additional characteristics);

$X_{kj} = \{T_j^{\text{ded}}, K_{kj}^{\text{dis}}\}$ - vector of additional flow w_{kj} characteristics: K_{kj}^{w}, $0 < \quad \leq$ - coefficient that characterizes the "weight" or "importance" of the flow, we will calculate it as $K_{kj}^{w} = \quad$, T_{kj}^{ded} - the time limit for the delivery of information b_{kj} to a piece, K_{kj}^{dis} $(0 \leq \quad <$ - coefficient of permissible distortion (loss) of information in a message during its transmission.

Obviously, each source can generate one or more streams for one or more different receivers. Receivers can receive multiple streams from one or more sources.

For the analysis and synthesis of the information structure of the network and the optimal redistribution of information flows (route changes), we introduce additional concepts: **link** and **route**.

A **link** is a bi-directional (duplex) information meta-channel that links two nodes with an information flow. In the meta-model, a set of **links** is defined like this:

$$L^0 = \quad = \quad = \quad ,$$

$$l_j = \quad {}_2), \bar{W}_j, Y_j),$$

where (v_{j1}, v_{j2}) are the nodes (vertices) connected by the meta-channel or **link** j;

- $\bar{W}_j = \quad {}_2, \ldots, \bar{w}_{jk}\}$ a set of streams of routes that pass along the j-th link in two directions;

- $Y_j = \{\overleftarrow{\quad}_j, \overrightarrow{\quad}_j, K_j \quad\}$ many additional characteristics associated with the features of its possible technical implementation;

$\overleftarrow{C}_j$, $\overrightarrow{C}_j$ - boundary values of the **link** bandwidth in two directions. Obviously, the constraints must be met:

$$\overleftarrow{C}_j \leq \sum_{u_p} \overleftarrow{\quad}, \quad \overrightarrow{C}_j \leq \sum_{u_p} \overrightarrow{\quad},$$

$K_j^{\text{av-k}}$ $(0 < \quad \leq \quad)$ - channel availability factor;

Let's introduce the concept of a "weak" link among meta-channels. To do this, we will use the multiplicative-additive feature: $Q_j = \quad \times \quad \times \sum_{\forall} \quad$.

Here η is the normalization factor.

A set of **route** $R^0 = \quad \ldots, R_{N_R}\}$ is information flows described by the four:

$$R_i = \quad = \quad)\},$$

where

- $\bar{W}_i = \quad \times \quad$ - information flow (bit / s);

- $V_i^{(u)} = \quad ,\ldots, u_{iN_V}\}$ - a set of transit nodes (does not include an OD-pair), through which the information flow is transmitted; in the original model $V_i^{(u)} = \varnothing$, instead $V_i^{(u)}$ you can use $V_i^{(l)} = \quad ..., l_{iN_V+}$ - a set of transit links, then in the original model $|V_i^{(l)}| = \quad$.

It's obvious $N_R \geq \quad$.

Thus, the complete initial meta-model of the information system can be represented as an undirected edge-weighted graph with directed routes $G = \quad \mathfrak{R}^0)$.

It should be noted that if the initial graph is disconnected, then this indicates the presence of autonomous subsystems in the meta-system. In this case, structural optimization is performed for each sub graph.

As a criterion for optimizing the network structure and forming a new route system, it is proposed to use the following criterion: to minimize the increment of the index Q in the network when constructing the minimum spanning graph by removing "weak" channels and redistributing their information flows along other short routes.

So, from the original graph $G = \quad \mathfrak{R}^0)$, we must get a graph $G^* = \quad \mathfrak{R}^*)$ with $|L^*| \to \quad -$ and $\sum \quad \sum$.

4. Discussion. The described criterion for minimizing the increment of the integral additive-multiplicative indicator of the data transmission route can be expanded by including other characteristics of information flows and physical communication channels, which can be the source of the emergence of new interesting and useful for the redesign of B2B and B2C distributed corporate systems.

5. Conclusion. The proposed models and criterion for optimizing information flows can be used in the redesign of large information systems. To obtain optimal structures and new routing schemes, various algorithms can be used, which will be considered in future works.

Acknowledgments. The author is grateful to his master's degree in computer systems and networks Anton Lysenko for the participation in the obtained results discussing and modeling the processes of redesigning complex structures.

References

1. A. Semenov, Logistics network optimization Case study for a Telecom company, August 2017,https://cerasis.com/distribution-network-optimization/

2. D. Aloini, E. Benevento, A. Stefaninia, Conceptual design of a tool supporting the last mile logistics in hospitals. In Proceedings of the 12th IADIS International Conference Information Systems, Utrecht, The Netherlands, 11–13 April 2019; pp. 2.

3. E. Melachrinoudis and H. Min, Redesigning a warehouse network, European Journal of Operational Research, vol. 176, no. 1, pp. 210-229, 2007.

4. L. Yanqiu and Z. Yilan, Research on B2C Ecommerce Logistics Distribution Model, Logistics Technology, vol. 29, no. 9, pp. 60-62, 2006.

5. A. Kosolapov Conceptual Design of Real Time Computer Systems. Codecs - Problems, Models, Methods, Algorithms, Programs. Monograph - Ed. HouseLap Lambert Academic Publishing, Beau Bassin, Mauritius, 2019. - 189 p. (in Russians), ISBN 978-620-0-08208-4.

6. W.L. Chapman, System design is an NP-complete problem / W. L. Chapman, J. Rozenblit, and A. T. Bahill // Systems Engineering, The Journal of INCOSE. 2001. № 4(3). — С. 222-229.

THE TASK OF REDESIGNING LARGE DISTRIBUTED CORPORATE SYSTEM

Anatolii Kosolapov

Abstract. The paper proposes a new problem to be solved in the process of redesigning large distributed corporate systems in which there is an exchange of many information flows through various channels. The variety of information transmission routes often leads to multiple duplication of information flows in physical channels. This increases the likelihood of data corruption on the network. At the same time, in large distributed systems, powerful and weak channels with low bandwidth or low reliability are used, which are often disconnected, and in this case it is necessary to solve the problem of information logistics - redistribution of information flows. The paper proposes the problem of optimizing the redistribution of information flows by the criterion of minimizing the total increment in the volume of transmitted information in the system, which is included in the integral indicator of the characteristics of logical and physical communication channels. The problem is solved at the application level when redesigning a corporate system by removing ineffective channels to obtain a minimum spanning tree structure.

Keywords: redesign of distributed systems, minimization of redundant information flows.

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.041

TECHNOLOGIES OF SOFTWARE DEVELOPMENT BASED ON NON-RELATIVE DATABASES

Liashenko O., Dorosh N. Associate Professor

The National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

Introduction. In the modern information society, the need to use the latest technologies in various organizations to improve methods and technologies of internal management and document management is becoming increasingly important. After all, nowadays there is an increase not only in the volume and speed of data, but also in the number of their sources. In addition, the data are often unstructured and poorly structured. Traditional relational databases lose performance when storing such data. The need for their storage and processing forces us to pay more attention to databases based on NoSQL technologies. Their advantages include the ability to store and process fast and poorly structured data, flexible data structure, high scalability as well as distributed architecture. However, these benefits are achieved through weaker data consistency. The introduction of NoSQL allows companies to reduce costs and time to enter the market.

Data in NoSQL database are stored in different ways. They can be column-oriented, graph-oriented documents based on graphs, or organized as a KeyValue repository. This flexibility means that:

– you can create documents without preliminary defining their structure;

– each document can have its own unique structure;

– syntax can vary from database to database;

– you can add fields as events unfold.

The main material. The object of this study is to review some software development technologies based on non-relational databases.

NoSQL is a class of database management systems (DBMS) that do not follow all the rules of relational DBMS and do not use traditional SQL to generate data queries. The interpretation of NoSQL as "No SQL" is somewhat erroneous, but the interpretation of "Not Only SQL" is correct because this type of database is not a replacement at all but rather a supplementary addition to relational databases and

SQL. NoSQL has become a general term for various databases and repositories, but it does not refer to any specific technology or product.

There is a number of publications devoted to the review, analysis, and comparison of relational and non-relational databases. Some of them are outlined in this paper.

