

# **POLITECHNIKA OPOLSKA**

---

**WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I LOGISTYKI**

Współorganizatorzy:

UNIwersytet Techniczny w Ostrawie (Czechy)

UNIwersytet Techniczny w Koszycach (Słowacja)

Instytut Problemów Stosowanych

Mechaniki i Matematyki (IPSM)

Narodowej Akademii Nauk

UNIwersytet Narodowy Politechniki Lwowska (UNPL)

(Ukraina)

**Międzynarodowe seminarium naukowe**

## ***OPTYMALIZACJA STRUKTUR PROCESÓW WYTWÓRCZYCH - 2022***

**Materiały**



**OPOLE  
20 grudnia 2022**

---

OPOLE 2022

**KOMITET NAUKOWY**

**PRZEWODNICZĄCE:**

Hachkevych O.,  
Stanik- Besler A.,  
Wołczański T.

**CZŁONKOWIE:**

Bozhenko B., Koziarska A., Kubus M.,  
Madej-Lachowska M., Moryń S., Musii R.,  
Pączko D., Terlets'kyi R.

**KOMITET ORGANIZACYJNY:**

Bozhenko B., Ivas'ko R., Koziarska A.,  
Melnik N., Metelski A., Wołczański T.

**JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE:**

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

**ZAKRES TEMATYCZNY:**

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

**SEKRETARIAT SEMINARIUM:**

POLITECHNIKA OPOLSKA

Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki  
Katedra Matematyki i Zastosowań Informatyki  
ul. Ozimska 75, 45-370, Opole  
tel. 77 – 449 87 25

## SPIS TREŚCI

### REFERATY ZAMAWIANE

<b>1. O. HACHKEYVICH, A. STANIK-BESLER, T. WOŁCZAŃSKI</b> PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2022 .....	9
<b>2. M. KUBUS</b> DOKŁADNOŚĆ PRZEWIDYWAŃ KLASYFIKATORÓW REGULOWYCH PRZY INFORMACJI NIEISTOTNEJ .....	15
<b>3. R. IVAS’KO, R. MUSHI, A. STANIK-BESLER, H. STASIUK</b> PROBLEMS OF MODELING IN THERMOMECHANICS OF ELECTRICALLY CONDUCTIVE BODIES UNDER THE INFLUENCE OF PULSED ELECTROMAGNETIC FIELDS, TAKING INTO ACCOUNT THE COUPLING OF DEFORMATION AND TEMPERATURE FIELDS .....	18
 <b>I. APLIKACJE NAUK PODSTAWOWYCH I UWZGLĘDNIENIE CZYNNIKÓW TOWARZYSZĄCYCH W PROCESACH WYTWÓRCZYCH</b>	
<b>1. D. PĄCZKO</b> REGULARNOŚĆ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH PRZY ZAMIANIE ZMIENNYCH .....	25
<b>2. H. ŚCIĘGOSZ</b> PERIODIC AND APERIODIC OSCILLATION REACTIONS. CORRELATION FUNCTIONS AND ONE-DIMENSIONAL TRANSFER FUNCTIONS .....	26
<b>3. V. FLYUD, O. TERESHCHUK</b> THE ASYMPTOTIC OF THE SOLUTION OF A SINGULARLY PERTURBED SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION WITH INTEGRAL CONDITION .....	28
<b>4. R. IVAS’KO, R. KUSHNIR, A. STANIK-BESLER, R. TERLETS’KYI</b> PROBLEMS DESCRIBING ELECTROMAGNETIC FIELD PARAMETERS IN ELECTRICALLY CONDUCTING BODY IN A MIXED CURVILINEAR COORDINATE SYSTEM .....	29
<b>5. B. BOZHENKO, B. CHORNYI, O. HACHKEYVICH, R. MUSHI</b> THERMAL STRESSED STATE OF CYLINDRICAL ELECTRICAL CONDUCTIVE SHELL AT INDUCTION HEATING BY RING CURRENTS UNDER THE CONDITIONS OF THE SKIN EFFECT .....	30
<b>6. B. CHORNYI, K. GHAZARYAN, O. HACHKEYVICH, A. KOZIARSKA</b> ELECTRIC-CONDUCTING CYLINDRICAL SHELL UNDER A QUASI- STEADY ELECTROMAGNETIC INFLUENCE EXCITED BY A RING INDUCTOR UNDER THE CONDITIONS OF THE SKIN EFFECT .....	31
<b>7. B. CHORNYI, R. IVAS’KO, S. MORYŃ, A. STANIK-BESLER</b> THERMOMECHANICS OF ELECTRIC-CONDUCTING CYLINDRICAL SHELLS UNDER INDUCTION HEATING BY QUASI-STEADY ELECTRIC CURRENTS PARALLEL TO A GENERATRIX OF THE SHELLS .....	32

