

POLITECHNIKA OPOLSKA

CENTRUM EDUKACJI I ZASTOSOWAŃ MATEMATYKI

Współorganizatorzy:

UNIwersytet Techniczny w Ostrawie (Czechy)

UNIwersytet Techniczny w Koszycach (Słowacja)

Instytut Problemów Stosowanych

Mechaniki i Matematyki (IPSM)

Narodowej Akademii Nauk

UNIwersytet Narodowy „Politechnika Lwowska” (UNPL)

(Ukraina)

International Scientific Seminar

***OPTIMIZATION OF THE STRUCTURES OF
MANUFACTURING PROCESSES - 2024***

Proceedings

Międzynarodowe seminarium naukowe

***OPTYMALIZACJA STRUKTUR PROCESÓW
WYTWÓRCZYCH - 2024***

Materiały



OPOLE

17 grudnia 2024

OPOLE 2024

KOMITET NAUKOWY

PRZEWODNICZĄCE:

Hachkevych O.,
Koziarska A.,
Stanik- Besler A.

CZŁONKOWIE:

Bozhenko B., Kubus M., Musii R.,
Pączko D., Terlets'kyi R.

KOMITET ORGANIZACYJNY:

Bozhenko B., Ivas'ko R., Koziarska A.,
Melnik N., Szylicka Z.

JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE:

Centrum Edukacji i Zastosowań Matematyki PO,
Wydział Teorii Pól Fizyczno-Mechanicznych IPSMM,
Katedra Matematyki Wyższej UNPL

ZAKRES TEMATYCZNY:

1. APLIKACJE NAUK PODSTAWOWYCH I UWZGLĘDNIENIE CZYNNIKÓW TOWARZYSZĄCYCH W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

BASIC SCIENCE APPLICATIONS AND CONSIDERATION OF RELATED FACTORS IN MANUFACTURING PROCESSES

2. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

MODELING AND OPTIMIZATION IN MANUFACTURING PROCESSES

SEKRETARIAT SEMINARIUM:

POLITECHNIKA OPOLSKA

Centrum Edukacji i Zastosowań Matematyki
ul. Prószkowska 76, budynek 2, p. 308, Opole
tel. 77 – 449 87 28

Wydano w formie pliku: http://www.iapmm.lviv.ua/13/dPage_OSPW/index.html

SPIS TREŚCI

REFERATY ZAMAWIANE

1. O. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA, A. STANIK-BESLER PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2024	9
2. A. METELSKI, M. WIATR PROBLEMY SEGMENTACJI SZEREGÓW CZASOWYCH	16
3. O. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, A. KOZIARSKA, R. TERLETS'KYI OSOBLIWOŚCI PARAMETRÓW OKREŚLAJĄCYCH POLA POŁĄCZONE: ELEKTROMAGNETYCZNE, CIEPLNE ORAZ MECHANICZNE W NIEFERROMAGNETYCZNYCH CIAŁACH O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY TECHNOLOGICZNYM QUASI-USTALONYM ODDZIAŁYWANIU ELEKTROMAGNETYCZNYM	21
4. A. SCHWALBE-TISZBIEREK WYBRANE PROBLEMY WSPÓŁCZESNYCH TECHNOLOGII CYFROWYCH WYKORZYSTYWANYCH W PROCESIE EDUKACJI	27
I. BASIC SCIENCE APPLICATIONS AND CONSIDERATION OF RELATED FACTORS IN MANUFACTURING PROCESSES	
1. V. STELMASHCHUK OPTIONS PRICING MODEL BASED ON THE FINITE ELEMENT METHOD	35
2. M. KUBUS PROBLEM OF HIGH DIMENSION OF FEATURE SPACE. REGRESSION TREES	36
3. M. HACHKEVYCH, M. KŁAPCHUK, R. MUSII, O. NAZARUK TEMPERATURE FIELDS AND STRESSES IN A THREE-LAYER COMPOSITE PLATE CAUSED BY CONVECTIVE HEATING	37
4. B. BOZHENKO, O. HACHKEVYCH, R. KUSHNIR, R. TERLETS'KYI THERMOMECHANICS OF NON-FERROMAGNETIC BODIES WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC INTERACTION. SELECTED MATHEMATICAL PROBLEMS	38
5. O. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, A. KOZIARSKA, R. TERLETS'KYI PHENOMENOLOGICAL (PHYSICAL) EQUATIONS FOR DESCRIBING A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD IN A NON- FERROMAGNETIC ENVIRONMENT WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN THE INDUCTION HEATING PROCESS	39
6. B. CHORNYI, R. IVAS'KO, A. MARYNOWICZ, V. MISHCHENKO ELECTROMAGNETIC FIELD IN A NONFERROMAGNETIC SOLID OF LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD	40

7. B. BOZHENKO, L. HAYEVS'KA, A. STANIK-BESLER, A. TORS'KYI	
QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD IN A NON-FERROMAGNETIC SOLID OF LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY. FACTORS OF INFLUENCE	42
8. O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER, R. TERLETS'KYI, I. MAKHORKIN	
THERMOMECHANICAL STATE OF A NON-FERROMAGNETIC SOLID WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF AN EXTERNAL QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD	44
9. Z. SZYLICKA, M. WIATR, K. WOJTECZEK-LASZCZAK	
CONCEPTS OF FIRST-YEAR STUDENTS OF SELECTED FIELDS OF STUDY AT THE OPOLE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AT THE BEGINNING OF THE ACADEMIC YEAR 2023/2024 REGARDING THE PROPERTIES OF FUNCTIONS	46
 II. MODELLING AND OPTIMIZATION IN MANUFACTURING PROCESSES	
1. O. HACHKEVYCH, R. KUSHNIR, R. TERLETS'KYI, A. STANIK-BESLER	
NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD. THERMOMECHANICAL STATE	51
2. B. BOZHENKO, L. HAYEVS'KA, R. IVAS'KO, R. TERLETS'KYI	
DETERMINATION OF PARAMETERS DESCRIBING RESONANCE PHENOMENA IN A NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD	53
3. R. IVAS'KO, R. MUSII, A. RAWSKA-SKOTNICZNY, B. TRISHCH	
REGULARITIES OF THE DISTRIBUTIONS OF PARAMETERS DESCRIBING COMBINED FIELDS AND RESONANCE PHENOMENA IN A NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY SUBJECTED TO ELECTROMAGNETIC INFLUENCE	55
4. B. BOZHENKO, B. CHORNYI, R. TERLETS'KYI, T. WOLCZAŃSKI	
MODELING OF THE COUPLED FIELDS IN NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A QUASI-STATIONARY ELECTROMAGNETIC FIELD	57
5. N. MELNYK, R. MUSII, V. SHYNDER, A. STANIK-BESLER	
BIMETALLIC TUBULAR ELEMENT SUBJECTED TO AN ELECTROMAGNETIC PULSE DURING MODELING AND OPTIMIZATION OF INDUCTION HEATING REGIMES. CALCULATION SCHEME OF PARAMETERS DEFINING THE ELECTROMAGNETIC FIELD AND JOULE HEAT	59
6. K. GHAZARYAN, M. KLAPCHUK, R. MUSII, I. SVIDRAK	
ELECTRICALLY CONDUCTING PLATE SUBJECTED TO A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD DURING THE DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF INDUCTION HEATING REGIMES.	

CALCULATION SCHEME OF PARAMETERS DEFINING THE ELECTROMAGNETIC FIELD AND JOULE HEAT	61
7. N. IVAS'KO, R. IVAS'KO, A. STANIK-BESLER, R. TERLETS'KYI LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGICAL HEATING OF FLAT FERRITE ELEMENTS. THE IMPACT OF AN UNEVENNESS DISTRIBUTION OF EXTERNAL ELECTRIC CURRENT	64
8. O. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA, O. HUMENCHUK, R. TERLETS'KYI COUPLED FIELDS ARISING IN PARTIALLY TRANSPARENT SOLIDS CAUSED BY THERMAL IRRADIATION WHEN MODELING THE THERMOELASTIC STATE WITH CONSIDERATION OF THE SPECTRAL DEPENDENCE OF THE RADIATION CHARACTERISTICS	66
9. O. HACHKEVYCH, L. HAYEVS'KA, O. HUMENCHUK, S. MORYŃ REGULARITIES OF THE DISTRIBUTIONS OF PARAMETERS OF THE COUPLED FIELDS IN A PARTIALLY TRANSPARENT GLASS LAYER UNDER THERMAL IRRADIATION IN ORDER TO SIMULATE THE THERMOELASTIC STATE	68
10. A. KOZIARSKA, I. MAKHORKIN, M. MAKHORKIN, T. MAKHORKINA STATIONARY THERMAL STATE OF A MULTICOMPONENT COMPOSITE WEDGE. MODELLING AND MATHEMATICAL DESCRIPTION	70

REFERATY ZAMAWIANE



O. HACHKEYVYCH^{1,2}, A. KOZIARSKA¹, A. STANIK-BESLER¹

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2024

Dla rozbudowy coraz to bardziej złożonych procesów wytwórczych jednym z najważniejszych aspektów jest problem ich opracowania i ulepszania na podstawie ciągłego doskonalenia teoretycznych podstaw. Przy tym istotnym pozostaje szerokie zastosowanie metod i aplikacji nauk podstawowych, modelowania matematycznego i statystycznego oraz technik optymalizacyjnych, z jednoczesnym uwzględnieniem szeroko pojętych towarzyszących czynników: społecznych, ekonomicznych, ekologicznych, edukacyjnych, inżynierii produkcji, w szczególności inżynierii bezpieczeństwa, zarządzania, prawa, ochrony zdrowia i in. oraz formułowania zagadnień ich określających, przy powszechnym wykorzystaniu współczesnego komputerowego inżynieringu (dla którego charakterystycznymi cechami są multidyscyplinarność i wielobranżowość). Pewne korekty w tym wniosły osobliwości powiązane z pandemią spowodowaną przez COVID-19 i kolejne mutacje, a również odrębne jak międzynarodowe, tak i ogólnopństwowe wydarzenia.

Problemy powiązane z opracowaniem procesów wytwórczych są bardzo wielostronne i dotyczą jak teoretycznych, tak i inżynierskich, w tym eksperymentalnych ujęć, które w szczególności są powiązane z rozbudową podstaw odpowiednich wytwórczych i konstrukcyjnych rozwiązań, technologii, typów obróbki, warunków eksploatacji, linii produkcyjnych i in. przy uwzględnieniu naturalnych czynników towarzyszących tym procesom.

Badania dotyczące wspomnianych dziedzin prowadzone są przez działający od początku lat dwótysięcznych w Politechnice Opolskiej (przy współpracy z naukowcami innych naukowych kolektywów, w tym obcokrajowych) zespół pracowników naukowych, zajmujący się opracowaniem i rozbudową teoretycznych podstaw organizacji i realizacji procesów wytwórczych oraz koordynacją badań w tym obszarze. Charakterystycznym dla zespołu pozostaje koncentracja na celowych badaniach naukowych, dotyczących następujących trzech, ważnych w opracowaniu teoretycznych podstaw procesów wytwórczych, uogólnionych tematycznych kierunków:

- aplikacje nauk podstawowych w procesach wytwórczych;
- modelowanie i optymalizacja w procesach wytwórczych;
- inżynieria bezpieczeństwa w procesach wytwórczych.

W zalenoci od specyfiki i objętości spełnionych badań w konkretnych z przytoczonych kierunków one uściślają się w pewnych latach (2009, 2010, 2015, 2022-2024) do takich podstawowych:

2015

- aplikacje nauk podstawowych w procesach wytwórczych;
- modelowanie w procesach wytwórczych;
- optymalizacja w procesach wytwórczych.

2022-2024

- aplikacje nauk podstawowych i uwzględnienie czynników towarzyszących w procesach wytwórczych;
- modelowanie i optymalizacja w procesach wytwórczych.

Zagadnienia powiązane z czynnikami towarzyszącymi obecnie były włączane do trzeciego kierunku. W latach 2022-2024 wybrane zagadnienia trzeciego tematycznego kierunku zostały uwzględnione w dwóch poprzednich. Taka tematyka została mniej rozwijana w ostatnich trzech latach w mocniejszego zainteresowania studentów Politechniki Opolskiej różną problematyką inżynierii bezpieczeństwa.

Istotą stosowanego podejścia realizowanego przy przeprowadzonych badaniach z wymienionych wyżej kierunków tematycznych jest koncepcja rozwiązywania występujących problemów poprzez opracowanie odpowiednich modeli matematycznych opisujących rozważane procesy i zjawiska produkcyjne tak i towarzyszące, metod rozwiązywania sformułowanych przy tym zagadnień matematyki, fizyki i chemii oraz nauk towarzyszących, optymalizację tych procesów z uwzględnieniem eksperymentalnych i teoretycznych danych o ich istocie, a także dostosowania do wymogów wykazanych czynników społecznych, ekonomicznych, ekologicznych i inżynierii produkcji, w tym inżynierii bezpieczeństwa, zarówno w obszarze ogólnie rozumianego bezpieczeństwa pracy jak i bezpieczeństwa technicznego, powiązanych z efektywnym wytwarzaniem i kolejną realizacją i eksploatacją wyrobów, oraz czynników edukacyjnych, zarządzania, prawa, ochrony zdrowia, przy powszechnym zastosowaniu na wszystkich etapach symulacji komputerowej.

Szczególna uwaga poświęca się organizacji procesów wytwarzania i zarządzania działalnością oraz optymalnym funkcjonowaniem przedsiębiorstw w różnych dziedzinach przemysłu i gospodarki państwowej z uwzględnieniem spełnienia szeroko rozumianych wymogów wspomnianych problemów społecznych, ekonomicznych, ekologicznych, inżynierii produkcji, w tym bezpieczeństwa, logistyki, zarządzania, dydaktyki, opieki zdrowia i in. – w oparciu o zasady informatyki i specjalistyczne oprogramowanie.

Celem badań, prowadzonych w przedstawionych wyżej kierunkach tematycznych, jest ogólnie mówiąc opracowanie i udoskonalenie istotnych dla praktyki inżynierskiej procesów produkcyjnych i technologii, a także racjonalnego zarządzania nimi, w sposób umożliwiający osiągnięcie zamierzonych efektów jakościowych i ilościowych przy minimalizacji kosztów – szczególnie w obszarze zużycia materiałów i energii, przy zachowaniu koniecznych czynników logistycznych oraz marketingowych.

Z analizy różnorodnych aspektów organizacji procesów wytwórczych wynika, że w tej dziedzinie w każdym roku nadal wykonywana jest znaczna ilość ba-

dań, które mają zróżnicowany charakter i wymagają uogólnienia i systematyzacji. Próbę takiego usystematyzowania wiedzy oraz udostępnienia otrzymanych nowych danych we wspomnianych trzech obszarach tematycznych, powiązanych z wykorzystaniem wyników nauk podstawowych, modelowania i optymalizacji, a także metod dostosowania do wymogów inżynierii produkcji w połączeniu tej wiedzy z występującymi problemami społecznymi, ekonomicznymi, ekologicznymi i inżynierii produkcji, logistyki, opieki zdrowia i in. podjęto w Politechnice Opolskiej wydaniem przez szesnaście lat następującego cyklu monografii:

1. Modelowanie i inżynieria produkcji w ekorozwoju, Red. nauk. S. Szymura, OWPO SIM z. 236 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-42-7), Opole 2008.

Экологические аспекты производства и среды, Науч. ред. А. Гачкевич, OWPO SIM z. 237 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-43-4), Opole 2008.

Optimization of manufacturing processes, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 238 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-44-1), Opole 2008.