The traditional approach to creating web applications for companies in different industries based on databases involves the use of a combination of different development tools such as PHP, MySQL, JavaScript, HTML, CSS etc. At the same time, there is a NoSQL solution based on Wakanda client-server platform with a built-in object-oriented WakandaDB database which offers to use only JavaScript on both the client side and the server side. The peculiarities of such a solution are considered in [1].

One of the branches of NoSQL technology is graph databases (graph stores) which allow you to store data not in the form of a table, but in the form of a graph using vertices and links. This makes it possible to organize data in a flexible way as they are presented in the real world. Graph databases have an advantage when working with data for which connections between objects play an important role, especially if there is a need to track connections at several levels in depth. Works [2-5] are devoted to the use of such databases. A good example is the use of a graph database to implement a semantic network in an expert system [6].

Popular implementations of NoSQL are also document-oriented databases such as MongoDB. It is the most common NoSQL database according to the DB-Engines Ranking [7]. MongoDB is an open source document-oriented database. One document corresponds to a row of a table from a relational database, documents are stored in collections. Collections, unlike relational tables, can store documents of different structures. The popularity of this data model led to the emergence of works where relational (MySQL) and non-relational (MongoDB) databases are analysed [8-10]. The comparison of POSTGRESQL / POSTGIS and MONGODB is presented in [11].

Conclusions. The amount of information stored and processed by computer devices is large and increases every day. Various tasks require specialized technologies that can improve a certain parameter when performing operations.

Such tasks can be accomplished through the use of non-relational databases that implement different views on certain types of data warehouses that were previously unpopular for a variety of reasons.

References

1. Liashenko O.A., Konashkov O.O. Tekhnologiya razrabotki informaczionnogo obespecheniya na osnove nerelyaczionnoj bazy` danny`kh [Technology for the development of information support based on a non-relational database], Materials of the All-Ukrainian Science and Methodology Conference "Problems of Mathematical Model", 23-25 May, 2018, Kam'yanske: DDTU, 2018. pp.89-91, available at: Google Scholar.

2. Srinath Srinivasa Data, Storage and Index Models for Graph Databases. Graph Data Management: Techniques and Applications, IGI Global, Chapter 3, 2012. P. 47-71. doi: 10.4018/978-1-61350-053-8.ch003

3. Jaiswal G., Agrawal A.P. Comparative analysis of Relational and Graph databases, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), vol. 3, no. 8, pp. 25–27, Aug. 2013, doi: 10.9790/3021-03822527.

4. Malinina V.O., Liashenko O.A. Osoblivosti vikoristannjanereljacijnoï bazi danih na osnovi grafovoï modeli danih [Features of using non-relational database based on graph model of data]. Tezi dopovidej IX Mizhnarodnoï naukovo-tehnichnoï konferenciï studentiv, aspirantiv ta molodih vchenih "Himija ta suchasni tehnologiï". [Abstracts of 9th Int. Sci.-Techn. Conf of students, graduate students and young scientists "Chemistry and modern technologies"].Dnipro, 2019, vol. IV, pp. 28-29, available at: Google Scholar.

5. Miroshnik E.V., Dorosh N.L. Dosli`dzhennya mozhlivostej grafovikh ta relyaczi`jnikh modelej danikh v zadachakh i`ntelektual`noyi obrobki i`nformaczi`yi [Advancement of the possibilities of graph and relational data models in the problems of intellectual processing of information], 4th Int. Sci.-Techn. Conf. proceedings "Computer modeling and optimization of complex systems", Materiali IV Mizhnarodnoï naukovo-tehnichnoï konferenciï (Dnipro, November 1-2, 2018), Dnipro: Balans-Klub, 2018, pp. 262-263. doi: 10.32434/CMOCS-2018

6. Solodka N.O., Polishhuk Eu.O., Liashenko O.A. Vikoristannja grafovoï ta reljacijnoï modelej danih pri rozrobci ekspertnih sistem [Using the Graph Database Model and the Relational Model while Developing Expert Systems], Visnuk of Kherson National Technical University, vol. 4, no. 67, pp. 246–251, October 2018, available at: Google Scholar.

7. DB-Engines Ranking. DB-Engines: web-site. URL: https://db-engines.com/en/ranking (date of the application: 10.02.2021).

8. Dipina Damodaran B, Shirin Salim, Surekha Marium Vargese MongoDB vs MySQL: a comparative study of performance in super market management system. International

Journal of Computational Science and Information Technology (IJCSITY). Vol.4. No.2. May 2016. P. 31–38.

9. Cornelia Gyorodi, Robert Gyorodi, George Pecherle, Andrada Olah A Comparative Study: MongoDB vs. MySQL. 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES). 2015. P. 189–194.

10. Liashenko O.A., Konashkov O.O., Solodka N.O. Sravnitel`ny`j analiz vy`polneniya zaprosov k serveram baz danny`kh MYSQL i MONGODB [Comparative analysis of queries execution for MYSQL and MONODB database servers], Visnuk of Kherson National Technical University, vol. 4, no. 71, pp. 114–124, Dec. 2019, doi: 10.35546/kntu2078-4481.2019.4.13

11. Liashenko O.A., Litvinov S.N., Solodka N.O. Analiz proizvoditel`nosti baz danny`kh POSTGRESQL/POSTGIS i MONGODB dlya geoprostranstvenny`kh zaprosov [POSTGRESQL/ POSTGIS and MONGODB database performance analysis for geospatial queries], Visnuk of Kremenchuk National University named after Mikhail Ostrogradsky, vol. 6, no. 119, pp. 60–67, 2019, doi: 10.30929/1995-0519.2019.6.60-67

TECHNOLOGIES OF SOFTWARE DEVELOPMENT BASED ON NON-RELATIVE DATABASES

Liashenko Oksana, Dorosh Natalia

Annotation. The paper presents an overview of some technologies of software development based on non-relational databases. It is emphasized that nowadays more and more data are generated to be stored and processed in real time. In addition, the nature of these data is often increasingly unstructured or poorly structured. This causes a niche of problems when applying traditional approaches to building databases that are integrated into software systems. At the same time, NoSQL databases provide a mechanism for storing and retrieving data that are organized in a different way than the usual relational approach. The motivation for this approach is the simplicity of architecture, horizontal scaling, and accessibility control. The growing interest to non-relational databases is represented by a review of some publications.

Keywords: NoSQL, Wakanda, Graph Databases, Document Databases, MongoDB.

СЕКЦІЯ 7

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА ПИТАННЯ АНТИ ПЛАГІАТУ

SECTION 7

INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE QUALITY OF THE EDUCATIONAL PROCESS AND THE ISSUE OF ANTI-PLAGIARISM

 ISSN-online 2708-0102

ВИЯВЛЕННЯ НАВИЧОК ВІДЛАГОДЖЕННЯ ПРОГРАМ МЕТОДОМ ПІДСІВУ ПОМИЛОК

Жеваго О. О. аспірант, Шинкаренко В.І. д.т.н.

Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна, Україна

Відлагодження є наріжним каменем програмування і є особливо проблематичним для студентів. Вони все ще вивчають синтаксис і семантику мови програмування, з більшою ймовірністю створюють неправильний код, мають обмежені навички розуміння програм, що часто призводить до труднощів в розумінні і усуненні помилок. Під час навчання програмуванню мало уваги приділяють відлагодженню. Тому розробникам доводиться покладатися виключно на свій досвід і інтуїцію. Без відгуків про неефективні методи це часто призводить до великих відмінностей в навичках.

Зазвичай роботи щодо вивчення процесу відлагодження намагаються зрозуміти труднощі, з якими стикаються новачки, досліджуючи типові помилки. Мало робіт, які фокусуються на глибокому аналізі того, як програмісти підходять до відлагодження і як їх навички змінюються через деякий час. Краще зрозумівши, як програмісти-початківці розуміють помилки та виправляють їх, ми зможемо допомогти новачкам у навчанні програмуванню. Викладачі також можуть адаптувати свою навчальну програму, щоб охопити конкретні проблеми, з якими стикаються студенти, і таким чином покращити процес навчання.