<b>8. A. CHWASTYK</b>	
THE ORDERED FUZZY INFERENCE. APPLICATION OF METHOD IN CALCULATION OF THE STROKE RISK .....	33
<b>9. K. HYS, A. KOZIARSKA</b>	
DISTRIBUTION OF SUPPLEMENT PRODUCT SUPPLY. STATISTICAL ANALYSIS .....	34
<b>10. A. METELSKI, B. MIŁASZEWICZ</b>	
ON THE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WHEAT GRAIN .....	36
<b>11. A. TISZBIEREK</b>	
COMPUTER TECHNIQUES TAUGHT IN IT SUBJECTS IN THE FIELD OF MANAGEMENT AND PRODUCTION ENGINEERING .....	37
<b>12. A. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA</b>	
FUNKCJE WYDZIAŁÓW TRANSFERU TECHNOLOGII, DZIAŁALNOŚCI INNOWACYJNEJ I WŁASNOŚCI INTELEKTUALNEJ W ODNIESIENIU DO PRZEDMIOTÓW WŁASNOŚCI INTELEKTUALNEJ .....	38
 <b>II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH</b>	
<b>1. O. HACHKEVYCH, T. KOURNYTS'KYI, R. TERLETS'KYI, A. STANIK-BESLER</b>	
ON THE EFFECT OF INFRARED ELECTROMAGNETIC IRRADIATION ON HEAT AND MASS TRANSFER IN SEMITRANSSPARENT MULTICOMPONENT SOLIDS .....	41
<b>2. B. BANDYRS'KYI, L. HOSHKO, R. MUSII, I. PYRIH, A. STANIK- BESLER</b>	
THERMOMECHANICAL BEHAVIOR OF ELECTRIC-CONDUCTING TUBULAR ELEMENTS UNDER TECHNOLOGICAL HEATING BY ELECTROMAGNETIC PULSES .....	42
<b>3. M. KLAPCHUK, N. MELNYK, R. MUSII, T. WOŁCZAŃSKI</b>	
QUANTITATIVE DESCRIPTION OF THE THERMOELASTIC BEHAVIOR OF AN ELECTROCONDUCTIVE CYLINDER WITH A THIN ELECTROCONDUCTIVE COATING DURING TECHNOLOGICAL PROCESSING BY ELECTROMAGNETIC IMPULSE .....	44
<b>4. R. IVAS'KO, N. MELNYK, I. SVIDRAK, V. SHYNDER</b>	
TWO-DIMENSIONAL NON-STATIONARY NON-HOMOGENOUS ELECTROMAGNETIC FIELDS IN ELECTROCONDUCTIVE NON- FERROMAGNETIC BODIES WITH PLANE-PARALLEL BOUNDARIES ..	46
<b>5. B. BOZHENKO, O. HACHKEVYCH, M. HACHKEVYCH, B. TRISHCH</b>	
TO THE DETERMINATION OF OPTIMUM MODES OF THERMOVACUUM TREATMENT USING CONVECTIVE HEATING OF ELECTROVACUUM DEVICES GEOMETRICLY CLOSE TO SPHERICAL CLOSED SHELLS .....	48
<b>6. B. BOZHENKO, M. HACHKEVYCH, I. MAKHORKIN, A. KOZIARSKA</b>	
OPTIMAL MODES OF THERMAL VACUUM TREATMENT USING CONVECTIVE HEATING OF GEOMETRICLY CLOSE TO CYLINDRICAL CLOSED SHELLS OF ELECTRIC VACUUM DEVICES ...	49

<b>7. L. HAYEVSKA, O. HACHKEVYCH, O. HUMENCHUK, A. STANIK-BESLER</b> MODES OF TECHNOLOGICAL HEATING USING ELECTROMAGNETIC RADIATION OF DEVICE ELEMENTS .....	<b>50</b>
<b>8. O. HUMENCHUK, V. MISHCHENKO, S. MORYŃ, R. TERLETS'KYI</b> THERMOSTRESSED STATE OF A PARTIALLY TRANSPARENT HOLLOW BALL UNDER THERMAL IRRADIATION .....	<b>51</b>
<b>9. O. HACHKEVYCH, O. HUMENCHUK, A. RAWSKA- SKOTNICZNY, A. TORS'KYI</b> OPTIMIZATION PROBLEMS UNDER TYPICAL CRITERIA FOR STRESS STATE OPTIMIZATION .....	<b>52</b>
<b>10. O. HACHKEVYCH, M. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, A. MARYNOWICZ</b> MODES OF THERMAL VACUUM TREATMENT OF DEVICE SHELLS USING ELECTROMAGNETIC RADIATION .....	<b>53</b>
<b>11. S. BUDZ, M. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA, R. KUSHNIR</b> METHOD OF OPTIMIZATION ON MECHANICAL STRESSES OF TECHNOLOGICAL HEATING MODES OF COMPOSITE AXISYMMETRIC PIECE-HOMOGENEOUS GLASS SHELLS .....	<b>54</b>



## **REFERATY ZAMAWIANE**







O. HACHKEYVYCH<sup>1,2</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>1</sup>, T. WOŁCZAŃSKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

## PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2022

Podstawowym zadaniem przemysłu na danym etapie również jak w ciągu szeregu lat poprzednich pozostaje produkcja globalnie konkurencyjnych i potrzebnych wyrobów nowego pokolenia w jak najkrótszych terminach i z gwarantowanym okresem eksploatacji, oparta na formowaniu innowacyjnej ekonomii wiedzy oraz jej znaczeniu, uwarunkowanych przyspieszonym rozwojem technologii, totalną komputeryzacją i automatyzacją, globalizacją i hiperkonkurencją, a także stale przyspieszającymi się zmianami w organizacji wytwarzania. Przy tym dla rozbudowy procesów wytwórczych jednym z najważniejszych aspektów jest problem opracowania i ulepszania na podstawie ciągłego doskonalenia ich 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 zagadnień społecznych, ekonomicznych, ekologicznych i inżynierii produkcji, w szczególności inżynierii bezpieczeństwa, przy powszechnym wykorzystaniu współczesnego komputerowego inżynieringu (dla którego charakterystycznymi cechami są multidyscyplinarność i wielobranżowość). Pewne korekty w tym wnoszą osobliwości powiązane z pandemią spowodowaną przez COVID-19 i kolejne jego mutacje, a również przez odrębne jak międzynarodowe, tak i ogólnopństwowe wydarzenia.

Badania dotyczące wspomnianych dziedzin prowadzone są przez działający od początku lat dwutysięcznych 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) do takich podstawowych:

2015 rok

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

2022 rok

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

Przy tym wybrane pytania trzeciego tematycznego kierunku są uwzględnione w przytoczonych wynikach badań.