2. Optimization of the structures of manufacturing processes, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 256 (ISSN 1429-6063; ISBN 83-6691-69-4), Opole 2009.

3. Optimization of manufacturing processes and more environment, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 276 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-96-0), Opole 2010.

Modelowanie procesów wytworczych / Моделирование производственных процессов, Red. nauk. M. Gajek, O. Hachkevych, OWPO SIM z. 277 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-99-1), Opole 2010.

4. Manufacturing processes. Some problems, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 330 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-62736-85-0), Opole 2012.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 331 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-62736-86-7), Opole 2012.

– v. 3: Safety engineering in manufacturing processes, OWPO SIM z. 332 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-62736-87-4), Opole 2012.

5. Manufacturing processes. Actual problems – 2013, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 364 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-37-6), Opole 2013.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 365 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-38-3), Opole 2013.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 366 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-39-0), Opole 2013.

6. Manufacturing processes. Actual problems – 2014, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 399 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-87-1), Opole 2014.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 400 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-88-8), Opole 2014.

– v. 3: Inżynieria bezpieczeństwa w procesach wyтворчых, OWPO SIM z. 401 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-89-5), Opole 2014.

7. Manufacturing processes. Actual problems – 2015, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 426 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-24-4), Opole 2015.

– v. 2: Моделирование производственных процессов, OWPO SIM z. 427 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-25-1), Opole 2015.

– v. 3: Критериальная оптимизация в производственных процессах, OWPO SIM z. 428 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-26-8), Opole 2015.

8. Manufacturing processes. Actual problems – 2016, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 453 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-66-4), Opole 2016.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 454 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-67-1), Opole 2016.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 455 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-68-8), Opole 2016.

9. Manufacturing processes. Actual problems – 2017, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 472 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-93-0), Opole 2017.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 473 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-94-7), Opole 2017.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 474 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-95-4), Opole 2017.

10. Manufacturing processes. Actual problems – 2018, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 492 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-22-1), Opole 2018.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 493 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-23-8), Opole 2018.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 494 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-24-5), Opole 2018.

11. Manufacturing processes. Actual problems – 2019, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 523 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-60-3), Opole 2019.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 524 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-61-0), Opole 2019.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 531 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-70-2), Opole 2020.

12. Manufacturing processes. Actual problems – 2020, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 546 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-90-0), Opole 2020.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 547 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-91-7), Opole 2020.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 548 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66033-92-4), Opole 2020.

13. Manufacturing processes. Actual problems – 2021, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 562 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-13-5), Opole 2021.

– v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 563 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-14-2), Opole 2021.

– v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 564 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-15-9), Opole 2021.

14. Manufacturing processes. Actual problems – 2022, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:

– v. 1: Basic science applications and consideration of related factors in manufacturing processes, OWPO SIM z. 575 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-30-2), Opole 2022.

– v. 2: Modeling and optimization in manufacturing processes, OWPO SIM z. 576 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-31-9), Opole 2022.

15. Manufacturing processes. Actual problems – 2023, Ed. by: O. Hachkevych, A. Koziarska, A. Stanik-Besler:

– v. 1: Basic science applications and consideration of related factors in manufacturing processes, OWPO SIM z. 588 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-51-7), Opole 2023.

– v. 2: Modeling and optimization in manufacturing processes, OWPO SIM z. 589 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-66903-52-1), Opole 2023.

Monografie te na ogół wydawane są w postaci trzech lub dwóch tomów poświęconych wyodrębnionym obszarom wiedzy.

Niniejszy zakres tematyczny oraz zagadnienia omawiane na seminarium przedstawiają nowe rezultaty przeprowadzonych w latach 2023-2024 badań należących do następujących uogólnionych rozdziałów:

– aplikacje nauk podstawowych i uwzględnienie czynników towarzyszących w procesach wytwórczych;

– modelowanie i optymalizacja w procesach wytwórczych z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania i przenikania oraz pewnego wpływu warunków odrębnych zarówno międzynarodowych, jak i ogólnopolskich wydarzeń.

Pierwszy rozdział zakresu tematycznego przedstawia nowe rezultaty badań

dotyczących dziedziny zastosowania metod i aplikacji nauk podstawowych przy rozwiązywaniu zagadnień wybranych aspektów teoretycznych podstaw procesów wytwórczych z uwzględnieniem czynników towarzyszących (11 tematycznych Referatów). Z kolei w drugim rozdziale zakresu tematycznego zaprezentowano nowe wyniki badań, dotyczących modelowania matematycznego oraz optymalizacji przy opracowaniu procesów wytwórczych (11 tematycznych Referatów).

Z przedstawionych Referatów z zakresu tematycznego seminarium, który odbywa się corocznie już przez 16 lat, wypływa, że charakterystyczną i ważliwą osobliwością obecnego etapu rozwoju procesów wytwórczych nadal pozostaje konieczność rozwiązania wielu teoretycznych oraz praktycznych problemów wytwarzania wspólnie z występującymi jednocześnie towarzyszącymi zagadnieniami z innych dziedzin. Przy tym i nadal powstaje poszerzające przenikanie analitycznych, numerycznych i eksperymentalnych metod i modeli matematyki, fizyki i chemii w szczególności elementów szeroko rozumianego komputerowego inżynieringu, w różne aspekty opracowania procesów wytwórczych na podstawie głębokiego rozumienia istniejących procesów fizycznych i zjawisk, również jak czynników towarzyszących: ekonomicznych, ekologicznych, specjalistycznych technologicznych, dydaktycznych, inżynierii produkcji, logistyki, marketingu, inżynierii bezpieczeństwa, zarządzania, ochrony zdrowia i in. Te przenikanie pogłębia się poprzez osobliwości oddziaływania różnych niestandardowych czynników, powiązanych z pandemią i kolejnymi mutacjami oraz odrębnymi międzynarodowymi i ogólnopolskimi wydarzeniami. Odznaczona tendencja w rozwinięciu rozważanych kierunków wytwarzania (produkcji) będzie pogłębiać się pewnie i w przyszłości.

Podobnie jak w poprzednich latach rozwiązywanie omawianych złożonych zagadnień wytwarzania powiązane jest z kompleksowością takich badań naukowych, prowadzenie ich poprzez szeroki zespół specjalistów z różnych dziedzin nauki, co możliwe jest tylko w wyniku wszechstronnej ogólnopolskiej i międzynarodowej współpracy pomiędzy odpowiednimi jednostkami naukowymi. Podтверdzają to wyniki prowadzonych w ciągu ponad 25 lat wspólnych badań naukowców oraz procedura wydawania przez 16 lat wspólnych tematycznych monografii i kontakty specjalistów Politechniki Opolskiej w dziedzinach, powiązanych z opracowaniem różnych aspektów dotyczących procesów produkcyjnych, z polskimi i zagranicznymi ośrodkami naukowo-badawczymi: Politechniką Poznańską, Uniwersytetem Zielonogórskim, Polskim Towarzystwem Ergonomicznym w Warszawie, Instytutem Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki Narodowej Ukraińskiej Akademii Nauk, Narodowym Uniwersytetem im. Iw. Franka i „Politechniką Lwowską” we Lwowie, Uniwersytetem Technicznym w Ostrawie oraz Uniwersytetem Technicznym w Koszycach. Przedstawione w Referatach 2024 r. materiały są wynikiem takich wspólnych badań odrębnych z podanych kolektywów.

Materiały seminaryjne, jak również i inne z wydanego cyklu (streszczenia i materiały), przeznaczone są dla pracowników naukowych zajmujących się badaniem, projektowaniem i organizacją procesów wytwórczych. Mogą być wykorzystane przez inżynierów interesujących się aplikacjami nauk podstawowych, problemami modelowania i optymalizacji w procesach wytwórczych, a także szeroko rozumianej inżynierii produkcji i logistyki, w tym inżynierii bezpieczeństwa w procesach wytwórczych i istniejących warunkach pracy oraz innymi aspektami towarzyszącymi tym procesom, jak również przez studentów starszych lat kierunków: mechanicznych, elektrotechnicznych oraz budownictwa, inżynierii produkcji i logistyki, inżynierii bezpieczeństwa, zainteresowanych omawianymi problemami.

Odrębne z omawianych na seminarium problemów będą przedyskutowane więc dokładnie w rozdziałach wydawanych corocznych kolejnych odpowiednich tematycznych monografi, w tym w 2024 roku.

A. METELSKI, M. WIATR

Opole University of Technology (Poland)

PROBLEMY SEGMENTACJI SZEREGÓW CZASOWYCH

Uwagi wstępne. Ostatnie dziesięciolecia charakteryzują się dynamicznym rozwojem technologii informatycznych, który implikuje cyfryzację praktycznie wszystkich obszarów nauki i działalności człowieka. Wiąże się z tym wzrost zainteresowania eksploracją danych, w szczególności dużych zbiorów zawierających szeregi czasowe (ang. Time Series Data Mining, TSDM). W konsekwencji analiza szeregów czasowych doczekała się w ostatnich dziesięcioleciach opracowania wielu innowacyjnych koncepcji i metod, stała się kluczowa przy formułowaniu wniosków w pracach badawczych oraz przy podejmowaniu różnorodnych decyzji. Zasadniczym elementem procesu eksploracji szeregów czasowych jest ich segmentacja. W niniejszym Referacie omówiono najczęściej stosowane metody segmentacji: bottom-up, top-down oraz sliding window.

W literaturze [4, 5, 7, 9] wymienia się dużą ilość typowych i metodologicznie powiązanych zadań TSDM, w tym: wstępną obróbkę danych, wygładzanie szeregu, wyszukiwanie wzorców (w tym analizę trendów i wykrywanie sezonowości), segmentację, wykrywanie anomalii, dekompozycję, redukcję wymiarowości, prognozowanie i wizualizację.

Segmentacja szeregów czasowych, czyli proces podziału danych na mniejsze, bardziej jednorodne segmenty, które mogą być łatwiej analizowane i interpretowane, omawiana była w różnych kontekstach przez wielu autorów [1-3, 6]. Stała się ona składową wstępną obróbki danych, jak również integralną częścią różnych zadań eksploracji szeregów czasowych. W szczególności w klasyfikacji zadań TSDM podkreślana jest rola segmentacji szeregów czasowych, jako procesu przetwarzania wstępnego danych, którego celem jest redukcja wymiarowości, jak również odkrywanie wzorców i reguł związanych z obserwowanym zjawiskiem [5].

Podstawowym problemem TSDM jest umiejętność właściwej reprezentacji wyników pomiarów, co istotnie przekłada się na realizację efektywnych i poprawnych analiz. Szeregi czasowe mogą być na przykład przedstawiane przy wykorzystaniu transformaty Fouriera, funkcji falkowych, mapowania symbolicznego, czy też funkcji przedziałami liniowych. W niniejszym opracowaniu zajmiemy się reprezentacją zbioru danych za pomocą funkcji przedziałami liniowych (ang. Piecewise Linear Representation – PLR), jako najczęstszego sposobu aproksymacji skomplikowanych wzorców w danych czasowych za pomocą odcinków.

W kontekście analizy danych, PLR jest używana w algorytmach segmentacji i klasyfikacji służących do kompresji dużych zbiorów i redukcji ilości przetwarzanych informacji bez utraty istotnych własności. Trzy najpopularniejsze algorytmy oparte na PLR, które zostaną omówione w niniejszym artykule to: top-down, bottom-up, oraz sliding window.

Wybrane algorytmy segmentacji szeregów czasowych. Algorytmy segmentacji szeregów czasowych można podzielić ze względu na sposób przetwarzania danych na dwie podstawowe kategorie: algorytmy typu offline i online. Metody online nie znają danych wejściowych od początku w całości, ale otrzymuje je w partiach (turach). przetwarzają dane częściowe w miarę ich napływu, zamiast czekać na zebranie kompletu informacji przed rozpoczęciem analiz. Są one używane w sytuacjach, gdzie dane napływają w sposób ciągły i wymagają bezzwłocznej reakcji. W każdym kroku czasowym decyduje się, czy kolejny rezultat pomiarów ma być dołączony do poprzedniego segmentu, czy też ma należeć do nowego klastra. Algorytm offline ma natomiast dostęp do kompletnego zbioru danych przed rozpoczęciem analiz. Bazując na tym podstawowym podziale stworzono wiele algorytmów segmentacji, charakteryzujących się różnorodną efektywnością, złożonością i specyficznym zastosowaniem. Metody segmentacji bazujące na aproksymacji funkcjami przedziałami liniowymi tworzą trzy główne kategorie algorytmów: bottom-up, top-down oraz sliding window. Dwie pierwsze metody są w klasycznym ujęciu typu offline, natomiast sliding window zalicza się do grupy algorytmów online.

Algorytm bottom-up rozpoczyna się od połączenia elementów szeregu czasowego w pary, czyli dla n -elementowego szeregu czasowego, gdzie n jest liczbą parzystą, tworzonych jest $n/2$ dwuelementowych segmentów. Kolejny etap to obliczenie kosztów łączenia powstałych segmentów z sąsiadami, a następnie iteracyjne łączenie sąsiadujących segmentów, dla których koszt połączenia jest dopuszczalny i najniższy. Po połączeniu dwóch segmentów należy zaktualizować informację na temat potencjalnego łączenia nowo powstałego segmentu z segmentami sąsiednimi. Algorytm łączy segmenty, aż do spełnienia sformułowanego przez użytkownika warunku stopu. Pseudokod algorytmu bottom-up podano poniżej [7, 10].