Наше дослідження спрямоване на отримання розуміння того, як студенти відлагоджують в своєму середовищі розробки. Для цього ми пропонуємо використовувати програми із заздалегідь визначеними помилками. Ми вважаємо, що систематичне знайомство студентів з різними типами помилок в навчальному середовищі може значно поліпшити навички відлагодження. Крім того, ізольоване виявлення окремих помилок спрощує пошук і усунення проблеми. Студентам пропонується визначити помилку і усунути її в установлений термін. Аналізуючи стратегії усунення помилок, ми можемо виявити шаблони, які впливають або пояснюють поведінку новачків при відлагодженні і які необхідно враховувати при навчанні. Для сбору та аналізу

поведінки під час відлагодження використовується розширення до Microsoft Visual Studio IDE, яке відстежує всі дії при роботі з середовищем розробки [1].

Література

1. Shynkarenko, V., Zhevaho, O. "Development of a Toolkit for Analyzing Software Debugging Processes Using the Constructive Approach", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(2–107), pp. 29–38, 2020. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.215090

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2021.01.042

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА 150 ДЛЯ ФОРМУВАННЯ У СТУДЕНТІВ НАВИЧОК ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Зінченко М.Д. к.т.н., ст.наук.спів., Потап О.Ю. к.т.н., доцент,
Рибальченко М.О., к.т.н., доцент, Маначин І.О., к.т.н., ст.наук.спів.
Національна металургійна академія України

Вступ. Вивчення автоматизованих систем управління моделюванням їх роботи на комп'ютерах не дозволяє в повній мірі зрозуміти роботу реальних систем управління і переваг застосування інформаційних технологій, тому було прийнято рішення обладнати існуючий на кафедрі лабораторний стан 150 автоматизованими системами вимірювання енергосилових параметрів процесу прокатки і управління переміщенням натискних гвинтів.

Лабораторний стан 150 призначений для прокатки свинцю, олова, пластиліну і має наступні технічні характеристики [1].

Розміри заготівки: висота – 20 мм; ширина – 100 мм. Максимальне обтиснення за прохід -2 мм. Максимальний розхил валків – 25 мм. Швидкість прокатки - 0,16 м/с. Сила прокатки – 10000 кг. Крутильний момент – 47 кг/м. Число обертів валків за хвилину – 30 об/хв.. Діаметр валка – 100 мм. Довжина бочки валка – 150 мм.

Привод прокатних валків здійснюється через понижуючий редуктор і шестеренну кліть від двигуна постійного струму, вал двигуна через ремінну передачу пов'язаний з тахогенератором для вимірювання швидкості обертання прокатних валків.

Управління швидкістю двигуна постійного струму і прокатних валків виконується тиристорним електроприводом приводом типу ЕПУ-1 з регулятором швидкості.

Оснащення стану системою вимірювання енергосилових параметрів дозволить досліджувати прокатний стан як об'єкт автоматизації, автоматизованою системою переміщення натискних гвинтів – вивчати роботу систем стабілізації розмірів прокату.

Основний матеріал. Було виконано реконструкцію натискного пристрою, тому що його конструкція передбачувала застосування ручного привода натискних гвинтів. Натискний пристрій мав наступні характеристики: передатне число одноступеневого редуктора - 3, крок натискного гвинта – 3 мм на 1 оберт гвинта. При реконструкції був додатково встановлений черв'ячний редуктор типу 2Ч-40 з передатним числом 31,5 і загальне передатне число склало 94,5, що забезпечило необхідну точність встановлення верхнього валка в задане положення.

Для переміщення натискних гвинтів було застосовано двигун змінного струму з числом обертів за хвилину – 760 і потужністю – 200 Вт. Управління двигуном здійснюється від частотного перетворювача типу MS-300 (виробник - Delta Electronics), котрий в своєму складі містить програмований логічний контролер, і панелі оператора типу DOP-103BQ.

Вимірювання переміщення натискних гвинтів здійснюється фотоімпульсним датчиком ПДФ-3 з формуванням 600 імпульсів на 1 оберт, котрий був з'єднаний з натискним гвинтом через підвищувальну шестеренну передачу з передатним числом – 2,2. Точність вимірювання переміщення натискних гвинтів склала 0,00227 мм на імпульс.

Розроблене програмне забезпечення ПЛК і панелі оператора забезпечує управління переміщенням натискних гвинтів. На екрані панелі оператора задається необхідне переміщення натискних гвинтів, яке потім перераховується в кількість імпульсів фотоімпульсного датчика переміщення натискних гвинтів і формується сигнал управління частотним перетворювачем і включенням двигуна. При переміщенні натискних гвинтів підраховується кількість імпульсів і порівнюється з заданою кількістю. При їх рівності формується сигнал на зупинку двигуна. Настройки частотного перетворювача дозволяють виконати зупинку двигуна практично без вибігу.

Вимірювання і зберігання енергосилових параметрів, вимірювання розмірів прокату дозволяє проаналізувати процес прокатки на стані як об'єкта автоматизації. Отримані дані можуть бути застосовані для розрахунку жорсткості кліті, полоси і коефіцієнтів передачі, необхідних для роботи системи стабілізації товщини прокату.

Вимірювання сили прокатки виконується за допомогою розроблених і виготовлених нестандартних месдоз, котрі були встановлені під натискні гвинти. Сигнал струму якірного кола вимірюється за допомогою шунта, вихідний сигнал напруги з шунта подається на датчик струму типу S401.Напруга якірного кола, напруга тахогенератора, і напруга збудження через дільники підключені до датчиків напруги типу ДН2БУ4.

Виходи датчиків підключені до плати клемників ADAM-3964 і потім до входів плати вимірювання аналогових сигналів PCI-1711, котра встановлена в персональний комп'ютер. Плата має можливість вимірювання 16 сигналів напруги з загальною точкою в діапазоні ± 10 В.

Для вимірювання і відображення сигналів було розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє налаштовувати плату, тобто обрати тип плати, ті канали, котрі застосовуються для вимірювання сигналів напруги, обрати діапазони вимірювання, колір сигналу на графіку, частоту опитування сигналів, кількість точок для виведення на графік, параметри осей координат графіка.

В процесі вимірювання одночасно виконується вивід сигналів на екран монітора, зображення графіку змінення параметрів в часі залишається на екрані монітору, що дозволяє оперативно проаналізувати процес.

Результати вимірювання можливо зберегти в текстовому файлі в форматі CSV і потім файл може бути переглянутий в Excel. В файлі зберігаються: час вимірювання параметрів і значення параметрів, котрі вимірювались.

Висновок. Розроблений лабораторний комплекс дозволяє вивчити наряду з роботою прокатного стана і автоматизованих систем управління роботу програмованого логічного контролера, панелі оператора, частотного перетворювача і плати збору даних.

Література

1. Действующая модель прокатного стана. Руководство по эксплуатации. 5Л.00.00.00.РЭ. - Днепропетровск:Облполиграфиздат,1988– 7 с.

MODERNIZATION OF LABORATORY ROLLING MILL 150 FOR THE FORMATION OF STUDENTS 'STUDIES OF AUTOMATION OBJECT RESEARCH.

Zinchenko Mykhailo, Potap Oleh, Rybalchenko Maria, Manachyn Ivan

Abstract. It was fulfilled laboratory rolling mill 150 reconstruction for student's investigation of rolling mill as automation object. For remote control screw down movement was mounted screw down auxiliary reductor with AC motor, screw down encoder, load cells, inverter with built-in PLC MS-300 and touch panel HMI DOP-103BQ. It was developed PLC and touch panel HMI software for control screw down movement. Software touch panel HMI provide with set point adjustment screw down movement and actual distance monitoring. Software inverter with built-in PLC MS-300 exercise control screw down movement and stopping in position set point without rundown. It was developed software for investigation of rolling force and electrical data's of mill motor. Software provides measurement and memory of data's and on-line graphic display. Measurement of rolling force and rolled metal thickness provides ability to build stand stiffness and rolled metal stiffness.

Keywords: laboratory condition, automated system, pressure screws, power parameters.

References

1. Active model of rolling mill. Operation manual. 5L.00.00.00.RE.- Dnepropetrovsk: Oblpoligrafizdat,1988 – 7 p.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ, ОБРОБЛЕННОГО ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ

Карабут В.М.