Osobliwością stosowanego podejścia jest koncepcja rozwiązywania powyższych problemów poprzez opracowanie odpowiednich modeli matematycznych opisujących rozważane procesy i zjawiska, metod rozwiązywania sformułowanych przy tym zagadnień matematyki, fizyki i chemii i nauk towarzyszących, optymalizację tych procesów z uwzględnieniem eksperymentalnych i teoretycznych danych o ich osobliwościach, a również 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 przy powszechnym zastosowaniu na wszystkich etapach symulacji komputerowej.

Szczególna uwaga jest przydzielana organizacji procesów wytwarzania i zarządzania działalnością i 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 w oparciu na podejścia informatyki i specjalne celowe oprogramowanie.

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

Z analizy różnorodnych aspektów organizacji procesów wytwórczych wynika, że w tej dziedzinie w każdym roku nadal wykonywana jest znaczna ilość badań, które mają zróżnicowany charakter i wymagają uogólnienia i systematyzacji. Próbę takiego usystematyzowania wiedzy we wspomnianych trzech obszarach tematycznych, powiązanych z wykorzystaniem wyników nauk podstawowych, modelowania i optymalizacji, a również metod dostosowania do wymogów inżynierii bezpieczeństwa w połączeniu tej wiedzy z występującymi problemami społecznymi, ekonomicznymi, ekologicznymi i inżynierii produkcji, w tym inżynierii bezpieczeństwa, podjęto w Politechnice Opolskiej przez

wydawanie w ciągu ponad dziesięciu 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 wytворчых / 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 wytворчых, 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.

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

Niniejsze tematy oraz zagadnienia omawiane na seminarium przedstawiają nowe rezultaty przeprowadzonych w latach 2021-2022 badań w tych kierunkach wiedzy z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania i przenikania oraz pewnego wpływu warunków pandemii i są podane w dwóch odznaczonych wyżej tematycznych uogólnieniach.

Pierwszy rozdział zakresu tematycznego przedstawia nowe rezultaty badań dotyczące dziedziny zastosowania metod i aplikacji nauk podstawowych przy rozwiązywaniu zagadnień stosujących się opacowania wybranych aspektów teoretycznych podstaw procesów wytwórczych z uwzględnieniem czynników towarzyszących (13 tematycznych rozdz.).

W drugim rozdziale zakresu tematycznego podane są nowe wyniki badań, dotyczących modelowania matematycznego oraz optymalizacji przy opracowaniu procesów wytwórczych (11 tematycznych rozdz.).

Z przedstawionych referatów z zakresu tematycznego seminarium – które odbywa się corocznie ponad dziesięć lat – wynika, że charakterystyczną i ważliwą osobliwością obecnego etapu rozwoju procesów wytwórczych pozostaje konieczność rozwiązania wielu teoretycznych oraz praktycznych problemów wytwarzania wspólnie z występującymi jednocześnie towarzyszącymi zagadnieniami społecznymi, ekonomicznymi, ekologicznymi, inżynierii produkcji w tym bezpieczeństwa pracy i środowiska przebywania, logistycznymi, dydaktycznymi. Przy tym i nadal obserwuje się 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 inżynierii produkcji (w tym logistyki, marketingu, inżynierii bezpieczeństwa), dydaktycznych i in. Te przenikanie pogłębia się poprzez osobliwości oddziaływania różnych niestandardowych czynników, powiązanych z pandemią i odrębnymi międzynarodowymi i ogólnopństwowymi wydarzeniami. Odznaczona tendencja w rozwinięciu rozważanych kierunków wytwarzania (produkcji) będzie pogłębiać się i w przyszłości.

Jak poprzednio rozwiązywanie omawianych złożonych zagadnień wytwarzania powiązane jest z kompleksowością takich badań naukowych, prowadzenie ich przez szeroki zespół specjalistów z różnych dziedzin nauki i możliwe jest tylko w wyniku wszechstronnej ogólnopolskiej i międzynarodowej współpracy pomiędzy odpowiednimi jednostkami naukowymi. Podтверdzają to wyniki prowadzonych w ciągu ponad 20 lat wspólnych badań naukowców 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 Zielonogóskim, Polskim Towarzystwem Ergonomicznym w Warszawie, Państwowym Moskiewskim Uniwersytetem Technicznym STANKIN, Instytutem Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki Narodowej Ukraińskiej Akademii Nauk, Narodowymi Uniwersytetami im. Iw. Franki i „Politechniką Lwowską” we Lwowie, Uniwersytetem Technicznym w Ostrawie oraz Uniwersytetem Technicznym w Koszycach. Podane w tomach wydania 2022 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 bezpieczeństwa 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 iz omawianych na seminarium problemów będą przedyskutowane więc dokładnie w rozdziałach wydawanych kolejnych odpowiednich tematycznych monografi-

M. KUBUS

Opole University of Technology (Poland)

## **DOKŁADNOŚĆ PRZEWIDYWAŃ KLASYFIKATORÓW REGUŁOWYCH PRZY INFORMACJI NIEISTOTNEJ**

Duże hurtownie danych oraz rozwinięte technologie ich przetwarzania i analizy są wszechobecne w przemyśle czy ekonomii. Indukcja reguł mająca wiele podobieństw z drzewami klasyfikacyjnymi należy do grupy metod z integralnym mechanizmem doboru zmiennych. Możliwość przetwarzania zmiennych objaśniających ilościowych i jakościowych, automatyczna selekcja zmiennych oraz przejrzysta w interpretacji postać modelu czynią z niej chętnie wybierane narzędzie modelowania. Dobór zmiennych ma szczególne znaczenie w sytuacjach, gdy celem analizy jest wydobywanie wiedzy z danych, które pochodzą z automatycznie gromadzonych baz i często nie są pobierane w wyniku starannie zaplanowanego eksperymentu. Pokażemy, że mimo wspomnianej atrakcyjności klasyfikatorów regułowych należy je stosować z pewną ostrożnością. W eksperymencie wykorzystamy dane rzeczywiste, do których wprowadzane będą sztucznie generowane zmienne z różnych rozkładów, które nie niosą informacji o zmiennej objaśnianej. W ten sposób zweryfikujemy odporność metod indukcji reguł na szum informacyjny.