Weź n -elementowy szereg czasowy S (wejście), gdzie n jest liczbą parzystą naturalną.

```
// połącz elementy w pary - segmenty początkowe
```

```
for i = 1 : 2 : n - 1
```

```
    Segment((i+1)/2) = połącz(S(i),S(i+1));
```

```
end;
```

```
// oblicz koszty łączenia sąsiednich segmentów
```

```
for i = 1 : długość(Segment) - 1
```

```
    Koszt(i) = błąd(Segment(i), Segment(i+1));
```

```
end;
```

```

while min(Koszt) < max_błąd
    //znajdź parę segmentów o najmniejszym koszcie łączenia
    i = znajdź_indeks(min(Koszt));
    //połącz parę segmentów
    Segment(i) = połącz(Segment(i), Segment(i+1));
    //usuń zbędny segment
    Usuń(Segment(i+1));
    // zaktualizuj koszty łączenia sąsiednich segmentów
    Koszt(i) = błąd(Segment(i), Segment(i+1));
    Koszt(i-1) = błąd(Segment(i-1), Segment(i));
end;

```

Algorytm top-down jest metodą hierarchicznego podziału danych, która w fazie inicjalizacji traktuje cały szereg czasowy jako jeden segment. W kolejnym kroku analizowane są wszystkie możliwe podziały szeregu na dwie części i wybierany jest podział najlepszy ze względu na przyjęte przez użytkownika kryterium, którym może być na przykład wielkość błędu aproksymacji danych z segmentu za pomocą funkcji liniowej. Oblicza się następnie błędy aproksymacji dla obu wydzielonych segmentów i sprawdza się czy są one wystarczająco małe. Jeżeli nie, to algorytm tworzy kolejne podsegmenty dotąd, aż wszystkie podziały będą miały błędy mniejsze niż założony przez użytkownika maksymalny błąd aproksymacji. Pseudokod algorytmu top-down podano poniżej [7, 10].

```

Weź n-elementowy szereg czasowy S (wejście)
max_błąd=wartość_początkowa;
//znajdź miejsce najbardziej korzystnego podziału
for i=2 : długość(S)-2
    błąd_aproksymacji=podział(S,i);
    if błąd_aproksymacji < max_błąd
        punkt_podziału=i;
        max_błąd=błąd_aproksymacji;
    end;
end;
//podziel rekurencyjnie lewy i prawy segment jeżeli jest taka
potrzeba

```

Algorytm sliding window jest techniką, która w analizie danych korzysta z ruchomych okien czasowych. Na przykład, ustala dany element szeregu czasowego jako początek potencjalnego segmentu, a następnie aproksymuje dane wejściowe zwiększając stopniowo liczbę elementów segmentu w prawo. Zwiększanie długości segmentu następuje do osiągnięcia punktu *i*-tego, dla którego błąd aproksymacji jest większy niż ten założony przez użytkownika. Ciąg elementów szeregu czasowego kończący się na elemencie *i-1* jest określany jako nowy segment podziału. Algorytm przesuwa się teraz do elementu *i*-tego i powtarza czynności, aż do przekształcenia wszystkich danych w segmenty aproksymowane liniowo. Pseudokod algorytmu sliding window podano poniżej [7,10].

```

Weź  $n$ -elementowy szereg czasowy  $S$  (wejście)
Początek=1;
while nie skończono segmentacji szeregu czasowego  $S$ 
    i=2;
    while błąd( $S$ (początek:początek+i) < błąd_maksymalny
        i=i+1;
    end;
    segmentacja=połącz(segmentacja,  $S$ (początek:początek+(i-1)));
    początek=początek+i;
end;

```

Powstało wiele opracowań porównujących opisywane metody segmentacji ze sobą nawzajem [7]. Algorytm bottom-up bazuje zawsze na segmentach o parzystej liczbie elementów, natomiast metody top-down i sliding window nie mają tego typu ograniczeń. Mimo to, procedury bazujące na metodzie bottom-up pozwalają na segmentację z lepszą jakością aproksymacji niż pozostałe dwie metody. Dzieje się tak w przypadku większości typów szeregów czasowych, w szczególności w analizach danych z EKG. Z kolei algorytm sliding window, mimo że daje generalnie słabsze rezultaty niż bottom-up czy top-down, jest atrakcyjny w użytkowaniu ze względu na swoją prostotę, intuicyjność, a w szczególności z uwagi na fakt, że jest to algorytm typu online. Różne odmiany tego algorytmu są powszechnie wykorzystywane w branży medycznej, ponieważ jest wysoce pożądane, aby monitorowanie parametrów życiowych pacjentów było wykonywane w trybie rzeczywistym [8, 11].

Wnioski. Szeregi czasowe są obecne w niemal wszystkich obszarach nauki, dlatego też ich właściwa analiza stała się kluczowym elementem badań zawierających tego typu dane. Metody eksploracji szeregów czasowych koncentrują się na identyfikacji reguł i wzorców, w tym wykrywania komponentów takich jak trend, wahania sezonowe, zmiany losowe.

Ważnym elementem procesu analizy struktury danych jest ich segmentacja, koncentrująca się na podziale szeregu czasowego na wewnętrznie jednorodne części. W procesie konwersji rzeczywistego szeregu czasowego na jego kawałkami liniową aproksymację, można uzyskać znaczną redukcję danych, przy zapewnieniu ich właściwej reprezentacji, wystarczającej do wysnuwania trafnych wniosków.

W niniejszym opracowaniu przedstawiono i opisano rodzinę algorytmów segmentacji szeregów czasowych, opartych na reprezentacji liniowej. W pierwszym tomie monografii „Manufacturing processes. Actual problems – 2024” w Rozdz. 1 zaprezentowano przykład bazujący na algorytmie bottom-up, który ilustruje możliwości redukcowania dużych zbiorów danych. Pokazano również przewagę podejścia aproksymacyjnego nad liniową interpolacją w zakresie liczby parametrów niezbędnych do opisu szeregu czasowego. Aproksymując serię danych możemy bazować na dobrze skonstruowanej funkcji kawałkami liniowej, zamiast na danych rzeczywistych, nie tracąc wcale potencjału badawczego eksplorowanego zbioru danych.

LITERATURA

- [1] CHUNG L., FU C., LUK R., An evolutionary approach to pattern-based time series segmentation, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, IEEE Press, Vol. 8, Issue 5, 2004, s. 471-489
- [2] CHUNDI P., ROSENKRANTZ D., Segmentation of time series data, *Encyclopedia of Data Warehousing and Mining*, Information Science Reference, 2009, s. 1753-1758
- [3] GIONIS A., MANNILA H., Segmentation algorithms for time series and sequence data, Tutorial at 5th SIAM International Conference on Data Mining, 2005
- [4] FRENKEL C., BOL D., INDIVERI G., Bottom-up and top-down approaches for the design of neuromorphic processing systems: tradeoffs and synergies between natural and artificial intelligence, *Proceedings 2023 IEEE International Conference on Data Mining*, 2023
- [5] FU C., A review on time series data mining, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 24, Issue 1, 2011, s. 164-181
- [6] HAN W., LEE J., MOON Y.S., JIANG H., Ranked subsequence matching in time-series databases, *Proceedings of the 33rd International Conference on Very Large Databases*, 2007, s. 423-434
- [7] KEOGH E., CHU S., HART D., PAZZANI M., An online algorithm for segmenting time series, *Proceedings 2001 IEEE International Conference on Data Mining*, 2001
- [8] KOSKI A., JUHOLA M., MERISTE M., Syntactic Recognition of ECG Signal By Attributed Finite Automata, *Pattern Recognition*, 28, 1995, s. 1927-1940
- [9] LIN J., KEOGH E., WEI L., LONARDI S., Experiencing SAX: a novel symbolic representation of time series, *Data Mining and Knowledge Discovery*, Vol. 2, 2007, s. 107-144
- [10] LOVRIC M., MILANOVIC M., STAMENKOVIC M., Algorithmic methods for segmentation of time series: An overview, *Journal of Contemporary Economic and Business Issues*, 2014
- [11] VULLINGS H., VERHAEGEN M., VERBRUGGEN H., ECG Segmentation Using Time-Warping, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Intelligent Data Analysis*, 1997

O. HACHKEVYCH^{1,2}, R. IVAS'KO¹,
A. KOZIARSKA², R. TERLETS'KYI¹

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

**OSOBLIWOŚCI PARAMETRÓW OKREŚLAJĄCYCH POŁA
POŁĄCZONE: ELEKTROMAGNETYCZNE, CIEPLNE ORAZ
MECHANICZNE W NIEFERROMAGNETYCZNYCH CIAŁACH O
NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY
TECHNOLOGICZNYM QUASI-USTALONYM ODDZIAŁYWANIU
ELEKTROMAGNETYCZNYM**

Na podstawie znanych rozwiązań zagadnień o modelowaniu, wyznaczaniu i optymalizacji pól połączonych: elektromagnetycznych, cieplnych i mechanicznych w nieferromagnetycznych ciałach o niskiej przewodności elektrycznej (NCNPE) przy oddziaływaniu zewnętrznego quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego (QUPEM) oraz wybranych rezultatów, dotyczących tej problematyki, podanych w pracach [1–24], ustalono pewne prawidłowości zależności parametrów określających rozważane pola połączone od charakterystyk materiału i parametrów zewnętrznego oddziaływania QUPEM, otrzymano odrębne uogólnienia w formułowaniu zagadnień wyjściowych w stosowanym podejściu o wyznaczaniu parametrów rozpatrywanych pól, a również omówiono kierunki dalszych badań w tej problematyce.

Otrzymane rezultaty mogą być korzystne przy opracowaniu optymalnych reżymów celowych obróbek (wytwarzających, wzmacniających, kształtujących i in.) elementów maszyn i urządzeń o różnym przeznaczeniu inżynierskim lub technologicznym, podstawą których są efekty i zjawiska powstające przy oddziaływaniu elektromagnetycznym. Rezultaty te mogą zainteresować też przy opracowaniu racjonalnych reżymów eksploatacji elementów i wyrobów z rozważanych materiałów, pracujących w warunkach oddziaływania pól o różnej naturze fizycznej, w szczególności szeroko stosowanych w praktyce inżynierskiej elektromagnetycznych.

Otrzymane prawidłowości:

1. Inaczej niż dla ciał o dobrej przewodności elektrycznej, postaci rozkładów gęstości ciepła, sił ponderomotorycznych, temperatury i naprężeń w NCNPE zależą od stosunku charakterystycznego wymiaru ciała do długości fali elektromagnetycznej. Przy wymiarze znacznie mniejszym od długości fali rozpatrywane wielkości mają praktycznie rozkład stały. Poprzez zmianę

długości fali (zmianę częstotliwości) można istotnie wpłynąć na rozkład temperatury, w szczególności stwarzać wewnątrz ciała obszary słabszego lub silniejszego nagrzewania. Jeżeli charakterystyczny wymiar ciała jest wielokrotnością połowy długości fali, to ma miejsce zjawisko rezonansowe, tj. znaczne zwiększenie amplitud natężeń pól elektrycznego i magnetycznego (na skutek praktycznie falowego (bez tłumienia) charakteru PEM w NCNPE). Fakt ten powoduje odpowiednie zwiększenie wartości gęstości produkcji cieplnej i sił ponderomotorycznych i w konsekwencji – zwiększenie wartości temperatury i naprężeń.

2. Podobnie jak dla ciał o wysokiej przewodności elektrycznej, mają miejsca zjawiska rezonansowe, spowodowane prawie okresową zmianą w czasie ciepła i sił ponderomotorycznych. W zjawiskach tych każda z częstości rezonansowych ciała o małym współczynniku sprężenia ε_{*1} ($\varepsilon_{*1} \ll 1$) analogicznie jak dla metali jest praktycznie równa połowie odpowiedniej częstości własnej drgań. Zatem może ona być wyznaczona poprzez rozwiązanie zagadnienia brzegowego na częstości własne drgań ciała. Wpływ sił ponderomotorycznych na stan termosprężysty NCNPE jest pomijalnie mały dla wszystkich częstości PEM z rezonansowymi włącznie. Podkreślimy, że w zjawiskach rezonansowych pierwszego typu (powiązanych z falowym charakterem rozpowszechnienia PEM prawie bez tłumienia) istotnie zwiększają się poziomy zarówno mało zmieniających się w czasie jak i prawie okresowych składowych temperatury i naprężeń, a w zjawiskach drugiego typu – tylko ostatnie z wymienionych wielkości.
3. Jest również wiadomo, że efektywność nagrzewania nieferromagnetycznego ciała o niskiej przewodności elektrycznej (NCNPE) przy pomocy PEM wzrasta, jeżeli ciało jest wstępnie podgrzane [1, 3, 4, 8, 9 i in.]. Wtedy znacznie wzrastają wartości gęstości ciepła Joule'a i ciepła spowodowanego przepolaryzowaniem cyklicznym. Przeprowadzone badania pokazały, że w procesie nagrzewania przy pomocy PEM wstępnie podgrzanej warstwy ze szkła, rozkład temperatury względem grubości zbliża się do prawie stałego, a wartości naprężeń mechanicznych znacznie zmniejszają się. Uwzględnienie w obliczeniach temperaturowej zależności elektrofizycznych charakterystyk materiałowych prowadzi do zmniejszenia czasu nagrzewania do poziomu danej temperatury o 10-13% w porównaniu z czasem obliczonym przy charakterystykach dla temperatury początkowej.

Schemat przybliżonego rozwiązywania. Na podstawie przedstawionych badań i otrzymanych wyników podobnie jak dla ciał liniowych i ferromagnetycznych [5, 7, 8] można przedstawić schemat obliczeniowy na przybliżone wyznaczenie pola temperatury i naprężeń w NCNPE (dla których $\varepsilon_{*1} \ll 1$, gdzie ε_{*1} – współczynnik powiązania pól temperatury i deformacji):

1. Znajdujemy parametry określające PEM oraz mało zmieniające się w okresie $f_* = \frac{2\pi}{\omega}$ składowe sumarycznej gęstości ciepła (ciepła Joule'a i ciepła powstałego na skutek przepolaryzacji cyklicznej).
2. Wyznaczamy częstotliwości rezonansowe PEM na podstawie rozwiązania odpowiedniego zagadnienia brzegowego o częstotliwościach własnych drgań.
3. Poszukujemy pola temperatury i naprężeń z pominięciem sił ponderomotorycznych.

Jeżeli przy tym dana częstotliwość PEM nie mieści się w otoczeniach rezonansowych, to stan termosprężysty ciała wyznaczamy w ujęciu quasi-statycznym z pominięciem związków między polami odkształceń i temperatury. Za wyjściowe źródła ciepła przyjmujemy sumaryczne ciepło wyprodukowane PEM o gęstości mało zmieniającej się w czasie w okresie drgań elektromagnetycznych. Jeżeli częstotliwość ω jest bliska częstotliwości rezonansowej, to konieczne jest wyznaczenie zarówno mało zmieniających się w czasie jak i prawie okresowych składowych temperatury i naprężeń (spowodowanych odpowiednimi składowymi sumarycznej produkcji cieplnej). Prawie okresowe składowe poszukiwanych funkcji określamy z uwzględnieniem termosprężystego rozproszenia energii.

Wnioski. Na podstawie wybranych danych z prac dotyczących rozważanej tematyki oraz wyników ich celowej analizy otrzymane są pewne uogólnienia w formułowaniu zagadnień wyjściowych o modelowaniu i wyznaczaniu parametrów określających rozpatrywane pola połączone: elektromagnetyczne, cieplne i mechaniczne w NCNPE przy istniejącym quasi-ustalonym elektromagnetycznym oddziaływaniu. Wykazano prawidłowości zależności tych parametrów oraz określających zjawiska rezonansowe od charakterystyk materiału i parametrów zewnętrznego oddziaływającego QUPEM

Na podstawie przeprowadzonych badań i otrzymanych wyników zaproponowany został schemat przybliżonego obliczania temperatury i naprężeń w NCNPE, sformułowany w trzech etapach.

Wykazana efektywność zaproponowanego modelu obliczeniowego. Prezentowane obecnie w literaturze bardziej rozbudowane modele w większości nie są doprowadzone do postaci nadającej się do praktycznego wykorzystania. Wynika to głównie z faktu, że parametry rozważanych procesów opisują się za pomocą złożonych układów równań fizyki matematycznej, zawierających różne typy równań cząstkowych. Rozwiązanie takich układów jest trudne nawet na komputerach współczesnej generacji. Badania eksperymentalne w dziedzinie pól połączonych, a w szczególności związane z określeniem charakterystyk materiałowych i współczynników sprzężenia pól są bardzo złożone, a ich dokładność jest stosunkowo niewielka. Zaproponowany w pracy model uwzględni główne czynniki oddziaływania PEM na środowisko, a w szczególności produkcję cieplną i siły ponderomotoryczne wytworzone przez pole w continuum materiałowym. Pominięcie w modelu pewnych składników

wiąże się z wyeliminowaniem tych efektów, których wpływ na termomechaniczne zachowanie się ciał polaryzujących się jak i niepolaryzujących się w PEM jest mały (np. wolny poruszający się ośrodek). Podstawową zaletą przyjętego modelu jest to, że on dopuszcza uzyskanie rozkładów charakterystyk rozważanych procesów w większości przypadków w zamkniętej postaci analitycznej. Pozwala to na opracowanie efektywnych modeli optymalizacyjnych [5, 7, 10 i in.] oraz na rozszerzenie modeli poprzez uwzględnienie dodatkowych procesów fizycznych [6, 21, 24 i in.].