Національна металургійна академія України

Постановка завдання. Якість поверхневого шару має суттєвий вплив на такі важливі експлуатаційні властивості деталей машин, як зносостійкість, міцність і корозійна стійкість. Отримання поверхневого шару з заданими властивостями в процесі механічної обробки є важливим завданням технології машинобудування [1].

Чистова обробка деталей машин поряд з обробкою різанням здійснюється і поверхнево-пластичним деформуванням (ППД) в холодному стані без зняття стружки. Широке застосування при обробці зовнішніх поверхонь отримало обкатування роликами або шариками і алмазне вигладжування. При пластичній деформації поверхневого шару деталі утворюється не тільки новий мікрорельєф поверхні, але і виникають пружні пластичні деформації під дією зміцнюючого інструменту в зоні контакту з поверхнею деталі, що призводить до утворення внутрішніх залишкових напружень, підвищення фізико-механічних властивостей поверхневого шару. Результати зміцнення залежать від багатьох чинників, зокрема, великий вплив робить величина тиску зміцнюючого інструменту на оброблену поверхню і подача [2].

Все це пов'язано з математичними розрахунками певної точності і побудовою схем і графіків, що в свою чергу збільшує витрати часу в навчальному процесі.

Мета роботи: розробити програму на мові Object Pascal в середовищі розробки Delphi що дозволяє автоматизувати процеси розрахунків і побудови схем і графіків, підвищити точність розрахунків, а також підняти рівень і якість навчального процесу.

У ознайомлювальній версії середовища розробки Delphi [3] на мові Object Pascal

розроблена програма, яка дозволяє: побудувати схему зміцнення поверхні деталі обкаткою роликом, побудувати схему зміцнення поверхні деталі

алмазним вигладжувателем, побудувати графіки залежностей шорсткості і твердості зміцненого поверхневого шару від режимів обробки при зміцненні поверхні деталі обкаткою роликом і побудувати графіки залежностей шорсткості і твердості зміцненого поверхневого шару від режимів обробки при зміцненні поверхні деталі алмазним вигладжувателем.

Висновки: застосування програми, розробленої в середовищі розробки Delphi, дозволить автоматизувати і оптимізувати процеси розрахунків, побудови схем і графіків, і як наслідок – зменшуватиметься витрати часу і збільшиться точність розрахунків. Застосування розглянутих інформаційних технологій в навчальному процесі забезпечує фахівцю машинобудівного профілю можливість швидкої і ефективної роботи.

Література

1. Методические указания к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Технология машиностроения», раздел «Теоретические основы технологии машиностроения» /Сост. И.С. Цехмистро, И.В. Добров. – Днепропетровск:ДМетИ, 1987. - 52 с.

2. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник для машиностроительных вузов по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты». – Л.:Машиностроение, 1985. - 496 с.

3. Delphi - Embarcadero Website [Електронний ресурс]. - Режим доступу: https://www.embarcadero.com

ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ ГРАФІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ В ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ ТЕХНІЧНОГО НАПРАВЛЕННЯ

Мазуренко В.Б., канд. техн. наук

Дніпровський національний університет, Україна

Вступ. Неочікувані, раптові зміни умов навчання у зв'язку з необхідністю забезпечення стримування розповсюдження вірусної інфекції привели до ситуації, коли викладачам вишів потрібно було дуже швидко, фактично в аварійному режимі, знайти засоби заміни традиційних форм навчання на такі, що здатні забезпечити навчання у дистанційній формі. Одним з найскладніших завдань виявилась задача заміни лабораторних занять на таку форму навчання, яка може бути реалізована учнями за межами навчальних лабораторій. Вирішення цієї задачі стало можливим завдяки використанню засобів графічного програмування.

Основний матеріал. Графічне програмування являє собою різновид інструментального програмного забезпечення, яке на відміну від звичайних мов програмування, заснованих на створенні програмного продукту шляхом написання текстових інструкцій, використовує графічні об'єкти та зв'язки між ними у вигляді відповідних ліній для опису функціональності створюваного програмного продукту. Цей напрямок програмування з'явився наприкінці двадцятого сторіччя, й він став відповіддю на зростаючі потреби в швидкому створені нових і нових програм для керування промисловими об'єктами, зокрема для створення АСУ ТП. Основною перевагою цього методу програмування є те, що створення програм більш не потребує залучення професійних програмістів. Створення програм може здійснюватися безпосередньо спеціалістами у тій чи іншій предметній галузі, до якої ця програма має бути застосована. Саме так побудовано графічні мови програмування LD, FBD, SFC, які стали стандартом [1] у сфері програмування промислових програмованих логічних контролерів. Такий підхід також відкрив новий напрямок у комп'ютерному моделюванні систем, у виконанні наукових досліджень та побудові різноманітних комп'ютерних експериментів. Використовуючи графічні мови програмування, які розвилися до цілих систем програмування, а надалі й до середовищ, стало можливим легке створення

комп'ютерних моделей та проведення симулювання силами самих наукових фахівців. Найбільш потужним пакетом, що реалізує середовище для проведення моделювання, в наш час є система MATLAB&Simulink [2]. Важливо відзначити, що графічні засоби програмування, легко засвоюються й не потребують практично ніякої попередньої підготовки, тому можуть надаватися студентам вже з першого – другого року навчання. Крім того, студентам можна надавати вже готові моделі у вигляді віртуальних приборів та панелей, з допомогою яких вони можуть відпрацьовувати потрібні лабораторні завдання. Згодом, на протязі навчання за різними дисциплінами, студенти можуть перейти й до самостійного створення моделей систем. Поле можливостей у використанні подібних систем у процесі навчання, насправді, є необмежним. Досвід показує, що їх використання викликає жвавий інтерес з боку студентів, які відразу бачать результати своєї роботи, й це значно прискорює процес навчання.

Висновки. В результаті застосування засобів графічного програмування в процесі навчання студентів технічного напрямку 1) вирішується задача проведення лабораторних робіт у дистанційній формі 2) підвищується інтерес студентів до навчання 3) прискорюється навчальний процес.

Література

1. IEC 61131-3 Programmable controllers – Part 3: Programming languages – Edition 3.0 2013-02 [Электронный ресурс] // Сайт International Electrotechnical Commission, – Режим доступу:https://webstore.iec.ch/publication/4552

2. Сторінка MATLAB на сайті The MathWorks [Электронный ресурс], Режим доступу: www.mathworks.com

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ВИКЛАДАННЯ ГРАФІЧНИХ ДИСЦИПЛІН ДЛЯ СТУДЕНТІВ З ВАДАМИ СЛУХУ

Морозенко О.П., к.т.н., Грибанова Н.Ю.

НМетАУ, Україна

Графічна мова є унікальною в поданні науково- технічної інформації, що дозволяє їй стати професійно-орієнтованою мовою в інжинірингу. Графічна культура стає другою грамотністю, однією зі складових професійної інженерної компетентності. Особливу роль мова графіки грає в технічній освіті студентів з вадами слуху. У професійному плані мова графіки необхідна фахівцям з вадами слуху як міжнародна мова технічного спілкування, зрозуміла без вербального супроводу.

Традиційні для вузів методики і технології проведення занять не розраховані на студентів з вадами слуху, і спираються, в основному, на вербальну передачу навчальної інформації, що створює бар'єри в сприйнятті і засвоєнні графічного і текстового навчального матеріалу. Завдання розвитку просторових уявлень у студентів з порушенням слуху, здатності до узагальнення полягає в тому, щоб навчити їх бачити геометричні образи в навколишній обстановці, розуміти їх властивості, оцінювати форму, розташування, величину, аналізувати взаємні просторові залежності, конструювати, перетворювати і комбінувати фігури, зображувати їх на кресленні, коректно виконувати вимірювання.

У НМетАУ багато років отримують вищу освіту студенти з вадами слуху за різними напрямами. За цей час напрацьовано певний досвід у викладанні інженерно- графічних дисциплін для даної категорії студентів. Проблема поліпшення якості освіти диктує необхідність пошуку інноваційних підходів навчання. У зв'язку з психофізичними особливостями даної категорії студентів, формуються невеликі групи. В ході занять проводиться спеціальна словникова робота: викладач та сурдоперекладач роз'яснюють значення складних понять та незнайомих слів. Однією з особливостей педагогічної технології для таких студентів є переважне використання візуальної репрезентації навчальної інформації на всіх етапах освітнього процесу. Впроваджуючи технічні засоби в процес навчання інженерно-графічним

дисциплінам, ми реалізуємо принцип наочності навчання, що забезпечує засвоєння знань студентами.