Wraz z dynamicznym rozwojem technologii komputerowych w ostatnich trzech dekadach obserwujemy powstawanie ogromnych baz danych. Dotyczy to wielu obszarów ludzkiej działalności: przemysłu, statystyki publicznej, medycyny oraz ekonomii, gdzie dla przykładu wymienić można dane zakupowe w supermarketach, zapisy historii użytkowania kart kredytowych, odwiedzin stron internetowych itd. Celem analizy danych staje się często wychwycenie nieoczekiwanych związków, systematycznych relacji i wzorców. Jest ona zatem zadaniem wydobywania wiedzy z danych. W przeciwieństwie do confirmacyjnej analizy statystycznej, gdzie etap gromadzenia danych poprzedzany jest planowaniem zestawu cech statystycznych na bazie wiedzy merytorycznej o badanym zjawisku, eksploracyjna analiza danych ma często na wejściu zbiór danych zgromadzonych w innym celu lub zgromadzonych automatycznie jako historie transakcji, aktywności w internecie, pracy urzędnika itp. W tej sytuacji możemy się spodziewać, że dysponujemy informacją nadmiarową lub nawet nieistotną z punktu widzenia modelowania.

W modelach przewidywań z jakościową zmienną objaśnianą, nazywanych także modelami dyskryminacyjnymi lub klasyfikatorami, zmienne nieistotne niosą z sobą wiele problemów. Ich duża liczba wiąże się ze spadkiem dokładności oszacowań parametrów modelu, wzrostem błędów klasyfikacji, utratą

prostoty interpretacji modelu, długim nieraz czasem budowy modelu, co w niektórych zastosowaniach ma kluczowe znaczenie. Z tego powodu zagadnienie identyfikacji zmiennych nieistotnych zajęło poczesne miejsce w literaturze światowej [4]. Klasycznym jest już podział metod selekcji zmiennych na trzy grupy [5]. Pierwsza to filtrowanie zmiennych polegające na przygotowaniu zestawu zmiennych przed etapem budowy modelu. Użyteczność zmiennych oceniana jest za pomocą wybranego kryterium wg indywidualnego wpływu na zmienną objaśnianą lub wg wpływu całego podzbioru. Druga grupa metod selekcji wykorzystuje ocenę modeli budowanych na różnych podzbiórach zmiennych. Tu kluczową rolę odgrywa strategia przeszukiwania, gdyż zagadnienie jest kombinatorycznie złożone. Przykładem tego podejścia jest wykorzystana w rozdziale procedura krokowa [1, 6]. Wreszcie trzecią grupę metod selekcji zmiennych, na której się skupiamy, stanowią algorytmy, które jednocześnie budują klasyfikatory i dobierają do modelu zmienne. W tym przypadku selekcja zmiennych jest integralną częścią metody dyskryminacji. Tę grupę metod reprezentują drzewa klasyfikacyjne i indukcja reguł [2, 3]. Oprócz automatycznej selekcji zmiennych mają one kilka innych atrakcyjnych dla analityków cech, są nieparametryczne więc nie stawiają wymogów co do rozkładów zmiennych, mogą przetwarzać zmienne ilościowe i jakościowe oraz generują modele w łatwej do interpretacji postaci, nawet dla osób nie zajmujących się profesjonalnie analizą danych. Ta ostatnia cecha decyduje o ich wyborze w tych aplikacjach, gdzie oprócz klasyfikacji istotną rolę stanowi pozyskanie wiedzy z danych. W dalszej części zbadamy w jakim stopniu algorytmy indukcji reguł są odporne na informację nieistotną, jaka może występować w dużych zbiorach danych. W przeprowadzonym eksperymencie wykorzystamy zbiór danych rzeczywistych, do którego dołączymy sztucznie generowane zmienne z różnych rozkładów, które nie niosą informacji o zmiennej objaśnianej. Obserwować będziemy wpływ tych zmiennych na błąd klasyfikacji.

Przeanalizowane zostały:

- *klasyfikacja z nauczycielem a selekcja zmiennych*;
- *klasyfikatory regułowe*;
- *klasyfikatory agregowane*.

Przeprowadzono *badania empiryczne*, wykorzystując powszechnie dostępny zbiór danych Pima Indian Diabetes z repozytorium UCI Repository of Machine Learning Databases. Dane zostały przygotowane przez National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. Zbiór zawiera 8 zmiennych objaśniających, binarną zmienną objaśnianą (dwie klasy) oraz 768 obiektów, które zostały podzielone losowo na część uczącą (512 obiektów) oraz część testową (256 obiektów). Obiektami są pacjenci, którym wykonano test cukrzycowy. Zmienne objaśniające to: poziom cukru we krwi, wiek pacjenta, indeks BMI, ... Motywacją wyboru tego zbioru danych był relatywnie dobry rezultat jaki dawała metoda liniowej analizy dyskryminacyjnej LDA, mianowicie mniejszy błąd klasyfikacji od metod adaptacyjnych. Eksperyment



polegał na wprowadzeniu do zbioru danych sztucznie wygenerowanych zmiennych nieistotnych i obserwacji jak one wpłyną na błąd klasyfikacji.

Do wykonania przeprowadzonych obliczeń wykorzystano: program R z pakietami MASS, rpart, randomForest, adabag, RuleFit, RoughSets, a także oryginalną implementację algorytmów RIPPER oraz SLIPPER napisaną w języku C+.