Przedstawione rozważania dotyczące określenia stanu termosprężystego NCNPE przy oddziaływaniu QUPEM (UPEM) stanowią tylko pewien etap prac badawczych. Można je traktować jako punkt wyjściowy zarówno do pełniejszego opisu różnych efektów oddziaływania pól, jak i do rozwinięcia teorii nieklasycznych, nieliniowych zagadnień fizyki matematycznej, które występują w tych modelach. Z punktu widzenia zastosowań QUPEM przy rozważaniu elementów lub wyrobów z nieferromagnetycznych materiałów o niskiej przewodności elektrycznej naszym zdaniem istotne są następujące **dalsze kierunki badań** w tej problematyce:

- uwzględnienie nierównoległości wektorów indukcji i natężeń pól elektrycznego i magnetycznego;
- modelowanie procesów przy wysokotemperaturowym nagrzewaniu elektromagnetycznym ciał przewodzących (w szczególności nagrzewanie NCNPE do podwyższonych temperatur) oraz przy przebiegach nieustalonych;
- rozwinięcie teorii optymalizacji połączonych procesów: elektromagnetycznych, temperaturowych i mechanicznych w NCNPE przy zewnętrznych obciążeniach o różnej naturze fizycznej, w tym elektromagnetycznej;
- uwzględnienie dodatkowych procesów fizycznych (np. dyfuzji) oraz kompleksowych obciążeń (jednocześnie działające siły mechaniczne, temperatura środowiska zewnętrznego, pole elektromagnetyczne itp.);
- rozwinięcie teorii i metod rozwiązywania liniowych i nieliniowych nieklasycznych zagadnień teorii pól połączonych w wieloskładnikowych ciałach przewodzących, podatnych na polaryzację i magnesowanie, przy elektromagnetycznych obciążeniach szerokiego zakresu częstotliwości (jako klasy zagadnień fizyki matematycznej).

Zaproponowany model matematyczny (podobnie jak analogiczne modele dla ciał magnetycznie i elektrycznie liniowych oraz ferromagnetycznych) daje możliwości określenia zjawisk rezonansowych oraz oszacowania ilościowego parametrów opisujących procesy elektromagnetyczne, cieplne i mechaniczne zachodzące w NCNPE w otoczeniach częstości rezonansowych PEM, przy których mogą zachodzić intensywne mechaniczne drgania powodujące istotne nagrzewanie ciała. Zaznaczmy, że wielkości omawianych częstości rezonansowych, spowodowanych okresowym (prawie okresowym) charakterem

czynników oddziaływania PEM przy obecności częstości własnych mechanicznych drgań ciał [1, 14-16], są o parę rzędów mniejsze od częstości zwykle stosowanych w praktyce inżynierskiej przy nagrzewaniu NCNPE za pomocą PEM [1, 3, 9, 14-16] oraz mniejsze od częstości przy zjawiskach rezonansowych spowodowanych falowym (praktycznie bez tłumienia) charakterem rozpowszechnienia PEM.

LITERATURA

- [1] BRICYN N. Ł.: Nagriew w elektrycznym polu wysokiej częstoty. Maszynostrojenije, Moskwa-Leningrad 1965.
- [2] BURAK Ya. I., GACHKIEVICH A. R. and TERLETSKII R. F.: The thermomechanics of bodies of low electrical conductivity in external quasisteady electromagnetic fields, Dokl. Akad. Nauk Ukr. SSR, Ser. A, No. 6 (1989), 39-43.
- [3] BURAK Ya. I., HACZKIEWICZ O. R., TERLECKIJ R. F.: Termomechanika bahatokomponentnych тіл nizkoi elektroprowidnosti. Wyd. Społom, Lwiv 2006, 296 s. Tom 1 serii monografii: Modeljuвання ta optymizacija w termomechanici elektroprowidnych nieodnorodnych тіл (pod red. Ja.J. Buraka i R.M. Kusznira).
- [4] Elektrotechničeskij sprawocznik. Pod red. M.G. CZILIKINA. Eniergija, Moskwa 1964.
- [5] GACHKIEVICH A. R.: Thermomechanics of Electrically Conducting Bodies under the Action of Quasisteady Electromagnetic Fields [in Russian], Naukova Dumka, Kiev (1992).
- [6] GACHKIEVICH A. R., GOLUBETS V. M., CHORNYI B. I. and MAKARENKO O. N.: Mechanicothermodiffusion processes in the surface layer of a plate during the application of a eutectic coating, Fiz.-Khim. Mekh. Mater. No. 2 (1988), 12-17.
- [7] GACHKEVICH A. R., KASPERS'KII Z., SOLODYAK M. T. and TERLETS'KII R. F.: Mathematical modeling and optimization of the physico-mechanical processes in electrically conducting bodies due to a quasisteady electromagnetic fields: transl. in J. of Math. Sci. 88. No. 3 (1998), 380-385.
- [8] GACZKIEWICZ A., KASPERSKI Z.: Modele i metody matematyczne w zagadnieniach brzegowych termomechaniki ciał przewodzących. Studia i Monografie, z. 110, OW Politechniki Opolskiej, Opole 1999.
- [9] GACHKIEVICH A. R. and TERLETSKII R. F.: Mechanical stresses in a preliminarily heated plate of low electrical conductivity in an external harmonic electromagnetic field, Mat. Met. Fiz.-Mekh. Polya, No. 24 (1986), 77-80.
- [10] GRIGOLYUK E. I., PODSTRIGACH Ya. S. and BURAK Ya. I.: Optimization of Heating of Shells and Plates [in Russian], Naukova Dumka, Kiev (1979).

- [11] KARNAUCHOW W. G., KIRICZEK I. F.: *Miechanika swiazanych polej w elementach konstrukcij, T.4. Elektrotermowiazkoupugost'*. Nauk. Dumka, Kijew 1988.
- [12] KUDRYAVTSEV B. A. and PARTON V. Z.: *Magnetothermoelasticity, Itogi Nauki i Tekhniki. Mekh. Def. Tver. Tela, Vol. 4 (1981), 3-59.*
- [13] LANDAU L. D., LIFSZIC E. M.: *Elektrodynamika ośrodków ciągłych.* PWN, Warszawa 1960.
- [14] MAUGIN G. A., ERINGEN A. C.: *On the equations of the electromagnetics of deformable bodies of finite extent. J. Mecanique, 16(1977), 101-147.*
- [15] *Mechanical Modelling of New Electromagnetic Materials, Ed. by R. K. T. HSIEH: Proc. of the IUTAM Symp., Stockholm, 2-6 April 1990. – Amsterdam etc.: Elsevier, 1990.*
- [16] MOON F. C.: *Problems in magneto-solid-mechanics. Mechanics Today. 1978, 307-390.*
- [17] NAZAROW G. I., SUSZKIN W. W., DMITRIJEWSKAJA L. W.: *Konstruktivnyje plástmasy: Sprawocznik. Maszynostrojenije, Moskwa 1973.*
- [18] NIETUSZIL A. W., ŻUCHOWICKIJ B. J., PARINI E. L.: *Wysokoczasotnyj nagriew dielektrikow i połuprowodnikow. Gosenergoizdat, Moskwa-Leningrad 1959.*
- [19] OKONIEWSKI S.: *Podstawy technologii mechanicznej. Wyd. 4. WNT, Warszawa 1976.*
- [20] RAWA H.: *Elektryczność i magnetyzm w technice. PWN, Warszawa 1994.*
- [21] SIEDOW L. I.: *Miechanika spłoszonej sriedy: W 2-ch t. Nauka, Moskwa 1976.*
- [22] SYCZOW W. W.: *Słoznyje termodinamiczieskije sistemi. Nauka, Moskwa 1980.*
- [23] TAMM N. E.: *Foundations of the Theory of Electricity [in Russian], Nauka, Moscow (1976).*
- [24] *Wpływ pola elektromagnetycznego na termodyfuzję w ośrodku izotropowym, pod. red. J. STEFANIAKA. PWN, Warszawa-Poznań 1982.*

A. SCHWALBE-TISZBIEREK

Opole University of Technology (Poland)

WYBRANE PROBLEMY WSPÓŁCZESNYCH TECHNOLOGII CYFROWYCH WYKORZYSTYWANYCH W PROCESIE EDUKACJI

Przedstawiono i omówiono wybrane współczesne technologie cyfrowe wykorzystywane w procesie edukacji. Zaprezentowano takie technologie jak platformy e-learningowe, nauczanie hybrydowe czy narzędzia stosowane do wideokonferencji. Dodatkowo wspomniane jest jak sztuczna inteligencja czy wirtualna i rozszerzona rzeczywistość wpływają na cyfryzację edukacji, dając możliwość uatrakcyjnienia zajęć, a także lepszego dostosowania ich do indywidualnych potrzeb studentów.

Wprowadzenie. Edukacja jest zbiorem procesów i oddziaływań, poprzez które można kształtować obywateli stosownie do panujących w społeczeństwie zasad i ideałów. Jest to pojęcie związane z wychowaniem i rozwojem człowieka, towarzyszące mu we wszystkich fazach rozwoju, a czasem i dłużej. Pojęcie edukacji wywodzi się z łaciny i było obecne już na początku formułowania się społeczeństw. Proces nauczania w każdej z epok był inny i charakteryzował się swoistymi dla danego czasu cechami. Wyróżniamy różne formy edukacji takie jak: formalna, nieformalna, nieoficjalna czy samoedukacja. Niezależnie od omawianej formy, w każdym procesie nauczania oraz uczenia się potrzebne są odpowiednie techniki i narzędzia wspomagające te procesy. Szczególnie należy zwrócić uwagę na ten aspekt we współczesnym świecie gdzie młody człowiek ma wiele innych źródeł pozyskiwania wiedzy (choć nie koniecznie w pełni poprawnej), a nie tylko placówki edukacyjne. Coraz częściej nauczyciela-mentora zastępują krótkie filmiki instruktorzowe, a papierowe książki e-booki czy audio-booki.

Oczywiście obecny rozwój techniki, a także możliwość łatwiejszego pozyskiwania wiedzy nie są czymś złym, wprost przeciwnie mogą być bardzo pomocne, a ich dobre wykorzystanie pozwoli na efektywniejsze poszerzenie swojej wiedzy często mniejszym kosztem zarówno finansowym jak i nakładu czasu. Nie należy jednocześnie zapominać o takich aspektach jak sprawdzanie rzetelności źródła czy też uczciwości w wykorzystaniu wielu udogodnień technicznych. Wszystko bowiem co może nas wspomóc, źle użyte może stać się groźne lub nie zgodne z zasadami etyki.

Formy wsparcia cyfrowego. Obserwując ciągły rozwój form procesu edukacji, zawsze podstawowym zadaniem i celem nauczania było rzetelne przekazywanie pełnej i poprawnej wiedzy naukowej. Jest to element

niezmienny, o który należy zawsze zabiegać. Jednak użycie ciekawszej formy przekazywania wiedzy czy też skorzystanie z bardziej dostosowanych do słuchaczy narzędzi nie kolidują z tym zadaniem. Zmiana realów życia, sposobu komunikowania się, czy dostępu do informacji wymusza także zmianę sposobu nauczania. Współczesny student to człowiek obeznany z techniką, najczęściej urodzony i wychowany w świecie gdzie technologie cyfrowe spotyka się w każdej dziedzinie życia. Dlatego też tradycyjne formy nauczania nie będą zachęcać do podjęcia procesu edukacji, a wręcz utrudniać jego postęp osobą do ich nie nawykłych. Dodatkowo warto wspomnieć o innych czynnikach często nie zależnych od indywidualnych decyzji czy woli. Technologie cyfrowe są doskonałym wsparciem dla studentów z różnymi niepełnosprawnościami. Ułatwiają proces przyswajania wiedzy lub pozyskiwania informacji i czynią go dla nich możliwym. Często też techniki nauczania na odległość czy hybrydowy system pozwalają uczyć w sytuacji gdy spotkania tradycyjne są utrudnione (wideokonferencje z międzynarodowymi ekspertami) lub wręcz niemożliwe (tereny objęte konfliktami zbrojnymi, klęskami żywiołowymi czy okres pandemii). Dlatego też warto wspomagać proces edukacji różnymi formami nowoczesnych technologii w szczególności takimi jak:

- 1) platformy e-learningowe,
- 2) narzędzia do wideokonferencji,
- 3) hybrydowe formy nauczania,
- 4) stosowanie symulacji z wykorzystaniem narzędzi wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości,
- 5) sztuczna inteligencja i analityka danych

Trzy pierwszych formy nowoczesnych edukacyjnych technologii częściowo są omówione w literaturze [1-3]. Pewne rozważania w tym kierunku określone są w Rozdz. 11 pierwszego tomu „Aplikacje nauk podstawowych i uwzględnienie czynników towarzyszących w procesach wytwórczych” dwutomowej monografii „Manufacturing processes. Actual problems – 2024”. Przeanalizujemy więc dokładniej współczesne podejścia do dwóch ostatnich form technologii edukacyjnych.

Wirtualna i rozszerzona rzeczywistość. Obecnie bardzo często można spotkać się z terminem „rzeczywistość” przed którym stoi odpowiedni przymiotnik. Coraz częściej stosowanie tego słowa nie ma przedstawiać tej rzeczywistości, która nas otacza. Dzieje się tak bowiem rozwój technologii pozwala na tworzenie innych obszarów działania – często w świecie cyfrowym. Mowa tu o wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości. Wirtualną rzeczywistość (z ang. virtual reality – VR) możemy nazwać sztucznie wygenerowany (stworzony przy wykorzystaniu różnych technologii informatycznych) obraz rzeczywistości, multimedialnie kreowany jako komputerowa wizja różnych obiektów, a nawet przestrzeni i zdarzeń. Natomiast rozszerzona rzeczywistość (z ang. augmented reality – AR) to inaczej poszerzenie rzeczywistości o świat generowany cyfrowo. Można zatem opisać tą technologię jako łączącą w sobie świat realny (tu i teraz, w tym konkretnym miejscu i czasie) z rzeczywistością wirtualną

(komputerowo wytworzone elementy nakładane na rzeczywisty obraz świata w realnym czasie). Obie te „rzeczywistości” skupiają się raczej na zmyśle wzroku i słuchu, rzadziej na pozostałych (choć trwają już badania nad „włączeniem” ten obszar zmysłu węchu – tak by móc np. czuć zapach lasu spacerując po nim wirtualnie). Na poruszanie się po obu tych światach pozwalają odpowiednie manipulatory, których zadaniem jest też umożliwienie interakcji między użytkownikiem, a wykreowaną rzeczywistością. Do podstawowych narzędzi tej technologii należy zaliczyć różnego rodzaju ekrany (mogą one być umieszczone zarówno w monitorach, ekranach o wielkiej powierzchni jak i w tzw. goglach czyli specjalnie skonstruowanych okularach), odpowiednie układy dźwięku (szczególnie wielokanałowe – odpowiednio ułożone, tak aby dawały jak najrealniejsze odczucia) oraz urządzenia wejścia-wyjścia (takie jak kierownica, dżojstki czy wirtualne rękawice) pozwalające na obsługę wirtualnych artefaktów. Dodatkowo technologia rozszerzonej rzeczywistości wykorzystuje tzw. markery, na bazie których aplikacja określa swoje położenie świata wirtualnego (kreowanego przez komputer) względem świata rzeczywistego. Takie punkty odniesienia sczytuje się poprzez kamerę zamontowaną w urządzeniu korzystają z odpowiednich symboli, kodów, a obecnie nawet określa się je na bazie wzorców kolorystycznych czy unikatowych kształtów [3]. Oczywiście zakup odpowiednich narzędzi i oprogramowania nie jest tanim wydatkiem, ale często zastosowanie tej technologii pozwala zrezygnować z zakupu wyposażenia wielu pracowni czy też specjalistycznych urządzeń.