З метою методичної підтримки інженерно-графічних дисциплін для студентів з вадами слуху викладачами кафедри розроблено та впроваджено в навчальний процес комплекс документації з застосуванням нових інформаційних технологій на всіх етапах навчального процесу. Його особливість полягає в тому, що, зберігаючи традиції класичного курсу інженерної графіки, він методично орієнтований на психофізіологічні особливості студентів з вадами слуху. Сформована єдина система теоретичних, практичних та лабораторних занять з поетапної комп'ютерною підтримкою і контролем знань в умовах аудиторного і позааудиторної роботи на базі спеціально розроблених дидактичних матеріалів ”[1-3].

Інтерактивні лекції є однією з організаційнних форм, які використовують в процесі навчання студентів з порушенням слуху. Використання розвинених засобів графіки полегшує це завдання. Комп'ютерні засоби навчання дозволяють: а) візуалізувати досліджуваний об'єкт (наприклад, поверхні, деталі); б) розвинути певний тип мислення (наприклад, наочно-образний, теоретичний).

Студенти на початковому етапі вивчення не володіють достатньою здатністю легко і швидко, а головне правильно перекреслити умову розв'язуваної задачі. Для вирішення даного питання нами вже кілька років успішно використовуються робочі зошити, розроблені відповідно до робочої навчальної програми ”[4].

Курс лекцій по дисципліні ”Основи твердотільного моделювання фізичних об'єктів” супроводжується як учбовою презентацією, так і демонстрацією викладачем роботи в графічних редакторах з виводом матеріалу на мультимедійний екран. Лабораторні заняття по даному курсу формують навики 2D і 3D-моделювання.

Дуже важливим при підготовці до занять викладачем є підготовка різноманітних дидактичних матеріалів, виходячи з навчальних можливостей студентів (рівня засвоєння знань), індивідуального темпу роботи.

Основними напрямками інноваційних підходів підвищення якості викладання графічних дисциплін для студентів з вадами слуху є:

- модернізація форми викладу навчального матеріалу на базі нових інформаційних технологій у вигляді електронних лекцій, вправ, лабораторних робіт, навчальних посібників;

- зміна організації навчального процесу в бік збільшення самостійної роботи студентів, в тому числі і на персональних комп'ютерах;

- коригування навчального матеріалу відповідно до необхідності ущільнення знань і формування індивідуальних освітніх траєкторій;

- моніторинг засвоєння знань і навичок.

В результаті інноваційних підходів при викладанні графічних дисциплін спостерігається усвідомлення студентами значимості графічної підготовки в майбутній професійній діяльності.

Література

1. Морозенко О.П. Комп’ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки/ О.П. Морозенко, І.В. Вишневський: Частина 3: Навч. посібник.–Дніпро: НМетАУ, 2018. –44с.

2. Морозенко О.П. Основи твердотільного моделювання фізичних об’єктів/ О.П. Морозенко, І.В. Вишневський, Г.В. Малишко: Частина 1: Навч.посібник– Дніпро: НМетАУ, 2020. – 64 с.

3. Морозенко О.П. Комп'ютерні методи нарисної геометрії та інженерної графіки/ О.П. Морозенко, Г.В. Малишко: Частина 3: Конспект лекцій. -Дніпро: НМетАУ,2019,-48с.

4. Морозенко О.П. Інженерна графіка. Робочий зошит для самостійної роботи та практичних занять для студентів усіх спеціальностей (бакалаврський рівень) / О.П.Морозенко, І.В.Вишневський: – Дніпро: НМетАУ, 2019. – 28 с.

ОРГАНІЗАЦІЯ ДИСТАНЦІЙНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ ТА ПАТЕНТОЗНАВСТВО» В КПІ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО

Ромашко А.С. к.т.н., доц., Гаврушкевич Н.В.

Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Україна

Навчальна дисципліна «Інтелектуальна власність та патентознавство», яка викладається в КПІ ім. Ігоря Сікорського магістрантам І-го року навчання, наразі складається з двох частин: «Право інтелектуальної власності» (читається викладачем з юридичною освітою) та «Патентознавство та набуття прав» (читається викладачем з технічною освітою). В цій публікації буде висвітлений досвід викладання частини дисципліни «Патентознавство та набуття прав» в умовах дистанційного навчання та в умовах зміни законодавства, яке відбулося перед початком нового навчального року.

Проблема полягає в тому, що під час дистанційного навчання, зумовленого пандемією, викладачі та студенти втратили деякі можливості, властиві лише контактному спілкуванню. Причому студент повинен набути компетенції щодо створення об'єктів інтелектуальної власності, патентного пошуку, складання документів для реєстрації майнових прав як в Україні, так і за її межами. Студент – потенційний (чи й реальний) винахідник, якому потрібно засвоїти необхідність охорони своїх прав інтелектуальної власності та привити культуру поводження з інтелектуальною власністю інших творців (звичайно засновуючись на дотриманні законодавства). Оптимальним є надання потенційному винахіднику інформації, яка би стала підґрунтям для складання заявок самостійно чи в співробітництві з патентним повіреним.

Раніше викладач міг коригувати процес викладання, використовуючи невербальне спілкування з аудиторією (жести, міміка, вигуки та інші знаки, які виражають здивування, зацікавленість, втрату інтересу і т. інше). Студенти при цьому «відчували» теж не лише викладача, а й своїх одногрупників та однокурсників. При спільній взаємодії в аудиторії процес викладання регулювався викладачем на основі отримуваної від аудиторії «зворотнього відгуку». Аудиторію в звичайному режимі легше «зачепити» та спонукати до дискусії. Роботи на практичних легше перевірити усно, вказавши на помилки.

Ситуація змінилась і відчути реакцію аудиторії викладач не може. Студент вже не відчуває плеча колег і його не цікавить викладач, що розмовляє з екрану монітору. Додає проблем те, що ніхто не розуміє, чи це тимчасове явище не стане постійним.

Питаннями роз'яснення аспектів набуття прав на винаходи (корисні моделі) займались П.П. Крайнєв, Ю.М. Кузнєцов, Мікульонок І.О., Войтко С.В., але публікації зазначених дослідників не відповідають чинному на сьогоднішній час законодавству, навчальним програмам дисциплін і не призначені для викладання матеріалу дистанційно (те ж саме треба сказати і про напрацювання авторів цієї публікації).

На початок «дистанційного» навчального року ми зіткнулися з таким:

– впроваджені нові редакції Законів України стосовно винаходів, корисних моделей, промислових зразків, торговельних марок;

– не приведені до вимог нових редакцій Законів відомчі нормативно-правові акти, в тому числі і щодо географічних зазначень, і щодо напівпровідникових виробів;

– відсутнє методичне забезпечення, де відображені вимоги останніх змін законодавства;

– університетські служби вимагають реєстрації акаунтів в корпоративному середовищі, гугл-класів та відображення інформації в інших електронних засобах.

Така ситуація, як виявилось, мала і свої позитивні моменти:

– більшість викладачів були змушені впорядкувати свої навчально-дидактичні матеріали і розробити презентації, засновані на вимогах нових редакцій Законів (оскільки у більшості жодних презентацій не було, а використовувались різні посібники, методичні вказівки, конспекти, адаптовані під очні аудиторні заняття);

– були змінені підходи до виконання практичних робіт, орієнтовані на залучення студентів до роботи саме на дистанційному занятті;

– були напрацьовані бази даних для завдань як на практичних заняттях, так і на заліку у вигляді тестів;

– спрощена комунікація зі студентами за рахунок використання телеграм-груп.

Підсумовуємо наш досвід і порядок виконання навантаження:

– Створений силабус, орієнтований на формування інтересу студентів до відвідування занять в он-лайн режимі та отримання балів за виконану роботу.

– Створені телеграм-групи, де викладаються силабус, література та де викладачі відповідають на питання студентів. Під час такого спілкування ми орієнтуємо студентів на отримання додаткових балів шляхом проходження курсу Всесвітньої організації інтелектуальної власності DL-101.