W wyniku badań otrzymano, że algorytmy indukcji reguł są wrażliwe na zmienne nieistotne. Jest to bardzo ważny wniosek ze względu na fakt, że reprezentują one grupę metod adaptacyjnych, a więc takich, które dobierają do modelu zmienne, które lokalnie optymalizują kryterium homogeniczności. Z kolei biorąc pod uwagę klasyfikację metod doboru zmiennych, algorytmy indukcji reguł należą do grupy z wbudowanym mechanizmem selekcji zmiennych (*embedded methods*), co także sugerowało by ich naturalną odporność na negatywne efekty niesione przez zmienne nieistotne. Zatem klasyfikatory regułowe nie są rekomendowane w zastosowaniach, gdzie potencjalnie takie zmienne mogłyby występować, zwłaszcza w dużych ilościach. Oczywiście nie dyskredytuje to całkowicie tych metod. Przed ich zastosowaniem jednakże zbiory powinny być poddane czyszczeniu. Zmienne bez mocy dyskryminacyjnej należy identyfikować i usuwać w etapie poprzedzającym budowę modelu. Klasyfikatory regułowe mają zalety interpretacyjne, czytelną postać nawet dla osób spoza kręgów analityków danych. Prosty model w postaci koniunkcji warunków stanowi o ich atrakcyjności tam, gdzie oprócz dokładnej klasyfikacji ważna jest także wiedza o badanym zjawisku. Należy jednak być świadomym ich słabości, by móc je skutecznie stosować.

## LITERATURA

- [1] DRAPER N.R., SMITH H.: *Analiza regresji stosowana*, PWN, Warszawa, 1973.
- [2] FÜRNKRANZ J.: Separate-and-Conquer Rule Learning. *Artificial Intelligence Review* 13(1), 1999.
- [3] GATNAR E., *Nieparametryczna metoda dyskryminacji i regresji*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [4] GUYON I., GUNN S., NIKRAVESH M., ZADEH L. (Eds.): *Feature Extraction: Foundations and Applications*, Springer, New York, 2006.
- [5] KOHAVI R., JOHN G.: Wrappers for feature selection. *Artificial Intelligence*, 97(1-2): 273-324, 1997.
- [6] KUBUS M.: Discriminant stepwise procedurę. *Acta Universitatis Lodzianis. Folia Oeconomica*, 3(302), p.151-159, 2014.

R. IVAS'KO<sup>1</sup>, R. MUSII<sup>2</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>, H. STASIUK<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

<sup>3</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>4</sup> University of Oviedo (Spain)

**PROBLEMS OF MODELING IN THERMOMECHANICS OF  
ELECTRICALLY CONDUCTIVE BODIES UNDER THE INFLUENCE  
OF PULSED ELECTROMAGNETIC FIELDS, TAKING INTO  
ACCOUNT THE COUPLING OF DEFORMATION AND  
TEMPERATURE FIELDS**

Elements of constructions of modern technology undergo high-intensity and fast-moving physical actions - mechanical, thermal, and electromagnetism. In this case, there are nonstationary interconnected physical and mechanical fields, which cause significant levels of stress, which can lead to loss of non-conductive design ability. In the literature, studies of the impact of pulsed and sudden thermal and mechanical actions and of stable and quasi-stained electromagnetic fields (EMF) on the fields of deformation and temperature in electrically conducting bodies are known. However, the effects of pulsed EMFs with amplitude modulation, which are widely used in engineering practice, are insufficiently studied in thermal and mechanical processes in bodies for the intrusion of thermoelastic energy dissipation. Therefore, an actual study of the effect of characteristic types of pulsed EMF with modulation of amplitude on thermomechanical behavior and the bearing capacity of electrically conducting bodies with plane parallel frames, taking into account thermoelastic energy dissipation .

The solution of these issues is dedicated to research, the results of which are presented further.

A mathematical model for determining the parameters of physical and mechanical processes in elastic nonferromagnetic electrically conductive bodies with planar parallel frontiers in terms of impulse EMF, taking into account thermoelastic energy scattering, is proposed. The initial-boundary value problems for the electroconducting layer are formulated for the heterogeneous and one-to-one variation along the longitudinal co-ordinates of non-stationary electromagnetic actions.

An elastic, non-ferromagnetic conductive layer with flat-panel boundaries of constant thickness, referred to the Cartesian system of copolymers is considered.

The material of the layer is homogeneous isotropic and non-ferromagnetic, and its physical and mechanical characteristics are assumed to be stable and equal to their mean values in the range of magnetic field and temperature temporal changes. As well as in the well-known calculating models in the literature, it was assumed that the mechanical and thermoelectric effects, the influence of the mobility of the medium on the currents of propagation, the effects of polarization and magnetization are not significant, the vectors of the electric and magnetic induction parallel to the vectors of the impedance of the electric and magnetic fields.

The action of the pulsed EMF on the conductive body is taken into account by two physical factors - joule heat and ponderomotor forces. These factors cause the thermo-stressed state of the body, which is described by the distribution of temperature and components of the tensor of dynamic stresses. The fields of temperature and stress are interconnected by taking into account the thermoelastic energy dissipation. Therefore, the proposed scheme of the problem, which consists of two stages. In the first stage, on the basis of Maxwell's relations, the components of the magnetic field intensity vector and the corresponding specific densities of joule heat distributions and ponderomotor forces are determined.

At the second stage, the interconnected temperature and components of the stress tensor are found in the system of equations of the connected dynamic problem of thermoelasticity in stresses according to known Joule heat discharges and ponderolemmolecular forces.

According to the adopted assumptions concerning the key functions such as the magnetic field tensor, the temperature and components of the tensor of the voltage, the system of the initial equations is written, and the initial and boundary conditions are formulated.