Środowisko wirtualne może w wielu przypadkach zastąpić to rzeczywiste. Często można skorzystać z odpowiedniej aplikacji, nałożyć gogle i przenieść się do wirtualnej sali produkcyjnej, laboratorium medycznych czy wewnątrz modelowanego obiektu. Technologia ta również pozwala na symulację różnych treningów, budowania konstrukcji czy wykonywanie trudnych zabiegów bez potrzeby narażania zdrowia czy też funduszy. Dodatkowo zaopatrując się w odpowiednie programy obliczeniowe możliwe jest zasymulowanie wielu różnych wirtualnych scenariuszy danej sytuacji. Takie działania to ogromne wsparcie pozwalające na bezpieczne tworzenie modeli, które po sprawdzeniu można zrealizować w rzeczywistości realnej.

Niestety jak każda technologia także i ta ma swoje wady. Należy pamiętać, że długie i stałe stymulowanie impulsami wizualnymi w trójwymiarze znacznie wpływa na ludzki organizm. Taka sytuacja może wywołać różne reakcje zwłaszcza gdy doznania wzrokowe różnią się od grawitacyjnych. Ważnym aspektem pozostają również choroby stawów i kręgosłupa. Dlatego też narzędzia te powinny być używane z umiarem, w odpowiednim okresie czasu oraz licznymi przerwami.

Sztuczna inteligencja i analityka danych. Pod pojęciem „sztuczna inteligencja” kryje się wiele różnych definicji i zagadnień. Ogólnie mówiąc sztuczną inteligencją (ang. artificial intelligence, AI) możemy określić inteligencję wykazywaną przez urządzenia sztuczne. Jest ona zatem przeciwieństwem do tzw. inteligencji naturalnej. Sztuczna inteligencja ma dwa

podstawowe znaczenia. Pierwsze to hipotetyczna inteligencja realizowana w procesie technicznym, a nie naturalnym. Natomiast drugie to zarówno określenie technologii oraz dziedziny badań naukowych informatyki i kognitywistyki czerpiących z osiągnięć takich nauk jak psychologia, neurologia, matematyka oraz filozofia. Z punktu widzenia drugiego z wymienionych znaczeń głównym zadaniem badań nad sztuczną inteligencją jest konstruowanie urządzeń oraz programów komputerowych zdolnych do realizacji wybranych funkcji ludzkiego umysłu oraz zmysłów, których nie da się poddać numerycznej algorytmizacji. Wśród zastosowań obecnie stosowanych, wykorzystujących sztuczną inteligencję można wymienić wiele działań [4]. Są to m.in. systemy eksperckie, sieci neuronowe, uczenie się maszyn, rozpoznawanie mowy i/ lub obrazów, sztuczna twórczość, analiza wideo w czasie rzeczywistym czy eksploracja danych. Jest to dziedzina, która stale się rozwija, a co za tym idzie pojawiają się coraz to nowsze sposoby jej wykorzystania. Oczywiście stosowanie AI, jak i ona sama jest przedmiotem wielu dyskusji i rozważań. Nie zawsze głosy takich rozmów są jej przychylnie, a spowodowane jest to niepewnością lub brakiem zaufania do bezpieczeństwa i etyczności jej wykorzystania. Często można natrafić na głosy ekspertów, mówiących o zbyt szybkim rozwoju tej technologii i braku przygotowania się niego społeczeństw. Kontrowersje budzi także możliwość podkładania głosu pod obraz czy modyfikacji głosu. Działa to w taki sposób, że postronny widz czy słuchacz jest przekonany, że słyszany tekst mówi konkretna osoba gdy w rzeczywistości dźwięk wygenerowała aplikacja AI. Dlatego też tak ważnym jest zdroworoządkowe i etyczne podchodzenie do możliwości jakie daje ta technologia.

Jak zostało wspomniane sztuczna inteligencja rozwija się w wielu obszarach, jednak tym który najczęściej jest używany przez standardowych użytkowników jest niewątpliwie ChatGPT. Aplikacja ta pozwala na generowanie tekstów, obrazów i innych multimediów zgodnie z wytycznymi przekazanymi w poprawnie sformułowanym poleceniu. Jest to zatem narzędzie przydatne, przykładowo można z jego użyciem wygenerować schemat prezentacji czy projektu, stworzyć unikatowe obrazy do pisanego tekstu (bez obawy o prawa autorskie) czy też pomóc w wyszukiwaniu materiałów przydatnych pozycji literaturowych. Niestety istnieje również pokusa wygenerowania całej pracy za pomocą AI co oczywiście nie jest korzystne dla studenta w kwestii jego nauki czy etyki zawodowej. Sztuczna inteligencja może również zostać wykorzystana przez wykładowców czy lektorów – skorzystanie z odpowiednich algorytmów może pozwolić na lepsze spersonalizowanie nauczania. Przykładowo AI może dopomóc rekomendując materiały dopasowane do poziomu czy preferencji uczenia się danego studenta.

Innym obszarem wykorzystania nowoczesnych technologii cyfrowych jest analityka danych. Współcześnie zasypywani jesteśmy ogromem danych i informacji, które trzeba przeanalizować i zinterpretować by wydać odpowiednie drogi postępowania czy wyrazić poprawne wnioski dla dalszego działania. Samo

pojęcia analityka danych opisuje proces przetwarzania danych w celu uzyskania na ich podstawie użytecznych informacji i poprawnych wniosków. W procesie tym wykorzystywane są odpowiednie metody statystyczne czy eksploracyjne, w zależności od rodzaju danych czy stawianego problemu. Mówiąc o analityce danych w kontekście technologii komputerowych należy pamiętać, że procesy obliczeniowe są wspierane przez odpowiednie narzędzia cyfrowe. Wśród takich aplikacji warto wymienić Microsoft Power BI czy Google Analytics. Narzędzia te automatyzują pracę analityka i wspierają go w wykonywaniu analiz. W procesie edukacyjnym analityka danych może wesprzeć w monitorowaniu postępów, a także wspomóc w wykryciu tych obszarów, które wymagają poprawy.

Podsumowanie. Nowe technologie cyfrowe zmieniają sposób, w jaki studenci zdobywają wiedzę i rozwijają swoje kompetencje. Wprowadzenie e-learningu, VR, AI oraz innych innowacji nie tylko uatrakcyjniła proces dydaktyczny, ale także umożliwia lepsze dostosowanie edukacji do współczesnych wyzwań. Warto podkreślić, że poza indywidualnymi zaletami każdej z omawianych technologii istnieją korzyści płynące z zastosowania ich razem lub zamiennie w zależności od sytuacji, potrzeb oraz sposobu przekazywania wiedzy. Jednym z takich bonusów jest personalizacja procesu nauczania. Technologie niewątpliwie umożliwiają dostosowanie treści edukacyjnych do indywidualnych potrzeb i stylu uczenia się konkretnych studentów czy też grup słuchaczy. Cyfrowe materiały, udostępniane w chmurze czy na platformie e-learningowej oraz zajęcia online eliminują bariery geograficzne, jednocześnie umożliwiając udział w zajęciach także osobom o ograniczonej mobilności. Zatem zwiększa się dostępność do edukacji. Dzięki nowym technologiom, ciekawszym formom prowadzenia zajęć można wpłynąć na większą interaktywność i zaangażowanie studentów angażując ich choćby poprzez rywalizację w interaktywnych quizach czy symulacjach. Ale chyba najważniejszym aspektem jest możliwość efektywnego zarządzania czasem i zasobami. Nasi studenci (często osoby pracujące, mające rodziny czy też studujące na kilku kierunkach) mają stały dostęp do materiałów, a to pozwala im lepiej planować naukę i wykorzystać na nią odpowiednią chwilę w planie swojego dnia.

Pamiętając również o negatywnych aspektach nowych technologii, ważne jest jednocześnie wypracowanie odpowiednich strategii w celu minimalizacji skutków nadmiernego lub nieetycznego korzystania, a także wyzwań związanych z cyfryzacją. Prócz już opisywanych problemów takich jak: negatywny wpływ na zdrowie, oddawanie nie swoich prac czy obciążenie przygotowaniem dodatkowych materiałów w odpowiednim formacie, nie wolno zapominać także o wykluczeniu cyfrowym czy przeciążeniu informacyjnym. Nadmiar informacji czy konieczność korzystania z wielu platform może powodować tzw. technostres oraz przeciążenie informacyjne. Dodatkowo, pomimo powszechnie zakładanej cyfryzacji społeczeństwa, nie wszyscy studenci i wykładowcy mogą mieć wystarczające umiejętności do

efektywnego korzystania z nowych technologii. Dotyczy to szczególnie osób starszych lub też biedniejszych, u których dochodzi jeszcze często problem z równym dostępem, bowiem nie każdy student ma dostęp do sprzętu i stabilnego internetu, co może prowadzić do wykluczenia cyfrowego.

Dlatego warto pamiętać by z nowych technologii korzystać w odpowiednio bezpieczny sposób, zadbać o przerwy w pracy i upewnić się czy każda osoba ma możliwość korzystania z nich. Dodatkowo aby w pełni wykorzystać potencjał nowych technologii, konieczne jest rozwijanie kompetencji cyfrowych zarówno u studentów, jak i wykładowców. Obecnie istnieje wiele wartościowych pozycji literaturowych, a także ciekawych i prostych kursów pozwalających poznać i oswoić nie tylko opisywane, ale i wiele innych ciekawych technologii cyfrowych.

LITERATURA

- [1] ANDERSON, T.: (2016). *The Theory and Practice of Online Learning*. AU Press.
- [2] SIEMENS, G., & GASEVIC, D.: (2015). Learning Analytics: The Emergence of a Discipline. *The Internet and Higher Education*, 23, 1-3.
- [3] ARNALDI, GUITTON, MOREAU: *Virtual Reality and Augmented Reality: Myths and Realities*, Wiley, 2018.
- [4] NOWAKOWSKI, A.: (2021). Sztuczna inteligencja w edukacji – możliwości i wyzwania. *Zeszyty Naukowe WSEI*.

**I. APLIKACJE NAUK PODSTAWOWYCH I
UWZGLĘDNIENIE CZYNNIKÓW
TOWARZYSZĄCYCH W PROCESACH
WYTWÓRCZYCH**

**BASIC SCIENCE APPLICATIONS AND
CONSIDERATION OF RELATED FACTORS IN
MANUFACTURING PROCESSES**



V. STELMASHCHUK

Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

OPTIONS PRICING MODEL BASED ON THE FINITE ELEMENT METHOD

Black-Scholes option pricing model is considered. Using a change of variables it is transformed into the initial boundary value problem for heat equation. The corresponding variational problem statement is formulated and Galerkin method with finite element basis functions is employed for its semi-discretization. The numerical solution procedure is then complemented by a generalized trapezoidal rule as a time integration scheme. Finally, we perform the numerical experiments for pricing American call and put options and compare our results with the ones available in the literature.

MODEL WYCENY OPCJI NA PODSTAWIE METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

Wiadomo, że model Blacka-Scholesa jest matematycznym modelem rynku opisującym dynamikę cen instrumentów finansowych w czasie, służącym do wyceny instrumentów pochodnych. W Referacie rozważany jest taki model wyceny opcji. Za pomocą zamiany zmiennych jest on przekształcany w zagadnienie o początkowej wartości brzegowej dla równania przewodzenia ciepła. Sformułowano odpowiednie twierdzenie zagadnienia wariacyjnego, a do jego półdyskretyzacji zastosowano metodę Galerkina z funkcjami bazowymi elementów skończonych. Następnie procedurę rozwiązania numerycznego uzupełniono uogólnioną regułą trapezową jako schematem całkowania względem czasu. Przeprowadzono eksperymenty numeryczne w celu wyceny amerykańskich opcji kupna i sprzedaży i porównano otrzymane wyniki z wynikami istniejącymi w literaturze.

M. KUBUS

Opole University of Technology (Poland)

PROBLEM OF HIGH DIMENSION OF FEATURE SPACE. REGRESSION TREES

Over the last three decades, we have witnessed the dynamic development of IT. During this time, collecting and storing huge databases has become a common practice. This concerns several areas of human activity: industry, public statistics, medicine and the economy. The goal of an analyst is often to discover unknown and unexpected relationships and patterns from data. Thus, features are included into models through statistical analysis, rather than prior knowledge of the phenomenon being studied. Feature selection is an important part of the modeling process, because analysts often struggle with high dimensionality, and irrelevant features can deteriorate the accuracy of predictions. We examine the effectiveness of simple filters as well as more advanced regression methods, which belong to so called embedded methods of feature selection. We consider the case of a high-dimensional feature space. The comparison is turned out with a use of simulations, and all calculations are performed using the R program. We show that a particularly attractive feature selection tool is the regression tree, despite the fact that this method is not recommended for linear dependency modeling.

PROBLEM WYSOKIEGO WYMIARU PRZESTRZENI CECH. DRZEWA REGRESYJNE

Wraz z dynamicznym rozwojem technologii komputerowych w ostatnich 3 dekadach obserwujemy powstawanie ogromnych baz danych. Dotyczy to wielu obszarów ludzkiej działalności: przemysłu, statystyki publicznej, medycyny czy ekonomii. Zadaniem analityka jest często wychwycenie na podstawie danych nieoczekiwanych związków, systematycznych relacji i wzorców. Wobec tego zmienne wprowadzane są do modeli na podstawie analizy statystycznej, gdyż wiedzy merytorycznej dotyczącej badanego zjawiska w wielu sytuacjach brakuje. Ich dobór jest ważnym elementem modelowania, gdyż często mamy do czynienia z ich nadmiarowością, a zmienne nieistotne mogą pogarszać dokładność predykcji modelu. W Referacie zbadano skuteczność modelowania dla prostych metod filtrowania oraz bardziej zaawansowanych metod regresji z integralnym doбором zmiennych. Rozważano przypadek dużej przestrzeni cech. Porównania dokonano za pomocą symulacji wykorzystując do obliczeń program R. Pokazano, że zasługującym na szczególną uwagę narzędziem doboru zmiennych są drzewa regresyjne, mimo, że nie są one dedykowane do modelowania zależności liniowych.

M. HACHKEVYCH¹, M. KLAPCHUK², R. MUSII², O. NAZARUK²

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

TEMPERATURE FIELDS AND STRESSES IN A THREE-LAYER COMPOSITE PLATE CAUSED BY CONVECTIVE HEATING

The study considers a rectangular isotropic plate with a layered irregular structure. It is convectively non-stationarily heated by an external environment. The initial relationships of the non-stationary heat conduction and thermoelasticity problem are formulated using a five-mode mathematical model based on shear deformation theory of thermoelasticity. Using the methods of Fourier and Laplace integral transforms, general solutions have been obtained for the non-stationary heat conduction problem and the quasi-static thermoelasticity problem for a hinge-supported plate along its edges. A numerical analysis of the temperature field, radial deflections, normal forces, bending moments, and normal stresses, depending on geometric parameters and the Bio criterion, has been performed for a three-layer plate. The materials of its layers are made of ceramics and metal. The temperature and mechanical parameters have been analyzed for the layering configuration of the plate: metal-ceramic-metal.