– В корпоративних акаунтах створені гугл-класи, де викладені матеріали за курсом та за практичними заняттями, відбувається перевірка зданих робіт, відображена звітність по кожному студенту.

– Лекційні заняття. Під час лекційних занять студенти заходять на заняття та реєструються. Усну перекличку ми вважаємо виконувати недоцільно, щоб не витрачати час. Рідко хто із студентів показує обличчя на перших заняттях (ставлять аватар), важко зрозуміти чи слухають вони, бо лише один з 20-ти, від присутніх, як правило, задає питання. Бали за відвідування лекцій не виставляємо.

– Практичні заняття. Ми адаптували наше методичне забезпечення до он-лайн занять. На кожне заняття розроблений протокол, але його заповнюють не всі, а лише відсутні на занятті студенти (для мотивації). Присутні студенти виконують лише завдання викладача після викладання теоретичної частини і розбору прикладів виконання. При виконанні завдань незрозумілі моменти студенти показують на екрані. У присутніх час на здачу завдання – доба. У відсутніх – до 2-х тижнів. Студенти можуть виконувати практичні за завданням викладача або за темою своєї бакалаврської/магістерської роботи. Наприклад, перше практичне присвячено пошуку індексу Міжнародної патентної класифікації і роботі з базами Укрпатенту та PATENTSCOPE і студенти обирають або завдання за варіантом, або відповідно до своїх професійних інтересів.

– Після першого практичного заняття в такому режимі кількість студентів, присутніх на лекціях і наступних практичних, зростає.

– Розроблені модульні контрольні роботи у вигляді тестування, до яких надається доступ протягом доби. Час на виконання контрольної – 1 година.

– Бали за усіма заняттями і додаткові бали підсумовуються і студент або погоджується з ними, або пише залікову роботу у вигляді тесту.

Незважаючи на зазначені напрацювання, робота і викладача, і студента в дистанційному режимі значно ускладнилась. Але студенти при цьому все ж отримують мінімум систематизованих знань, які дозволяють оформити перші заявки і є базою для майбутнього постійного розвитку та вдосконалення.

УДК 371:004

ПРАКТИКА ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ ПІД ЧАС COVID-19

Харун В.Р., к.т.н, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Вступ. З 12 березня 2020 року в Україні вперше було запроваджено тритижневий карантин у зв'язку з епідемією COVID-19. Під час карантину учням і студентам заборонили відвідувати заклади освіти. Всім здавалось, що ці обмеження тимчасові, але продовження карантину в квітні та травні поставило перед університетами вимогу швидкого розвитку дистанційної освіти. Актуальним залишається це питання і в даний час. За аналізом ситуації проведеним Державною службою якості освіти [1], яка ґрунтувалась на анонімному опитуванні науково-педагогічних працівників упродовж 23.04.2020-05.05.2020р., близько 83% вузів України не розглядали розвиток дистанційних технологій в організації освітнього процесу як окрему стратегію.

Українські науковці [2], провівши дослідження, ідентифікували наступні недоліки впровадження дистанційного навчання:

1.Недостатність технічного оснащення, оскільки проведення лекцій, практичних та лабораторних занять в дистанційній формі вимагає наявність швидкісного інтернету, відповідної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

2.Виникнення психологічних проблем, оскільки відсутність безпосереднього спілкування, отримання завдань в електронному вигляді та пересилання розв'язків збільшує час сприймання даного матеріалу. Також, враховуючи, що часто в сім'ї комп'ютер один, дітей - декілька, а батьки переведені на дистанційну форму роботи, то виникають проблеми з можливістю освоєння матеріалу.

Основний матеріал. Із такими ж проблемами зустрілись і викладачі нашої кафедри технічної механіки Івано-Франківського національного університету нафти і газу (ІФНТУГ). Нашою кафедрою викладаються технічні дисципліни: прикладна механіка, теорія механізмів і машин, інженерна механіка, механіка машин і т.д.

Ці дисципліни навчають студентів роботи зі структурними, кінематичними схемами механізмів, проведення кінематичних та динамічних розрахунків. При цьому вивчаються графічні, графо-аналітичні та аналітичні методи розрахунків, які вимагають наявності у студентів певних навичок в роботі з системами автоматизованого проектування AutoCAD, КОМПАС, систем комп'ютерної алгебри, наприклад, Mathcad та ін. Для освоєння такого матеріалу до епідемії COVID-19, здавалось, альтернативи, окрім тісного спілкування зі студентом наживо в аудиторії, не існує. Тому дистанційна форма навчання розвивалась досить повільно. Звичайно, в університеті вже кілька років впроваджувалась система віртуального освітнього середовища Moodle, але, як правило, для студентів заочної форми навчання.

Карантинні обмеження враз все змінили. Автори [3] вказують на оновлену роль викладача, що стає наставником-консультантом, який координує процес навчання, постійно вдосконалюючи власні курси та навички.

Поділюсь своїм досвідом. Для засвоєння студентами теоретичного матеріалу дисципліни, читання лекцій проводиться за допомогою програми відеозв'язку ZOOM через презентації, створені в програмі Microsoft PowerPoint. Такі презентації, для кращого розуміння, часто доповнюються відповідними навчальними фільмами. У той самий час доступний електронний варіант конспекту лекцій, який можна скачати з сайту науково-технічної бібліотеки ІФНТУНГ. Наявність конспекту лекцій обов'язкова, оскільки досить часто студенти слухають лекції через мобільні телефони, які мають невеликий екран, а тому складні схеми механізмів погано сприймаються ними. Для покращення освоєння матеріалу презентація завантажується у відповідний месенджер - Viber або Telegram, в якому створюється група відповідної навчальної дисципліни. Через цей месенджер здійснюється і зворотній зв'язок із студентами: їм відсилаються завдання на контрольні роботи і приймаються відповіді. Перевага використання месенджеру перед системою Moodle полягає в тому, що об'єм інформації яку можна розмістити в Moodle, часто обмежується через технічні можливості університетського сервера, тому файли великих об'ємів або відеозапис лекції неможливо розмістити на ньому.

Проведення практичних занять здійснюється також з використанням програми відеозв'язку ZOOM. Дуже важливою характеристикою для проведення занять в цій програмі є можливість проведення відеозапису. Тому студенти, які з якоїсь причини пропустили заняття, мають можливість переглянути запис у зручний для себе час.

Як недолік дистанційної форми можна відмітити неможливість використання моделей механізмів, робота з якими покращує розуміння матеріалу.

Проведення перевірки теоретичних знань студентів відбувається через тестові завдання на виконання яких для них відводиться певний час.

Виконання контрольних робіт здійснюється студентом в зошиті з фотографуванням відповіді і завантаженням в Telegram.

Окремо можна відмітити переваги дистанційної форми освіти при виконанні курсових проектів. Крім виділених днів на консультації для групи, яка відбувається в ZOOMі, студент може звернутись до викладача в будь-який момент часу, помістивши відповідне запитання в месенджері.

Висновки. Епідемія Covid-19, яка є надзвичайно небезпечним явищем для всього світу, з іншого боку спричинила поштовх розвитку дистанційних форм освіти. Для цього перед викладачем постала задача всебічного та швидкого освоєння нових програм та месенджерів. Можна виділити хорошу сторону дистанційного навчання – це швидкий доступ студентом до інформації, можливість кращого сприйняття інформації.

Також дистанційна форма виявила ряд недоліків серед яких: недостатня технічна оснащеність як університетів, так і самих студентів, що не дозволяє якісно використовувати необхідні програмні комплекси. Застосування програмних комплексів, на які університети мають відповідні ліцензії, можливе тільки в спеціалізованих комп'ютеризованих класах, тому студентам до них потрібен онлайн доступ, що також пов'язано з якістю інтернет зв'язку.

На розробку відеопрезентацій та комп'ютеризованих прикладів розв'язку задач викладачі витрачають значну кількість часу.

Наявність електронної бази розв'язків задач, яку студенти формують під час семестру, вимагає від викладача постійної їх зміни, оскільки в наступному році студенти можуть користуватись роботою своїх попередників.

Відсутність безпосереднього спілкування між викладачем та студентом в аудиторії створює труднощі в освоєнні ним матеріалу, оскільки викладач може роз'яснювати матеріал із врахуванням індивідуальних особливостей студента.