In order to assess the bearing capacity of the body with already found stresses and temperature, the intensity of stresses is determined. The conductive body retains the non-performing ability to fulfill the condition that the stress intensity does not exceed the value of the dynamic boundary of the elastic deformation of the material body (known from experimental data).

For the thermoelastic scattering of energy, the two-dimensional problem of thermomechanics for an electrically conducting layer with planar-parallel grains for an arbitrary non-uniformity along the longitudinal coordinates of a non-stationary electromagnetic action, as well as one-dimensional - for homogeneous non-stationary electromagnetic action.

A method for constructing solutions for three- and two- and one-dimensional initial-boundary problems of thermomechanics is developed, taking into account thermoelastic energy scattering for an electrically conducting layer with a plane-parallel boundary for a non-stationary electromagnetic action. The method is based on the prediction of the approximation of distributions of all determinant functions in the thickness of a quotient with cubic polynomials and the subsequent application of Fourier and Laplace integral transformations to the

corresponding tasks on the integral characteristics of these functions.

To obtain the equations for the integral characteristics of the desired functions of the system of the initial equations, we integrate these functions into a thickness coordinate. By integrating the Fourier integral transformation with respect to the transverse and longitudinal coordinates into the obtained ramifications and the Laplace integral transformation by time, the indeterminate expressions of integral character rice on the entire time interval, regardless of the type of pulsed electromagnetic action and the nature of its change (inhomogeneous or homogeneous) on the base of the layer.

On the basis of the proposed method, the three-dimensional connected thermomechanics problem for the considered conductive layer is reduced to a two-dimensional input on the integral characteristics of the key functions. The system of the starting equations for the integral characteristics of the key functions and the initial conditions for them are recorded.

The solutions of the formulated two-dimensional and one-dimensional problems of thermomechanics for an electrolytic layer under consideration for an arbitrary non-uniform and homogeneous coordinate of non-stationary electromagnetic actions given by meanings are constructed. tangential component of the magnetic field magnetic field on the base of the layer.

For a partial case of a symmetric problem, the approximation is carried out in a half-thickness of the layer at the corresponding boundary conditions on its surfaces and zero conditions of the second kind on the median surface (which follow from the symmetry of the deposit), which greatly increased the accuracy of the solution. (as compared with the general case of an asymmetric problem).

In the solutions found in the problem, taking into account the thermoelastic energy scattering, the value of the coupling parameter is equal to zero, the connections of the unbound thermomechanics problem for the conductive layer are obtained for the inhomogeneous and one-way non-stationary electromagnetic action

Based on the received general solution of the problem of thermoelasticity for a homogeneous nonstationary electromagnetic action, solutions of this problem are obtained for the action of two characteristic types of impulse EMF with amplitude modulation - in mode with pulse modules by a signal (RIMS) and in the extinguished sinusoid (RZS) mode. On the basis of these solutions, the thermomechanical behavior and the bearing capacity of the electrically conductive layer for the action of the considered impulse EMF are taken into account, taking into account thermoelastic energy dissipation.

A mathematical description of the two characteristic types of EMF pulses with amplitude modulation is presented: in RIMS and in RZS. For the convenience of analytical transformations, the boundary values of the tangent component of the magnetic field magnetic field are written down in a complex form.

The results of the numerical study of the thermomechanical conductance of the electrically conductive layer by electromagnetic action in the RIMS and in

the RZS depending on the parameters of the pulse modular signals and the frequency of the bearing electro-magnetic oscillations are given. Parameters of modular signals were chosen as those that are used in technical devices for magnetic pulse processing of materials.

Taking into account the results of the received researches concerning the non-essentialness of the influence of thermoelastic energy scattering on the action of pulsed EMFs with amplitude modulation (for the adiabatic approximation of the description of the heating and deformation of the conductive body by the pulsed EMP), solutions of two-dimensional problems of thermomechanics for the conductive layer for the periodically (cosine-related) variables relative to the longitudinal coordinate of the induction pulsed EMF in RIMS and RZS and an approximate solution to such a problem with and the action of a localized on the longitudinal coordinate of the electromagnetic pulse (EMI). The thermomechanical behavior and the nonvolatile ability of the investigated conductive nonferromagnetic layer with plane-parallel faces depending on the time parameters of modular signals and the parameter characterizing the degree of the longitudinal inhomogeneity of the EMF are studied.

The above results of the scientific researches are made in the framework of the International Cooperation of the Institute of Applied Problems of Mechanics and Mathematics named after Ya. S. Pidstrychach of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv Polytechnic National University, Lviv Medical Institute, Polytechnic of Opole (Poland), Technological University of Karlsruhe (Germany), University of Oviedo (Spain), Institute of Mechanics of the Academy of Sciences of Armenia, Lviv Branch of the Dnipro University of Railway Transport.



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







D. PĄCZKO

Opole University of Technology (Poland)

### **REGULARNOŚĆ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH PRZY ZAMIANIE ZMIENNYCH**

Podano warunki, przy których przekształcony układ posiada funkcję Greena i określono wpływ parametru na regularność układu. Zbadano warunki regularności układu sprzężonego i możliwość zamiany zmiennych sprowadzającą układ do jego sprzężonej postaci.

### **REGULARITY OF DYNAMICAL SYSTEMS AT TRANSFORMATION OF VARIABLES**

The conditions under which the transformed system has a Green's function are given and the effect of the parameter on the regularity of the system is determined. The regularity conditions of the conjugate system and the possibility of substitution of variables bringing the system to its conjugate form were studied.