POLA TEMPERATUROWE I NAPRĘŻENIA W TRÓJWARSTWOWEJ PŁYCIE KOMPOZYTOWEJ PRZY NAGRZEWANIU KONWEKCYJNYM

W Referacie rozważa się prostokątną płytę izotropową o warstwowej, nieregularnej strukturze. Jest ona konwekcyjnie nagrzewana przez otoczenie zewnętrzne (według prawa Newtona). Wyjściowe zagadnienie przewodnictwa cieplnego i termosprężystości sformułowano na podstawie pięciomodowego modelu matematycznego opartego na teorii termosprężystości przy odkształceniach ścinających. Stosując metody całkowych przekształceń Fouriera i Laplace'a otrzymano ogólne rozwiązania składowych podzagadnień przewodnictwa cieplnego i quasi-statycznej termosprężystości dla płyty przegubowo opartej wzdłuż krawędzi. Przeprowadzono analizę numeryczną pola temperatury, ugięć promieniowych, sił normalnych, momentów zginających i naprężeń normalnych dla płyty trójwarstwowej, w zależności od parametrów geometrycznych i kryterium Bio. Materiały warstw są wykonane z ceramiki i metalu. Przeanalizowano parametry pól temperatur i mechanicznych przy konfiguracji warstwowej płyty: metal-ceramika-metal.

B. BOZHENKO¹, O. HACHKEVYCH^{1,2},
R. KUSHNIR², R. TERLETS'KYI²

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

**THERMOMECHANICS OF NON-FERROMAGNETIC BODIES WITH
LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER QUASI-STEADY
ELECTROMAGNETIC INTERACTION. SELECTED
MATHEMATICAL PROBLEMS**

This paper considers mathematical problems related to the quantitative description of temperature and mechanical stress fields in isotropic nonferromagnetic bodies of low electrical conductivity under the influence of an external quasi-steady electromagnetic field. Such problems arise in the development of processing technologies based on the use of electromagnetic interaction and in the solution of selected problems of the theory of electromagnetism.

**TERMOMECHANIKA NIEFERROMAGNETYCZNYCH CIAŁ O NISKIEJ
PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY QUASI-USTALONYM
ODDZIAŁYWANIU ELEKTROMAGNETYCZNYM. WYBRANE PROBLEMY
MATEMATYCZNE**

W Referacie tym rozpatrywane są matematyczne problemy powiązane z opisem ilościowym pól temperatury i naprężeń mechanicznych w izotropowych nieferromagnetycznych ciałach o niskiej przewodności elektrycznej przy oddziaływaniu zewnętrznego quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego. Takie problemy powstają przy opracowaniu technologii obróbki opartych na wykorzystaniu oddziaływania elektromagnetycznego oraz rozwiązaniu wybranych zagadnień teorii elektromagnetyzmu.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, R. IVAS'KO², A. KOZIARSKA¹, R. TERLETS'KYI²

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

**PHENOMENOLOGICAL (PHYSICAL) EQUATIONS FOR
DESCRIBING A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD IN A
NON-FERROMAGNETIC ENVIRONMENT WITH LOW ELECTRICAL
CONDUCTIVITY IN THE INDUCTION HEATING PROCESS**

A variant of physical equations (constitutive relations) for nonferromagnetic bodies with low electrical conductivity is considered when determining a quasi-steady electromagnetic field in the process of its interaction. These equations describe the electromagnetic properties and electrical conductivity of the bodies under consideration. The forms of these equations (relations) are determined based on the specific electrophysical properties of the considered type of materials, taking into account experimental data, with specific amplitude-frequency characteristics of external electromagnetic interaction and are approximated by analytical dependencies between the induction and intensity of electric and magnetic fields for a nonferromagnetic body with low electrical conductivity.

**RÓWNANIA FENOMENOLOGICZNE (FIZYCZNE) PRZY OPISIE QUASI-
USTALONEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W
NIEFERROMAGNETYCZNYM ŚRODOWISKU O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI
ELEKTRYCZNEJ W PROCESIE NAGRZEWANIA INDUKCYJNEGO**

Rozważany jest wariant równań fizycznych (związków konstytutywnych) dla nieferromagnetycznych ciał o niskiej przewodności elektrycznej przy określeniu quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego w procesie jego oddziaływania. Równania te opisują własności elektromagnetyczne i przewodność elektryczną rozważanych ciał. Postaci tych równań (związków) wyznacza się na podstawie szczególnych własności elektrofizycznych rozważanego typu materiałów z uwzględnieniem eksperymentalnych danych, przy określonych charakterystykach amplitudowo-częstotliwościowych zewnętrznego oddziaływania elektromagnetycznego i aproksymuje się je analitycznymi zależnościami między indukcją i natężeniem pól elektrycznego i magnetycznego dla nieferromagnetycznego ciała o niskiej przewodności elektrycznej.

B. CHORNYI¹, R. IVAS'KO², A. MARYNOWICZ³, V. MISHCHENKO²

¹ National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

³ Opole University of Technology (Poland)

ELECTROMAGNETIC FIELD IN A NONFERROMAGNETIC SOLID OF LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD

The problem of determining the quasi-steady electromagnetic field (QSEMF) in a non-ferromagnetic solid of low electrical conductivity (NFSLEC) under the influence of external QSEMF is considered. Such problems arise when solving problems of technological heating in various manufacturing processes of products with elements of non-ferromagnetic materials of low electrical conductivity, manufactured using EMF and some special problems of the theory of electromagnetism, as well as combined fields. The electric and magnetic field strengths were selected as the solving functions. The known equations of electrodynamics for the considered media and physical equations were assumed as the initial ones. In this case, the problem comes down to determining in a quasi-steady approximation the electric and magnetic field strengths from the NFSLEC electrodynamic equations with the characteristic relationship between the induction and the electric field strength for such materials and the considered EMF.

POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W NIEFERROMAGNETYCZNYM CIELE O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY ODDZIAŁYWANIU QUASI- USTALONEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Rozważane jest zagadnienie o wyznaczeniu quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego (QUPEM) w nieferromagnetycznym ciele o niskiej przewodności elektrycznej (NCNPE) przy oddziaływaniu zewnętrznego QUPEM. Zagadnienia takie powstają przy rozwiązywaniu problemów nagrzewania technologicznego w różnych procesach wytwórczych wyrobów z elementami z materiałów nieferromagnetycznych o niskiej przewodności elektrycznej, wyprodukowywanych z zastosowaniem PEM oraz pewnych

specjalnych zagadnień teorii elektromagnetyzmu, a również pól połączonych. Jako funkcję rozwiązującą wybrano natężenia pola elektrycznego jak również i magnetycznego. Za wyjściowe przyjęto wiadome równania elektrodynamiki dla rozważanych ośrodków oraz równania fizyczne. Przy tym zagadnienie sprowadza się do określenia w quasi-ustalonym przybliżeniu natężeń pól elektrycznego i magnetycznego z równań elektrodynamiki NCNPE przy charakterystycznej dla takich materiałów i rozważanych PEM zależności między indukcją i natężeniem pola elektrycznego.

B. BOZHENKO¹, L. HAYEVSKA², A. STANIK-BESLER¹, A. TORS'KYI²

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD IN A NON-FERROMAGNETIC SOLID OF LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY. FACTORS OF INFLUENCE

It is assumed that the electromagnetic field (EMF) is an external interaction with respect to a non-ferromagnetic solid of low electrical conductivity (NFSLEC), which causes the creation of factors in this solid: heat production and ponderomotive forces. The effect of these factors are fields of temperatures, displacements, deformations and stresses that arise in the solid, which can have a significant impact on the functional and ecological characteristics of the relevant elements of machines and devices during their construction or operation. The factors of such interaction on the considered material continuum are determined, which are expressed by parameters describing the considered electromagnetic field.

According to the initial assumptions, it is assumed that the EMF is an external influence in relation to the NFSLEC under consideration and its influence on the heat conduction and deformation processes is taken into account through the heat production caused by the EMF and the ponderomotive forces (electric and magnetic forces) distributed in the solid in a continuous manner. When establishing the expressions for heat production in the solid under consideration, the principle of conservation of the EMF energy (Poynting's theorem) is used in a local form, and for ponderomotive factors – certain models of the electromagnetic structure of the solid or statistical approaches.

QUASI-USTALONE POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W NIEFERROMAGNETYCZNYM CIELE O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ. CZYNNIKI ODDZIAŁYWANIA

Przyjmuje się, że pole elektromagnetyczne (PEM) jest oddziaływaniem zewnętrznym względem nieferromagnetycznego ciała o niskiej przewodności

elektrycznej (NCNPE), które wywołuje powstanie w tym ciele czynników: produkcji ciepłej oraz sił ponderomotorycznych. Skutkiem tych czynników są powstające w ciele pola temperatur, przemieszczeń, odkształceń i naprężeń, które mogą mieć istotny wpływ na funkcjonalne i ekologiczne charakterystyki odpowiednich elementów maszyn i urządzeń przy ich budowie czy eksploatacji. Określone są czynniki takiego oddziaływania na rozpatrywany continuum materialny, które wyrażone są przez parametry opisujące rozważane pole elektromagnetyczne.

Odpowiednio do wyjściowych założeń przyjmuje się, że PEM jest w stosunku do rozważanego NCNPE oddziaływaniem zewnętrznym i jego wpływ na procesy przewodnictwa ciepła i odkształcenia uwzględnia się przez spowodowane PEM produkcję ciepłą Q_* i siły ponderomotoryczne (siły elektryczne \vec{F}_E i magnetyczne \vec{F}_H) rozłożone w ciele w sposób ciągły. Przy ustaleniu wyrażen na produkcję ciepłą w rozpatrywanym ciele wykorzystuje się zasadę zachowania energii PEM (twierdzenie Poyntinga) w postaci lokalnej, a czynników ponderomotorycznych – pewne modele elektromagnetycznej budowy ciała lub podejścia statystyczne.

O. HACHKEVYCH¹, A. STANIK-BESLER²,
R. TERLETS'KYI¹, I. MAKHORKIN¹

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

**THERMOMECHANICAL STATE OF A NON-FERROMAGNETIC
SOLID WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE
INFLUENCE OF AN EXTERNAL QUASI-STEADY
ELECTROMAGNETIC FIELD**

The problem describing the dynamic thermomechanical state of a non-ferromagnetic solid with low electrical conductivity under the influence of an external quasi-steady electromagnetic field is formulated. This state is associated with the factors: heat production and ponderomotive forces generated by the field in such environments. In this case, we consider the commonly encountered case of an elliptical relationship between the induction and the intensity of the electric field, when complex amplitudes of the intensity and induction can be introduced, related by the complex permittivity coefficient. Then the interaction factors appear as a sum of two components: slightly variable with respect to time and quasi-steady with a carrier frequency 2ω , where ω – the angular frequency of the output field. Temperature and mechanical fields are presented in such a way. The corresponding problems of thermomechanics are formulated, when the temperature and the displacement vector and the temperature and the stress tensor are assumed as determinate functions.

**STAN TERMOMECHANICZNY NIEFERROMAGNETYCZNEGO CIAŁA O
NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY ODDZIAŁYWANIU
ZEWNĘTRZNEGO QUASI-USTALONEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO**

Sformułowano zagadnienie opisujące dynamiczny stan termomechaniczny nieferromagnetycznego ciała o niskiej przewodności elektrycznej przy oddziaływaniu zewnętrznego quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego. Stan ten powiązany jest z czynnikami: produkcją ciepłą i siłami ponderomotorycznymi, wytwarzanymi przez pole w takich środowiskach. Przy

tym rozważamy powszechnie spotykany przypadek eliptycznej zależności między indukcją i natężeniem pola elektrycznego, kiedy mogą być wprowadzone zespolone amplitudy natężenia i indukcji powiązane przez współczynnik zespolonej przenikalności elektrycznej. Wtedy czynniki oddziaływania występują w postaci sumy dwóch składowych: mało zmiennych względem czasu oraz quasi-ustalonych o częstości nośnej 2ω , gdzie ω – częstość kołowa wyjściowego pola. Temperatura i pola mechaniczne przedstawiane są w takim że podaniu. Sformułowano odpowiednie zagadnienia termomechaniki, kiedy za funkcję wyznaczalną przyjęto temperaturę i wektor przemieszczeń oraz temperaturę i tensor naprężeń.

Z. SZYLICKA, M. WIATR, K. WOJTECZEK-LASZCZAK

Opole University of Technology (Poland)

CONCEPTS OF FIRST-YEAR STUDENTS OF SELECTED FIELDS OF STUDY AT THE OPOLE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY AT THE BEGINNING OF THE ACADEMIC YEAR 2023/2024 REGARDING THE PROPERTIES OF FUNCTIONS

In October 2023, tests were conducted to check the knowledge and skills in mathematics among first-year students of full-time first-cycle studies in Electrical Engineering (EE) and Automation and Robotics (A&R) at the Opole University of Technology.

In this study, the authors decided to focus on the analysis of two questions concerning reading the properties of a function from its graph (question 7) and from the function formula (question 9). Question 7 is a question consistent with the requirements of the high school final exam in mathematics, practiced during mathematics education in high school. Question 9 is a less typical question in terms of the material covered in high school classes, but it is a standard task that students should be able to solve after taking the course in Mathematical Analysis (A&R) and Fundamentals of Mathematics for Engineers in Electrical Engineering (EEE).

Question 9 was much more difficult for students, but A&R students still did better than EEE. For both courses, it is necessary to practice the composition of functions with students so that during further mathematical education they do not have problems with calculating derivatives of composite functions. In both questions, students coped best with the concept of monotonicity of a function, which gives hope that they will cope with these concepts when they will study them using the derivative of a function.

POJĘCIA STUDENTÓW I ROKU WYBRANYCH KIERUNKÓW POLITECHNIKI OPOŁSKIEJ NA POCZĄTKU ROKU AKADEMICKIEGO 2023/2024 DOTYCZĄCE WŁASNOŚCI FUNKCJI

W październiku 2023 roku przeprowadzono testy sprawdzające wiedzę i umiejętności z matematyki wśród studentów I roku studiów stacjonarnych I-go

stopnia kierunków Elektrotechnika (EL) oraz Automatyka i Robotyka (AiR) Politechniki Opolskiej.

W tym opracowaniu autorzy postanowili skoncentrować się na analizie dwóch pytań dotyczących odczytania własności funkcji z jej wykresu (pytanie 7) oraz ze wzoru funkcji (pytanie 9). Pytanie 7 jest pytaniem zgodnym z wymaganiami na maturze z matematyki, ćwiczonym w czasie edukacji matematycznej w szkole średniej. Pytanie 9 jest mniej typowym pytaniem jeśli chodzi o materiał przerabiany na zajęciach w szkole średniej, jest za to standardowym zadaniem, które powinni umieć rozwiązać studenci po odbyciu kursu z Analizy matematycznej (AiR) oraz Podstaw matematyki dla inżynierów kierunku Elektrotechnika (ELE).

Pytanie 9 było dużo trudniejsze dla studentów, jednak nadal studenci AiR poradzili sobie lepiej niż ELE. Dla obu kierunków konieczne jest przećwiczenie ze studentami złożenia funkcji, aby w czasie dalszej edukacji matematycznej nie mieli problemów z obliczaniem pochodnych funkcji złożonych. W obu pytaniach studenci najlepiej poradzili sobie z pojęciem monotoniczności funkcji, co daje nadzieje, że poradzą sobie z tymi pojęciami gdy będą je badać przy pomocy pochodnej funkcji.