Література

1. Інформаційно-аналітична довідка про результати опитування щодо стану використання технологій дистанційного навчання у закладах вищої освіти України (Електронний ресурс): Державна служба якості освіти – Електрон.дан. – [Україна], 2020. – Режим доступу: https://www.sqe.gov.ua/index.php/uk-ua/monitorynh-systemy-osvity/255-diialnist/monitorynh-systemy-osvity/monitorynh-systemy-osvity-2020/1365-monitorynhu-systemy-osvity-2020

2. Covid-19 та дистанційне навчання у закладах вищої освіти України: аналітичний огляд наукових публікацій з міжнародних видань (Електронний ресурс): Національний університет біоресурсів і природокористування України – Електрон.дан. – [Україна], 2020. – Режим доступу:https://nubip.edu.ua/node/79877

3. Berezhna S., Prokopenko I. Higher Education Institutions in Ukraine during the Coronavirus, or COVID-19, Outbreak: New Challenges vs New Opportunities // Revista Romaneasca pentru Educatie Multidimensionala. – 2020. – Vol. 12, Is. 1 Sup. 2. – P. 130-135).

Зміст

Секція 1

Системний аналіз і синтез процесів у металургії та машинобудуванні

Section 1

System analysis and synthesis of processes in metallurgy and machine-building

Аджамський С.В., Кононенко Г.А., Подольський Р.В.
Дослідження впливу шорсткості на властивості сталі AISI 316L методом реєстрації макролокалізаційних полів Investigation 4

Андрюхін Р.П., Молчанов Л.С., Синегін Є.В.
Фізичне моделювання гомогенізації сталі при фінішному легуванні у виливниці 9

Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Дьоміна К. Г., Подольський Р.В., Сафронова О.А.
Дослідження гарячої пластичної деформації лабораторних осьових плавок 12

Бабаченко О.І., Кононенко Г.А., Клемешов Є.С., Подольский Р.В.
Застосування моделювання в програмному комплексі QFORM VX 8.2 для визначення раціональних швидкостей охолодження ободу залізничних коліс 17

Баглай А.В.

Визначення технічного стану обладнання лінії приводу прокатних валків по швидкості розповсюдження ударного імпульсу..... 21

Гречаний О.М., Васильченко Т.О.,

Цімахович Д.В., Гузь Е.А., Кармазін М.О.

Вплив зміни параметрів технологічного процесу на коефіцієнт динамічності обладнання..... 25

Доценко Ю.В., Селівьорстов В.Ю., Насонов Д.М., Насонов М.М.

Перспективи поліпшення властивостей вторинних ливарних сплавів системи Al-Si з використанням процесу модифікування 28

Івасів В.М., Артим В.І., Дейнега Р.О.,

Буй В.В., Фафлей О.Я., Михайлюк В.В.

Прогнозування залишкового ресурсу дефектної ділянки нафтопроводу...34

Івасів В.М., Дейнега Р.О., Фафлей О.Я., Михайлюк В.В., Кравчук Р.С.

Огляд способів ремонту пошкоджених ділянок трубопроводів 37

Molchanov L., Arendach N., Synehin Y.

Study of metal homogenization in teeming ladles with use of various bottom blowing devices for oxidative blowing 41

Молчанов Л.С., Голуб Т. С., Синегін Є.В., Семикін С.І.

Дослідження на фізичній моделі особливостей впливу запиленості середовища на якісні показники газового, палаючого факелу..... 45

Ступак Ю.О.

Про деякі особливості лабораторних досліджень процесу горіння пилоподібного палива..... 47

Timoshenko S., Nemtsev E., Gubinski M.

Energy efficient water-cooled elements for foundry class electric arc steelmaking furnaces 55

Секція 2

Інформаційні технології в процесах одержання

матеріалів із заданими властивостями

Section 2

Information technologies in the processes of obtaining

materials with specified properties

Bobyr S., Loshkarev D.
Physico-chemical modeling of phase separation in Fe-21.4 Cr steel with 1.14 Mo taking into account cross factors 60

Богдан Д.А., Балакін В.Ф., Штода М.М.
Математична модель силової і деформаційної взаємодії смуги і валків при прокатці з інтенсивною пластичною деформацією 64

Жуковицький І.В., Устенко А.Б., Дзюба В.В.
Використанням аналітичного та імітаційного моделювання для оцінювання точності вимірювання ходового опору руху вагонів на сортувальних гірках..... 67

Іванчук Я.В., Іскович-Лотоцький Р.Д., Севостьянов І.В., Веселовська Н.Р., Манжілевський О.Д.
Математична модель динаміки дисперсного середовища в процесах формоутворення заготовок порошкової металургії 70

Музика Л.В., Євсеенко М.В.
Автоматизація процесу керування струминним подрібнення за результатами акустичного моніторингу 76

Парусов Е.В., Губенко С.І., Воробей С.О., Чуйко І.М.
Визначення раціональних параметрів охолодження бунтового прокату зі сталей перлітного класу в лінії дрібносортно-дротового стана..... 79

Петрина Д.Ю., Кикавець В.М.
Розвиток трубопровідних сталей україни та порівняння
зі світовими стандартами 84

Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Мала Ю.А.
Особливості реалізації дробно-диференційного підходу
для опису процесу живлення двофазної зони, що утворюється
при затвердінні металів і сплавів 88

Тарасов С.В., Дорош О.В.
Статичний і динамічний аналіз Н-роторів Дар'є з
розсувними лопатями і траверсами 92

Секція 3

Математичне моделювання складних систем

Section 3

Mathematical modeling of complex systems

Базилевич Ю. М.
Декомпозиція матричних математичних моделей 95

Балакін В.Ф., Савкин С.В.
Математична модель вібраційної обробки металу при
зварюванні трубних заготовок 96

Baryshych L., Baklan I.
Using evolutionary games theory for players behavior analysis in
competitive shooting games: a literature review 101

Білова О.В., Білова Ю.О.
Асимптотичний метод розв'язання задачі про контакт скріплених ортотропних пластин, посилених стрингером 104

Біляєв М.М., Біляєва В.В., Берлов О.В.
Математичне моделювання наслідків екстремальних ситуацій на промислових об'єктах..... 107

Гарт Е.Л., Терьохін Б.І.
Концентрація напружень в однорідній пластині з круговим отвором, підкріпленим включенням із функціонально-градієнтного матеріалу ... 110

Гнилиця І.Д.
Модель процесу високотемпературного деформування кераміки на основі нітриду кремнію..... 116

Франтішек Б.
Математична модель динаміки залізничного автономного тягового модуля 119

Горячкін В.М., Могилевець В.А.
Математичне моделювання теплообміну та переносу теплоти в потоці рідини в циліндричному каналі 121

Грищенко А.А.
Основні напрями сучасних досліджень регуляризації енергії в теорії гравітації 125

Грищенко А.А.
Простори змінної розмірності..... 128

Єршова Н.М., Вельмагіна Н.О.
Моделювання і оптимізація параметрів процесу взаємодії трьох підприємств в єдиній виробничій системі 131

Желдак Т.А., Зіборов І.К.
Керування параметрами оптимізаційного алгоритму на основі моделювання штучної імунної системи 136

Калюжняк А.В., Гоменюк С.І.
Функціональне геометричне моделювання в розподілених комп'ютерних системах 141

Карпенко С.Л., Лебеденко Ю.О., Рудакова Г.В., Рудакова А.А.
Моделювання схеми розташування активного дощувального обладнання закритої зрошувальної системи 145

Кісельов Є.М., Алексієвський Д.Г., Туришев К.О.
Синтез моделі трипроміневого датчика озону 148

Кононов Д.О., Мірошник Є.С.
Експерементальне дослідження переходніх процесів вібраційної машини з інерційним приводом 153

Косолап А.И.
Оценка численной эффективности методов глобальной оптимизации ... 157

Krasnikov K., Lyzhov M.
Computer modelling of slag foaming in convertor 162

Мартинов С.О., Лук'янова В.П., Хажмурадов М.А.
Моделі та методи розрахунку напружено-деформованого стану замкнутої магнітної системи 164

Мельник В.Є., Кривошея А.В., Ткач П.М., Филь Р.С.
Математичне моделювання формоутворення циліндричних зубчастих коліс 168

Міщенко В.Ю.
Узагальнення алгоритмічної моделі для роботи руднотермічної печі..... 171

Полевой О.Б.
Прямое численное моделирование акустических колебаний при дозвуковом турбулентном обтекании круговых цилиндров 175

Поліський Ю.Д.
Про один підхід до виконання немодульної операції порівняння чисел в модулярній системі залишкових класів 178

Поляков М.А.