H. ŚCIEGOSZ

Opole University of Technology (Poland)

**PERIODIC AND APERIODIC OSCILLATION REACTIONS.  
CORRELATION FUNCTIONS AND ONE-DIMENSIONAL TRANSFER  
FUNCTIONS**

The method applied to study dynamical properties of the oscillating system based on the periodic alternating the two inlet concentrations of chosen reagent enabled authors to observe various oscillatory behaviors. Every considered reagent concentration defined the limit of the basin of attractor. Changing in a time the given concentration resulted in the change such attractor limit. In presented method it was supposed that concentration changed as  $c(t)=c_0(1+\varepsilon\sin\omega_p t)$ , where  $\omega_p$  is perturbation frequency and  $c_0=(c_1+c_2)/2$ . This gave rise to the periodic change of the attractor limit and different trajectory patterns. Each of oscillation types had self own representation in the 1-D transfer function plots, stroboscopic maps, as well as, the Fourier transforms and correlation functions. Fourier spectra showed the modulation of components, as well as, appearing the new families of harmonics depending on the frequency perturbations. It means a correlation between orbits of the system motion which diminished when the complexity of oscillations was increasing. This was additionally shown in calculations of the correlation functions and the correlation dimension.

**OKRESOWE I APERIODYCZNE REAKCJE OSCYLACYJNE. FUNKCJE  
KORELACJI I JEDNOWYMIAROWE FUNKCJE TRANSMISJI**

Wiele procesów chemicznych i biochemicznych wykazuje zachowanie oscylacyjne. Oscylacje występują w układzie o określonych warunkach fizykochemicznych, a ewolucja układu w czasie jest zgodna z nieliniowymi równaniami różniczkowymi. Ewolucja układu jest opisywana w wybranej przestrzeni fazowej,  $R^n$  lub  $C^n$ , gdzie  $n$  oznacza wymiar przestrzenny, czyli liczbę zmiennych niezależnych. W przypadku reakcji chemicznych są to niezależne stężenia odczynników niezbędne do opisanego układu lub jego modelu. W praktyce dokonuje się obserwacji zmiany jednej lub dwóch zmiennych niezależnych w czasie. Z termodynamicznego punktu widzenia układ oscylacyjny jest daleki od stanu równowagi, jego oscylacje, poza naturą układu, zależą od warunków brzegowych, a także od zaburzeń zewnętrznych. Ewentualne zachowanie chaotyczne charakteryzuje się między innymi czułą zależnością od warunków początkowych. Celem pracy jest sprawdzenie, w

jakim stopniu przebieg początkowych oscylacji determinuje zachowanie układu w przyszłości, czy taka zależność w ogóle istnieje, a jeśli tak, to jaki jest jej zakres i kierunek. W tym celu wykorzystano funkcje korelacji i jednowymiarowe funkcje transmisji dla okresowych i aperiodycznych reakcji oscylacyjnych.

V. FLYUD<sup>1,2</sup>, O. TERESHCHUK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup> Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

<sup>3</sup> Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy (Ukraine)

**THE ASYMPTOTIC OF THE SOLUTION OF A SINGULARLY  
PERTURBED SECOND ORDER DIFFERENTIAL EQUATION WITH  
INTEGRAL CONDITION**

A singularly perturbed nonlocal problem with an integral condition for a second-order ordinary differential equation is studied. Using the boundary layer method, an asymptotic expansion of the solution of the problem under consideration is constructed. The correctness of the asymptotic of the solution is proved.

**ASYMPTOTYKA ROZWIĄZANIA SYNGULARNIE ZABURZONEGO  
RÓWNANIA RÓŻNICZKOWEGO DRUGIEGO RZĘDU PRZY WARUNKU  
CAŁKOWYM**

Badane jest syngularnie zaburzone nielokalne zagadnienie dla równania różniczkowego zwyczajnego drugiego rzędu przy warunku całkowym. Z wykorzystaniem metody warstwy brzegowej rozbudowane zostało asymptotyczne rozwinięcie rozwiązania rozważanego zagadnienia. Udowodniono poprawność asymptotyki rozwiązania.

R. IVAS'KO<sup>1</sup>, R. KUSHNIR<sup>1</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>, R. TERLETS'KYI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

**PROBLEMS DESCRIBING ELECTROMAGNETIC FIELD  
PARAMETERS IN ELECTRICALLY CONDUCTING BODY IN A  
MIXED CURVILINEAR COORDINATE SYSTEM**

The initial dependences of problems of mathematical physics are presented, which describe the parameters that determine the electromagnetic field in a solid body - a good conductor, using a mixed curvilinear coordinate system. The case of a thin electrically conductive shell is singled out.

**ZAGADNIENIA OPISUJĄCE PARAMETRY POLA  
ELEKTROMAGNETYCZNEGO W CIELE PRZEWODZĄCYM W MIESZANYM  
KRZYWOLINIOWYM UKŁADZIE WSPÓLRZĘDNYCH**

Przedstawiono wyjściowe zależności zagadnień fizyki matematycznej opisujące parametry określające pole elektromagnetyczne w ciele stałym – dobrym przewodniku, wykorzystując mieszany krzywoliniowy układ współrzędnych. Wyróżniono przypadek cienkiej powłoki przewodzącej elektryczność.

B. BOZHENKO<sup>1</sup>, B. CHORNYI<sup>2</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,3</sup>, R. MUSII<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup> Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technologies  
(Ukraine)

<sup>3</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>4</sup> National University “Lvivs’ka Politechnika” (Ukraine)

### **THERMAL STRESSED STATE OF CYLINDRICAL ELECTRICAL CONDUCTIVE SHELL AT INDUCTION HEATING BY RING CURRENTS UNDER THE CONDITIONS OF THE SKIN EFFECT**

The problem of determining the parameters of the thermally stressed state of cylindrical shells - good electrical conductors under the influence of external quasi-steady concentric currents under conditions of a strong skin effect is formulated and solved. Known methods for solving problems of induction heating are used. As an example, the case of uniform distribution of external currents is considered.