II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

**MODELLING AND OPTIMIZATION IN
MANUFACTURING PROCESSES**



O. HACHKEVYCH¹, R. KUSHNIR¹,
R. TERLETS'KYI¹, A. STANIK-BESLER²

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD. THERMOMECHANICAL STATE

The parameters characterizing the steady (periodic with respect to time) electromagnetic field and the temperature and mechanical fields in a non-ferromagnetic layer of low electrical conductivity, under the influence of an external electromagnetic field, determined by the values of the electric field intensity at the bases of the layer, are determined. In this case, the scheme is assumed as the initial one, in which the solution is obtained in two stages. In the first – from the problem of electrodynamics in a steady approximation, the electric and magnetic field intensity are determined. Then, the expressions for heat production (Joule heat and caused by repolarization) and ponderomotive forces are written down. In the second stage, the problem of dynamic thermoelasticity is solved (when the solving functions are displacements and temperature or stresses and temperature). In these problems, the heat sources and volume forces are the heat production and ponderomotive forces determined in the first stage, respectively. In order to determine the parameters of the electromagnetic field in a steady or quasi-steady approximation, a standard differential equation with constant coefficients is obtained, the structure of the solution of which determines the structure of the field interaction factors as well as the sought temperature and stresses.

NIEFERROMAGNETYCZNA WARSTWA O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY ODDZIAŁYWANIU USTALONEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO. STAN TERMOMECHANICZNY

Wyznaczone są parametry, charakteryzujące ustalone (okresowe względem czasu) pole elektromagnetyczne oraz pola temperaturowe i mechaniczne w nieferromagnetycznej warstwie o niskiej przewodności elektrycznej, przy oddziaływaniu zewnętrznego pola elektromagnetycznego, określonego wartościami natężenia pola elektrycznego na podstawach warstwy. Przy tym za

wyjściowy przyjęty schemat, w którym rozwiązanie otrzymuje się w dwóch etapach. W pierwszym – z zagadnienia elektrodynamiki w ustalonym przybliżeniu wyznacza się natężenia pól elektrycznego i magnetycznego. Następnie zapisuje się wyrażenia na produkcje ciepłą (ciepło Joule’a oraz spowodowane przepolaryzacją) i siły ponderomotoryczne. W drugim etapie rozwiązuje się zagadnienie dynamicznej termosprężystości (gdy funkcjami rozwiązującymi są przemieszczenia i temperatura lub naprężenia i temperatura). W zagadnieniach tych źródłami ciepła i siłami objętościowymi są odpowiednio wyznaczone w pierwszym etapie produkcja ciepła i siły ponderomotoryczne. Przy tym dla określenia parametrów pola elektromagnetycznego w ustalonym lub quasi-ustalonym przybliżeniu otrzymano jest standardowe różniczkowe równanie o stałych współczynnikach struktura rozwiązania którego określa strukturę czynników oddziaływania pola a również poszukiwanych temperatury i naprężeń.

B. BOZHENKO¹, L. HAYEVS'KA², R. IVAS'KO², R. TERLETS'KYI²

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

**DETERMINATION OF PARAMETERS DESCRIBING RESONANCE
PHENOMENA IN A NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW
ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A
STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD**

A calculation scheme has been proposed defining the resonance phenomena arising during modeling of the coupled fields: electromagnetic, thermal and mechanical in a non-ferromagnetic layer of low electrical conductivity under the influence of an external steady electromagnetic field. The scheme is based on a mathematical model describing the parameters of the existing coupled fields caused by the factors of the electromagnetic field interaction: the resulting heat production and ponderomotive forces. Two types of resonance phenomena have been revealed. The first – associated with the wave character of the change in the intensity of the electric and magnetic fields in the considered environments, leading to the existence of high values of the amplitudes of the intensity of the corresponding electric and magnetic fields, the factors of interaction and the resulting temperatures and stresses in the environments of certain frequencies of the electromagnetic field at specific values of the ratio of the wavelength and the thickness of the layer – the so-called parametric resonance (resonance of the “form”). The second one is related to the periodic (almost periodic) nature of the change in time of the electromagnetic field interaction factors in the presence of the natural frequencies of the layer vibrations, leading to the existence of high values of temperatures and stresses arising in the vicinity of certain electromagnetic field frequencies – the so-called mechanical resonance.

**OKREŚLENIE PARAMETRÓW OPISUJĄCYCH ZJAWISKA REZONANSOWE W
NIEFERROMAGNETYCZNEJ WARSTWIE O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI
ELEKTRYCZNEJ PRZY ODDZIAŁYWANIU USTALONEGO POLA
ELEKTROMAGNETYCZNEGO**

Zaproponowany został schemat obliczeniowy określający powstające przy modelowaniu pól połączonych: elektromagnetycznych, cieplnych i mechanicznych zjawiska rezonansowe w nieferromagnetycznej warstwie o niskiej przewodności elektrycznej przy oddziaływaniu zewnętrznego ustalonego

pola elektromagnetycznego. Schemat oparty jest na modelu matematycznym opisującym parametry istniejących rozważanych pól połączonych, spowodowanych czynnikami oddziaływania pola elektromagnetycznego: powstających produkcji cieplnej i sił ponderomotorycznych. Ujawniono dwa typy rezonansowych zjawisk. Pierwszy – powiązany z falowym charakterem zmiany natężeń pól elektrycznego oraz magnetycznego w rozpatrywanych środowiskach, przywodzącym do istnienia dużych wartości amplitud natężeń odpowiednich pól elektrycznych i magnetycznych, czynników oddziaływania i powstających temperatur i naprężeń w otoczeniach pewnych częstości pola elektromagnetycznego przy określonych wartościach stosunku długości fali i grubości warstwy – tzw. rezonans parametryczny (rezonans „formy”). Drugi – powiązany z okresowym (prawie okresowym) charakterem zmiany w czasie czynników oddziaływania pola elektromagnetycznego przy obecności własnych częstości drgań warstwy, przywodzącym do istnienia dużych wartości powstających temperatur i naprężeń w otoczeniach pewnych częstości pola elektromagnetycznego – tzw. rezonans mechaniczny.

R. IVAS'KO¹, R. MUSII², A. RAWSKA-SKOTNICZNY³, B. TRISHCH⁴

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

³ Opole University of Technology (Poland)

⁴ Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

**REGULARITIES OF THE DISTRIBUTIONS OF PARAMETERS
DESCRIBING COMBINED FIELDS AND RESONANCE PHENOMENA
IN A NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL
CONDUCTIVITY SUBJECTED TO ELECTROMAGNETIC
INFLUENCE**

Numerical analysis of selected parameters defining electric and magnetic field intensities and inductions, heat production, ponderomotive forces, temperature and mechanical stresses in a nonferromagnetic layer of low electrical conductivity subjected to the action of a steady (periodic with respect to time) electromagnetic field was performed while modeling its thermomechanical state. This field is given by the values of electric field intensity at the bases of the layer. The analysis is based on a known model of quantitative description of coupled fields in nonferromagnetic solids of low electrical conductivity under the action of a steady electromagnetic field, specified for the layer under consideration. A number of regularities related to the existing electrical characteristics of the material of low electrical conductivity and amplitude-frequency parameters of the electromagnetic field were established.

**PRAWIDŁOWOŚCI ROZKŁADÓW PARAMETRÓW OPISUJĄCYCH POLA
POŁĄCZONE ORAZ ZJAWISKA REZONANSOWE W
NIEFERROMAGNETYCZNEJ WARSTWIE O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI
ELEKTRYCZNEJ PODDANEJ ODDZIAŁYWANIU
ELEKTROMAGNETYCZNEMU**

Wykonano numeryczną analizę wybranych parametrów określających natężenia i indukcji pola elektrycznego i magnetycznego, produkcję ciepłą, siły ponderomotoryczne oraz temperaturę i naprężenia mechaniczne w nieferromagnetycznej warstwie o niskiej przewodności elektrycznej poddanej oddziaływaniu ustalonego (okresowego względem czasu) pola elektromagnetycznego przy modelowaniu jej stanu termomechanicznego. Pole

te zadane wartościami natężenia pola elektrycznego na podstawach warstwy. Analiza oparta jest na znanym modelu opisu ilościowego pól połączonych w nieferromagnetycznych ciałach o niskiej przewodności elektrycznej przy oddziaływaniu ustalonego pola elektromagnetycznego, skonkretyzowanym dla rozważanej warstwy. Ustalono szereg prawidłowości powiązanych z istniejącymi charakterystykami elektrycznymi materiału o niskiej przewodności elektrycznej oraz amplitudowo–częstotliwościowymi parametrami pola elektromagnetycznego.

B. BOZHENKO¹, B. CHORNYI², R. TERLETS'KYI³, T. WOŁCZAŃSKI⁴

¹ Opole University of Technology (Poland)

² National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

³ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

⁴ Zespół Szkolno-Przedszkolny w Głuszynie (Poland)

MODELING OF THE COUPLED FIELDS IN NON-FERROMAGNETIC LAYER WITH LOW ELECTRICAL CONDUCTIVITY UNDER THE INFLUENCE OF A QUASI-STATIONARY ELECTROMAGNETIC FIELD

The parameters characterizing the steady (periodic with respect to time) quasi-stationary electromagnetic field and the emerging temperature and mechanical fields in a non-ferromagnetic layer of low electrical conductivity, under the influence of an external quasi-stationary electromagnetic field, defined by appropriate values of the electric field intensity at the bases of the layer, are determined. The well-known general scheme for solving such problems and refined for the layer, in which the solution is obtained in two stages, is assumed as the starting point. In the first stage – from the problem of electrodynamics in a steady approximation, the electric and magnetic field intensities are determined. Then, the expressions for heat production (Joule heat and heat caused by repolarization) and ponderomotive forces are written down. In the second stage, the problem of dynamic thermoelasticity is solved (when the solving functions are displacements and temperature or stresses and temperature). In these problems, the heat sources and volumetric forces are the heat production and ponderomotive forces determined in the first stage, respectively. When determining the parameters of the electromagnetic field in a steady (quasi-steady) approximation, the quasi-stationarity conditions of the considered field are used. The peculiarities of the distributions of parameters describing the discussed fields and the specificity of resonance phenomena caused by the quasi-stationary nature of the interacting field are considered.

MODELOWANIE PÓŁ POŁĄCZONYCH W NIEFERROMAGNETYCZNEJ WARSTWIE O NISKIEJ PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PRZY ODDZIAŁYWANIU QUASI-STACJONARNEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Określone są parametry, charakteryzujące ustalone (okresowe względem czasu) quasi-stacjonarne pole elektromagnetyczne oraz powstające pola

temperaturowe i mechaniczne w nieferromagnetycznej warstwie o niskiej przewodności elektrycznej, przy oddziaływaniu zewnętrznego quasi-stacjonarnego pola elektromagnetycznego, określonego odpowiednimi wartościami natężenia pola elektrycznego na podstawach warstwy. Przy tym za wyjściowy przyjęty znany ogólny schemat rozwiązywania takich zagadnień i uściślony dla warstwy, w którym rozwiązanie otrzymuje się w dwóch etapach. W pierwszym – z zagadnienia elektrodynamiki w ustalonym przybliżeniu wyznacza się natężenia pól elektrycznego i magnetycznego. Następnie zapisuje się wyrażenia na produkcje ciepłą (ciepło Joule’a oraz spowodowane przepolaryzacją) i siły ponderomotoryczne. W drugim etapie rozwiązuje się zagadnienie dynamicznej termosprężystości (gdy funkcjami rozwiązującymi są przemieszczenia i temperatura lub naprężenia i temperatura). W zagadnieniach tych źródłami ciepła i siłami objętościowymi są odpowiednio wyznaczone w pierwszym etapie produkcja ciepła i siły ponderomotoryczne. Przy określeniu parametrów pola elektromagnetycznego w ustalonym (quasi-ustalonym) przybliżeniu wykorzystywane są warunki quasi-stacjonarności rozważanego pola. Rozpatrywane są osobliwości rozkładów parametrów opisujących omawiane pola oraz specyfika zjawisk rezonansowych spowodowanych quasi-stacjonarnym charakterem oddziaływającego pola.

N. MELNYK¹, R. MUSI¹, V. SHYNDER¹, A. STANIK-BESLER²

¹ National University “Lvivs’ka Politechnika” (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

**BIMETALLIC TUBULAR ELEMENT SUBJECTED TO AN
ELECTROMAGNETIC PULSE DURING MODELING AND
OPTIMIZATION OF INDUCTION HEATING REGIMES.
CALCULATION SCHEME OF PARAMETERS DEFINING THE
ELECTROMAGNETIC FIELD AND JOULE HEAT**

A computational scheme for determining the parameters of the electromagnetic field and Joule heat in an electrically conducting bimetallic tubular element under the influence of an amplitude-modulated electromagnetic pulse is proposed. The initial dependencies of the initial-boundary electrodynamic problem for the considered element are formulated, describing the electromagnetic field generated in it. The axial component of the magnetic field intensity vector is assumed as the key (solving) function. The problem is solved based on the approximation of the distribution of the key function in the component sublayers of the tubular element with respect to the radial coordinate of the second-degree polynomial (quadratic approximation). As a result, the initial-boundary problem is reduced to the Cauchy problem for the integral characteristics of the key function. General expressions are obtained for the considered function and the volumetric density of Joule heat in the component sublayers of the bimetallic tubular element at specific characteristics of the given amplitude-modulated pulse. The changes in time and the distribution of the considered quantities in terms of thickness of the sublayer components were numerically analyzed, depending on the carrier frequency of electromagnetic oscillations and the pulse duration. New regularities of these distributions were established, which can be taken into account when developing optimal pulse induction heating courses of similar structural or functional elements.

**BIMETALICZNY ELEMENT RUROWY PODDANY ODDZIAŁYWANIU
IMPULSU ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRZY MODELOWANIU I
OPTYMALIZACJI REŻYMÓW NAGRZEWANIA INDUKCYJNEGO. SCHEMAT
OBLICZENIOWY PARAMETRÓW OKREŚLAJĄCYCH POLE
ELEKTROMAGNETYCZNE I CIEPŁO JOULE’A**

Zaproponowany został schemat obliczeniowy określenia parametrów pola elektromagnetycznego oraz ciepła Joule’a w przewodzącym elektryczność

bimetalicznym elemencie rurowym przy oddziaływaniu amplitudowo-modulowanego impulsu elektromagnetycznego. Sformułowano wyjściowe zależności początkowo-brzegowe zagadnienia elektrodynamiki dla rozważanego elementu, opisujące powstające w nim pole elektromagnetyczne. Jako funkcję rozwiązującą (kluczową) przyjęto osiową składową wektora natężenia pola magnetycznego. Rozwiązywanie zagadnienia oparte na aproksymacji rozkładu funkcji kluczowej w składowych podwarstwach elementu rurowego względem współrzędnej radialnej wielomanem drugiego stopnia (kwadratowa aproksymacja). W wyniku wyjściowe początkowo-brzegowe zagadnienie zredukowano do zagadnienia Cauchy'ego dla charakterystyk całkowych funkcji kluczowej. Otrzymano ogólne wyrażenia dla rozpatrywanej funkcji i gęstości objętościowej ciepła Joule'a w składowych podwarstwach bimetalicznego elementu rurowego przy określonych charakterystykach zadanego impulsu amplitudowo-modulowanego. Przeanalizowano numerycznie zmiany w czasie oraz rozkład względem grubości składowych podwarstw rozważanych wielkości w zależności od częstotliwości nośnej drgań elektromagnetycznych i czasu trwania impulsu. Ustalono nowe prawidłowości tych rozkładów, które mogą być uwzględnione przy opracowaniu optymalnych przebiegów impulsowego nagrzewania indukcyjnego podobnych konstrukcyjnych czy funkcjonalnych elementów.