Представление знаний в конечных автоматах систем управления..... 181

Пошивалов В.П., Данієв Ю.Ф., Резниченко Л.В.

Класифікація методів забезпечення надійності інформаційних систем . 185

Прохорець С.І., Хажмурадов М.А.

Параметри для оптимізації установки для нейтронної радіографії 187

Саричев О.П., Первій Б.А.

Виявлення змін у русі космічних об'єктів на
основі авторегресійних моделей 191

Скалозуб В.В., Мурашоов О.В.

Моделювання процесів моніторингу при нерівномірних і
нечітких інтервалах спостережень 193

Степаненко Д.О., Вергун О.С., Кисляков В.Г.,
Петруша В.П., Пушкаренко М.В.

Прогнозування фізико-хімічних властивостей ковшових шлаків на основі
концепції направленого хімічного зв’язку 195

Стьопкін В.В., Юдін О.В., Котляр М.В., Паламарчук О.О.

Проблеми побудови асинхронних електроприводів зі
спостерігачами стану 198

Федотова М.О., Скриннік І.О., Осадчий С.І., Трушаков Д.В.

Моделювання системи автоматичної стабілізації
висоти киплячого шару 202

Хомченко А. Н., Литвиненко О.І., Дудченко О.М., Астіоненко І.О.

Стереометрія стиснутих коноїдів елемента Q8 206

Юдін А.В., Нежурін В.І., Куваєв В.Ю.

Оцінка показників якості сучасних систем керування приводом
вагоноперекидача ДМЗ шляхом математичного моделювання 210

Секція 4

Інтелектуальні інформаційно-управляючі системи та технології

Section 4

Intelligent information management systems and technologies

Алієв Р.А, Лабуткіна Т.В.
Керування задачами у вузлах інформаційної системи мережного типу: інтеграція концепцій 215

Ананко Р.В., Лабуткіна Т.В.
Планування застосування системи пристроїв на множині обєктів при схемі елементарної операції «один об'єкт – k пристроїв» 220

Безуб В.М.
Метод генерування випадкової величини з заданою функцією розподілу226

Грицик В.В., Щербина І.В.
Дослідження оптимізаційних властивостей порогової техніки..... 228

Зінченко А.В., Благій О.Ю.
Дослідження впливу параметрів декодера FFMPEG на продуктивність декодування відео..... 231

Калініна І.О., Гожий О.П.
Ідентифікація та обробка аномалій даних в задачах машинного навчання233

Kapitonov O.G.
The cyber-physical system for coulostatic experiment. The corrosion monitoring unit 237

Korotka L., Karasov O.
The use of fuzzy clustering for building a knowledge base in the problems of predicting the durability of corroding structures 239

Круковський О.П., Ларіонов Г.І.

Про один метод оцінки чутливості функцій в технічних задачах 242

Купін А.І., Градовий О.В.

Деякі аспекти побудови власного енцефалографа для діагностики мозкової активності людини-оператора 246

Легенков О.Д., Лабуткіна Т.В.

Керування навантаженням мережі зв'язку з віртуальною фрагментацією і врахуванням поточної «композиції» перевантажених фрагментів 248

Малієнко А.В.

Математичні моделі задач оптимального розміщення зарядних станцій електромобілів і визначення зон їх обслуговування 253

Островська К.Ю., Мінаєнко А.С.

Застосування нейромережних технологій для виявлення пневмонії по рентгенівським знімкам 257

Очеретяний О.К., Баклан І.В.

Порівняльний аналіз систем проектування проблемно-орієнтованих мов програмування..... 260

Прокопчук Ю.О.

Автономні системи: когнітивні обчислення на засадах парадигми граничних узагальнень 263

Псьол С.В., Рудик О.Ю., Ковбасюк А.В.

Дослідження хрестовини рульового керування за допомогою SOLIDWORKS SIMULATION 268

Solodka N., Dorosh N.

Decision making when choosing computer-aided engineering software 272

Спірінцев В.В.

Мобільний додаток для контролю регламенту обслуговування транспортного засобу..... 275

Тогобицька Д.М., Бєлькова А.І., Степаненко Д.О., Ліхачов Ю.М.
Моделювання коефіцієнтів розподілу елементів шихти між кінцевими продуктами доменної плавки в сучасних умовах 278

Секція 5

Прогресивні інформаційні технології та організація сучасного виробництва

Section 5

Progressive information technologies and organization of modern production

Біляєв М.М., Русакова Т.І.
Оцінювання та забезпечення іонізації повітряного середовища в робочих зонах 284

Глоба Н.І., Дмитрієва І.С.
Розробка алгоритму для побудови системи діагностики стану мережі 287

Гнатушенко Вік.В., Руденко В.П., Царик В.Ю.
Використання хмарних технологій при проектуванні IT бізнес моделі підприємства 289

Клименко С.В., Кисельов П.Г.
Ультразвуковий контроль виробів з композитних матеріалів 291

Малайчук В.П., Клименко С.В., Астахов Д.С.
Оцінка інформативності математичних очікувань експериментальних вибірок вимірювань з невідомими статистичними закономірностями ... 293

Малайчук В.П., Клименко С.В., Лисенко Н.О.
Комп'ютерно-інтегровані технології розпізнавання вибірок експериментальних вимірювань 295

Кобрій В.В., Фешанич Л.І.
Дослідження автоматизованої зернової сушарки барабанного типу 297

Кусий Я.М., Погорілий Ю.О.
Технологічне успадковування властивостей виробів в умовах самоорганізації технічних систем 301

Мороз Д.М.
Модель паралельних обчислень з безперервним часом 305

Онисько О.Р., Лобур О.М., Романюк Я.С.
Основи автоматики профілювання замкової нарізі 310

Приходько І.Ю., Парусов Е.В., Парусов О.В., Чуйко І.М.
Про умови отримання високоміцної холоднодеформованої арматури з використанням непривідної кліті 313

Redchyts D., Polevoy O., Tarasov S., Moiseienko S., Tuchyna U., Chashyna I., Tuchyna M.
Computational fluid dynamics: supercomputers, program tools, young scientists 318

Сорокін Є., Байкіна К.
Оптимізація складу коксованих сумішей для отримання коксу заданих властивостей 322

Секція 6

Системні технології обробки інформації та кібербезпека

Section 6

System information processing technologies and cybersecurity

Ігнатьєва В.Б.
Систематизація науково-технічної інформації в електронних базах данних 326

Kosolapov A.
The task of redesigning large distributed corporate system 330

Liashenko O., Dorosh N.
Technologies of software development based on non-relative databases 334

Секція 7

Інноваційні підходи підвищення якості навчального процесу та питання анти плагіату

Section 7

Innovative approaches to improving the quality of the educational process and the issue of anti-plagiarism

Жеваго О.О., Шинкаренко В.І.
Виявлення навичок відлагодження програм методом підсіву помилок ..339

Зінченко М.Д., Потап О.Ю., Рибальченко М.О., Маначин І.О.
Модернізація лабораторного прокатного стана 150 для формування у студентів навичок дослідження об'єкта автоматизації 341

Карабут В.М.
Розробка програмного забеспечення для дослідження якості поверхневого шару, обробленного поверхнево-пластичним деформуванням 345

Мазуренко В.Б.
Застосування засобів графічного програмування в процесі навчання студентів технічного направлення..... 347

Морозенко О.П., Грибанова Н.Ю.
Інноваційні підходи підвищення якості викладання графічних дисциплін для студентів з вадами слуху 349

Ромашко А.С., Гаврушкевич Н.В.
Організація дистанційних занять з дисципліни «Інтелектуальна власність та патентознавство» в КПІ імені Ігоря Сікорського 352

Харун В.Р.
Практика дистанційного навчання під час COVID-19 356