K. GHAZARYAN¹, M. KLAPCHUK², R. MUSII², I. SVIDRAK²

¹Institute of Mechanics NAS (Armenia)

²National University “Lvivs’ka Politechnika” (Ukraine)

ELECTRICALLY CONDUCTING PLATE SUBJECTED TO A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC FIELD DURING THE DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF INDUCTION HEATING REGIMES. CALCULATION SCHEME OF PARAMETERS DEFINING THE ELECTROMAGNETIC FIELD AND JOULE HEAT

A rectangular cross-section electrically conductive plate was considered when heated by induction through a quasi-steady electromagnetic field. Joule heat is generated in the plate. Depending on the parameters of the electromagnetic field and the electrophysical characteristics of the material, both a surface and volumetric field distribution can be generated in the plate. A two-dimensional, in relation to coordinates, physical-mathematical calculation scheme was proposed, defining the parameters of the electromagnetic field induced in the plate and the Joule heat generated in the case under consideration, formulated in two stages: in the first stage, a non-zero solving function is determined from the electrodynamics problem based on Maxwell's relations - the tangential component of the magnetic field intensity vector in the plate (parallel to the plate base). In the second stage, based on known relations, the specific density of Joule heat is determined, which is expressed by the component (tangential) of the electromagnetic field generated in the plate determined in the first stage.

The solution of the formulated problem is based on the approximation of the distribution of the solving function with respect to the plate thickness by a cubic polynomial (third degree with respect to the thickness coordinate). The coefficients of the approximating polynomial are expressed as a linear combination of the characteristics of the averaged solving functions (values integrated with respect to the thickness coordinate) and the given boundary values for this function. As a result, the two-dimensional initial-boundary problem for the solving function has been reduced to the corresponding one-dimensional one with respect to the integral characteristic of this function. The solution of the already available one-dimensional problem with respect to the transverse coordinate is obtained based on a finite integral transformation with respect to this coordinate, taking into account the boundary conditions at the edges of the plate with respect to the discussed coordinate, and the Laplace

transformation with respect to time (or direct solution of the ordinary differential equation with respect to time with constant coefficients at the last stage).

Numerical studies were performed for a copper plate with induction heating imposed on the edges by a quasi-steady electromagnetic field with a constant amplitude depending on the parameter of the equivalent depth of penetration of induction currents, corresponding to the surface field distribution (skin heating) as well as the volumetric field distribution (depth heating).

**PLYTKA PRZEWODZĄCA ELEKTRYCZNOŚĆ PODDANA
ODDZIAŁYWANIU QUASI-USTALONEGO POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO
PRZY OPRACOWANIU I OPTYMALIZACJI REŻYMÓW NAGRZEWANIA
INDUKCYJNEGO. SCHEMAT OBLICZENIOWY PARAMETRÓW
OKREŚLAJĄCYCH POLE ELEKTROMAGNETYCZNE ORAZ CIEPŁO JOULE'A**

Rozważano płytkę przewodzącą elektryczność o przekroju prostokątnym przy nagrzewaniu indukcyjnym poprzez quasi-ustalone pole elektromagnetyczne. Przy tym w płytce powstaje ciepło Joule'a. W zależności od parametrów pola elektromagnetycznego i elektrofizycznych charakterystyk materiału może powstawać w płytce jak powierzchniowy, tak i objętościowy rozkład pola. Zaproponowany został dwuwymiarowy względem współrzędnych fizyczno-matematyczny schemat obliczeniowy określający w rozważanym przypadku parametry indukowanego w płytce pola elektromagnetycznego oraz powstającego ciepła Joule'a, sformułowany w dwóch etapach: w pierwszym etapie, z zagadnienia elektrodynamiki opartym na zależnościach Maxwella wyznacza się różna od zera funkcja rozwiązująca – składową styczną wektora natężenia pola magnetycznego w płytce (równoległą do podstawy płytki). W drugim etapie, na podstawie znanych zależności określana jest gęstość właściwa ciepła Joule'a, która wyraża się przez wyznaczoną w pierwszym etapie składową (styczną) powstającego w płytce pola elektromagnetycznego.

Rozwiązanie sformułowanego zagadnienia oparte jest na aproksymacji rozkładu funkcji rozwiązującej względem grubości płytki wielomianem sześciennym (trzeciego stopnia względem grubościowej współrzędnej). Współczynniki aproksymacyjnego wielomiana wyrażone są w postaci liniowej kombinacji charakterystyk uśrednionych funkcji rozwiązujących (wielkości scałkowanych po współrzędnej grubościowej) i zadanych wartości brzegowych dla tej funkcji. W wyniku dwuwymiarowe wyjściowe zagadnienie początkowo-brzegowe dla funkcji rozwiązującej zredukowane zostało do odpowiedniego jednowymiarowego względem całkowitej charakterystyki tej funkcji. Rozwiązywanie otrzymanego już jednowymiarowego zagadnienia względem współrzędnej poprzecznej uzyskuje się w oparciu na skończone przekształcenie całkowite względem tej współrzędnej przy uwzględnieniu warunków brzegowych na krańcach płytki względem omawianej współrzędnej oraz przekształcenie Laplace'a względem czasu (lub bezpośrednio rozwiązywanie zwyczajnego

różniczkowego równania względem czasu o stałych współczynnikach na ostatnim etapie).

Badania numeryczne wykonano dla płytki miedzianej przy nagrzewaniu indukcyjnym zadanym na brzegach quasi-ustalonym polem elektromagnetycznym o stałej amplitudzie w zależności od parametru zastępczej głębokości wnikania prądów indukcyjnych, odpowiadającemu powierzchniowemu rozkładowi pola (nagrzewanie naskórkowe) również jak objętościowemu (nagrzewanie głębinowe).

N. IVAS'KO¹, R. IVAS'KO², A. STANIK-BESLER³, R. TERLETS'KYI²

¹ Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

³ Opole University of Technology (Poland)

LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGICAL HEATING OF FLAT FERRITE ELEMENTS. THE IMPACT OF AN UNEVENNESS DISTRIBUTION OF EXTERNAL ELECTRIC CURRENT

It is important to assess the influence of the uneven distribution of external electric current, as a technological factor, on the parameters of low-temperature heating of flat ferrite elements, taking into account their stressed state (strength characteristics). In order to achieve this, we considered a model problem on determining and studying the parameters of thermomechanical behaviour of a ferrite layer under the action of a quasi-steady electromagnetic field generated by a current flowing in a current-carrying plane parallel to the upper base of the layer, whose density has a sinusoidal character of change along the longitudinal coordinate. In accordance with the known results on the dependence of the intensity of the solid heating process on the frequency of the external electromagnetic field, it is assumed that the circular carrier frequency of this field lies outside the vicinity of resonance (when the thermally stressed state of the irradiated solid is practically quasi-static). In this case, the calculation scheme consists of three stages for sequentially determining the parameters that describe the electromagnetic, temperature, and mechanical fields.

NISKOTEMPERATUROWE NAGRZEWANIE TECHNOLOGICZNE PŁASKICH ELEMENTÓW FERRYTOWYCH. WPŁYW NIERÓWNOMIERNOŚCI ROZKŁADU ZEWNĘTRZNEGO PRĄDU ELEKTRYCZNEGO

Ważną jest ocena wpływu nierównomierności rozkładu zewnętrznego prądu elektrycznego, jako czynnika technologicznego, na parametry nagrzewania niskotemperaturowego płaskich elementów ferrytowych z uwzględnieniem ich stanu sprężystego (charakterystyk wytrzymałościowych). W tym celu rozważono modelowe zagadnienie określenia i badania parametrów zachowania termomechanicznego warstwy ferrytowej przy oddziaływaniu quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego wytworzonego przez prąd, płynący w płaszczyźnie prądonośnej równoległej do górnej podstawy warstwy, gęstość którego ma sinusoidalny charakter zmiany względem współrzędnej podłużnej. Zgodnie ze znanymi

wynikami dotyczącymi zależności intensywności procesu nagrzewania ciała od częstotliwości zewnętrznego pola elektromagnetycznego przyjmuje się, że kołowa częstotliwość nośna tego pola leży poza obszarami rezonansowymi (gdy stan termosprężysty istniejącego ciała jest praktycznie quasi-statyczny). Przy tym schemat obliczeniowy składa się z trzech etapów sekwencyjnego wyznaczania parametrów opisujących pole elektromagnetyczne, temperaturowe i mechaniczne.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, A. KOZIARSKA²,
O. HUMENCHUK¹, R. TERLETS'KYI¹

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

**COUPLED FIELDS ARISING IN PARTIALLY TRANSPARENT
SOLIDS CAUSED BY THERMAL IRRADIATION WHEN MODELING
THE THERMOELASTIC STATE WITH CONSIDERATION OF THE
SPECTRAL DEPENDENCE OF THE RADIATION
CHARACTERISTICS**

The problem of determining the coupled fields (electromagnetic radiation, thermal and mechanical) is formulated in a partially transparent homogeneous isotropic solid under thermal irradiation, taking into account the spectral dependences of radiation characteristics. This initial problem is reduced to three subproblems: determining the radiation field, temperature field and displacement field. The spectral densities of the effective radiation energy fluxes on surfaces, temperature and displacement are chosen as key functions.

When establishing the dependencies describing the radiation field, the integration over the solid angle is replaced by integration over visible surfaces and vice versa. In this case, the determination of the characteristics of the radiation field is reduced to a system of integral equations, which are solved using the quadrature method, the Gauss method with the selection of the main element, the Seidel iteration method. The thermal subproblem is solved numerically using the grid method of alternating directions. Quasi-static displacements and the corresponding stresses are determined numerically using the corresponding grid methods.

**POLA POŁĄCZONE POWSTAJĄCE W CIAŁACH STAŁYCH CZĘŚCIOWO
PRZEZROCZYSTYCH SPOWODOWANE PRZEZ NAPROMIENIOWANIE
CIEPLNE PRZY MODELOWANIU STANU TERMOSPREŻYSTEGO Z
UWZGLĘDNIENIEM ZALEŻNOŚCI WIDMOWYCH CHARAKTERYSTYK
PROMIENIOWANIA**

Zagadnienie określania połączonych pól (promieniowania elektromagnetycznego, cieplnego i mechanicznego) w częściowo przezroczystym jednorodnym

izotropowym ciele stałym poddanym napromieniowaniu cieplnemu jest sformułowane, przy uwzględnieniu zależności widmowych charakterystyk promieniowania. Te wyjściowe zagadnienie jest zredukowane do trzech podzagadnień: określania pola promieniowania, pola temperatury i pola przemieszczenia. Jako kluczowe funkcje przyjęte są: gęstości widmowe efektywnych strumieni energii promieniowania na powierzchniach, temperatura i przemieszczenia.

Przy ustalaniu zależności opisujących pole promieniowania całkowanie po kącie bryłowym zastępowane jest całkowaniem po widocznych powierzchniach i odwrotnie. W tym przypadku wyznaczanie charakterystyk pola promieniowania sprowadza się do układu równań całkowych, które rozwiązuje się metodą kwadraturową, metodą Gaussa z wyborem elementu głównego, metodą iteracji Seidla. Podzagadnienie cieplne rozwiązuje się numerycznie metodą siatki o przemiennych kierunkach. Przemieszczenia quasi-statyczne i odpowiadające im naprężenia wyznacza się numerycznie za pomocą odpowiednich metod siatki.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, L. HAYEVS'KA¹, O. HUMENCHUK¹, S. MORYŃ³

¹ Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

³ Zespół Szkół Ogólnokształcących Nr 1 w Sędziejowicach (Poland)

REGULARITIES OF THE DISTRIBUTIONS OF PARAMETERS OF THE COUPLED FIELDS IN A PARTIALLY TRANSPARENT GLASS LAYER UNDER THERMAL IRRADIATION IN ORDER TO SIMULATE THE THERMOELASTIC STATE

A numerical analysis of selected parameters characterizing the coupled fields (radiation field, thermal and mechanical) caused by thermal radiation in a homogeneous isotropic glass layer partially transparent to such radiation has been performed. The radiation source is a heated flat surface parallel to the upper base of the layer. A surface reflecting such radiation is placed on the side of the lower base. The spectral dependences of the radiation characteristics have been taken into account. The analysis is based on the known model for describing the considered coupled fields under electromagnetic irradiation. A number of regularities and features in the distributions of parameters describing the fields under consideration (both material characteristics and the fields themselves) have been established, related to the existing spectral dependencies of radiation characteristics. The results obtained may be useful in developing optimal modes of technological heating of structural elements or devices (and them as a whole) using thermal radiation.

PRAWIDŁOWOŚCI ROZKŁADÓW PARAMETRÓW POŁĄCZONYCH PÓL W CZĘŚCIOWO PRZEZROCZYSTEJ SZKLANEJ WARSTWIE PRZY NAPROMIENIOWANIU CIEPLNYM W CELU SYMULACJI STANU TERMOSPREŻYSTEGO

Przeprowadzono analizę numeryczną wybranych parametrów charakteryzujących pola połączone (pole promieniowania, termiczne i mechaniczne) wywołane przez promieniowanie cieplne w jednorodnej izotropowej szklanej warstwie częściowo przezroczystej dla takiego promieniowania. Źródłem promieniowania jest nagrzana płaska powierzchnia równoległa do górnej podstawy warstwy. Powierzchnia odbijająca takie promieniowanie została umieszczona ze strony dolnej podstawy. Uwzględniono

zależności widmowe charakterystyk promieniowania. Analiza oparta jest na znanym modelu opisu rozpatrywanych pól połączonych przy napromieniowaniu elektromagnetycznym. Ustalono szereg prawidłowości i osobliwości w rozkładach parametrów opisujących rozpatrywane pola (zarówno charakterystyki materiałowe, jak i same pola), związanych z istniejącymi zależnościami widmowymi charakterystyk radiacyjnych. Uzyskane wyniki mogą być przydatne w opracowaniu optymalnych sposobów technologicznego nagrzewania elementów konstrukcyjnych lub urządzeń (oraz ich całości) za pomocą promieniowania cieplnego.

A. KOZIARSKA¹, I. MAKHORKIN²,
M. MAKHORKIN^{2,3}, T. MAKHORKINA⁴

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics
NASU (Ukraine)

³ National University “Lvivs’ka Politechnika” (Ukraine)

⁴ Lviv National Environmental University (Ukraine)

STATIONARY THERMAL STATE OF A MULTICOMPONENT COMPOSITE WEDGE. MODELLING AND MATHEMATICAL DESCRIPTION

The stationary problem of heat conduction for a multicomponent composite wedge is considered. Based on formulating a generalized conjugation problem and using the Mellin transform a methodology for constructing explicit expressions for the distribution of temperature fields in a multi-wedge system is proposed. Using the proposed methodology, the expressions for the temperature field in a system consisting of an arbitrary number of wedges are constructed in general form. The distribution of temperature in a two-wedge system with different physical and geometrical parameters is investigated.

STACJONARNY STAN CIEPLNY WIELOSKŁADNIKOWEGO KLINA KOMPOZYTOWEGO. MODELOWANIE I OPIS MATEMATYCZNY

Rozważono stacjonarne zagadnienie przewodnictwa ciepła dla wieloskładnikowego klina kompozytowego. Na podstawie sformułowanego uogólnionego zagadnienia sprzężenia i wykorzystania transformacji Mellina zaproponowano metodologię konstruowania jawnych wyrażeń dla rozkładu pól temperatury w układzie wieloklinowym. Stosując proponowaną metodologię, uzyskuje się wyrażenia dla pola temperatury w postaci ogólnej w układzie składającym się z dowolnej liczby klinów. Jako przykład, zbadany jest rozkład temperatury w układzie dwuklinowym o różnych parametrach fizycznych i geometrycznych.