### **STAN TERMOSPŁĘZYSTY CYLINDRYCZNEJ POWŁOKI PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY INDUKCYJNYM NAGRZEWANIU PRZEZ PIERŚCIENIOWE PRĄDY W WARUNKACH NASKÓRKOWOŚCI**

Wyznaczone są parametry stanu termosprężystego powłok walcowych - przewodników elektrycznych przy oddziaływaniu zewnętrznych quasi-ustalonych pierścieniowych prądów w warunkach silnego zjawiska naskórkowości. Stosuje się znane metody rozwiązywania odpowiednich zagadnień o nagrzewaniu indukcyjnym. Jako przykład rozważany jest przypadek równomiernego rozkładu prądów zewnętrznych.

B. CHORNYI<sup>1</sup>, K. GHAZARYAN<sup>2</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>3,4</sup>, A. KOZIARSKA<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technologies  
(Ukraine)

<sup>2</sup> Institute of Mechanics NAS (Armenia)

<sup>3</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>4</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **ELECTRIC-CONDUCTING CYLINDRICAL SHELL UNDER A QUASI-STEADY ELECTROMAGNETIC INFLUENCE EXCITED BY A RING INDUCTOR UNDER THE CONDITIONS OF THE SKIN EFFECT**

Using a well-known approach to modeling and solving problems of thermomechanics of electrically conductive shells during induction heating in the presence of the skin effect, solutions to the problem of determining the parameters of temperature and stress fields are obtained and analyzed in a cylindrical shell during induction heating using a quasi-steady high-frequency electromagnetic field. This field is created by an annular single-turn inductor coaxial with the considered cylindrical shell.

### **POWŁOKA WALCOWA PRZEWODZĄCA ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY QUASI-USTALONYM ELEKTROMAGNETYCZNYM ODDZIAŁYWANIU INDUKOWANYM PRZEZ WZBUDNIK PIERŚCIENIOWY W WARUNKACH NASKÓRKOWOŚCI**

Wykorzystując znane podejście do modelowania i rozwiązywania zagadnień termomechaniki powłok przewodzących elektryczność przy nagrzewaniu indukcyjnym w warunkach efektu naskórkowości, otrzymane i przeanalizowane są rozwiązania zagadnienia na wyznaczenie parametrów pól temperatury i naprężeń w powłoce walcowej przy nagrzewaniu indukcyjnym przy pomocy quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego o wysokiej częstotliwości. Pole to indukowane jest przez prąd elektryczny rozłożony w jednostkowym pierścieniowym zwoju współśrodkowym do powłoki.

B. CHORNYI<sup>1</sup>, R. IVAS'KO<sup>2</sup>, S. MORYŃ<sup>3</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lviv Institute of Ukrainian State University of Science and Technologies  
(Ukraine)

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>3</sup> Opole University of Technology (Poland)

**THERMOMECHANICS OF ELECTRIC-CONDUCTING  
CYLINDRICAL SHELLS UNDER INDUCTION HEATING BY QUASI-  
STEADY ELECTRIC CURRENTS PARALLEL TO A GENERATRIX OF  
THE SHELLS**

Based on the well-known approach to modeling and solving problems of thermomechanics of electrically conductive shells during induction heating in the presence of the skin effect, solutions to the problem of determining the parameters of temperature and stress fields in a cylindrical shell during induction heating by quasi-steady high-frequency electric currents parallel to the generatrix of the shell are obtained and analyzed. As an example, the case of a parallel generatrix of a cylindrical shell of a single linear current is considered.

**TERMOMECHANIKA PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ POWŁOK  
CYLINDRYCZNYCH PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM PRZEZ QUASI-  
USTALONE PRĄDY ELEKTRYCZNE RÓWNOLEGŁE DO TWORZĄCEJ  
POWŁOK**

Z wykorzystaniem znanego podejścia do modelowania i rozwiązywania zagadnień termomechaniki powłok przewodzących elektryczność przy nagrzewaniu indukcyjnym w obecności efektu naskórkowości, otrzymano i przeanalizowano rozwiązania zagadnienia o wyznaczeniu parametrów pól temperatury i naprężeń w powłoce cylindrycznej przy nagrzewaniu indukcyjnym przez quasi-ustalone prądy elektryczne o wysokiej częstotliwości równoległe do tworzącej powłoki. Jako przykład rozważono przypadek równoległego do tworzącej powłoki cylindrycznej pojedynczego prądu liniowego.



A. CHWASTYK

Opole University of Technology (Poland)

### **THE ORDERED FUZZY INFERENCE. APPLICATION OF METHOD IN CALCULATION OF THE STROKE RISK**

In recent years, fuzzy set theory and Fuzzy Logic are applied successfully in medical expert systems. The notion of ordered fuzzy number (OFN) was formulated in 2002 as an extended model of fuzzy numbers, to eliminate some of their weaknesses. We propose description of medical test results with use of OFNs which can allow to include additional information about patients such as results of previous tests. The application of the ordered fuzzy inference method are illustrated by the example of calculating the risk of a stroke taking in two the most important factors: blood pressure and patient age.

### **SKIEROWANE LICZBY ROZMYTE. ZASTOSOWANIE NA PRZYKŁADZIE ANALIZY RYZYKA UDARU**

W ostatnich latach teoria zbiorów rozmytych i logika rozmyta są z powodzeniem stosowane w medycznych systemach ekspertowych. Pojęcie skierowanej liczby rozmytej (ang. ordered fuzzy number, OFN) zostało sformułowane w 2002 r. jako rozszerzony model liczb rozmytych, aby wyeliminować niektóre z ich wad. Interpretacja OFN może być zgodna z ogólną ideą standardowych liczb rozmytych, ale przy użyciu skierowanych liczb rozmytych możemy dodatkowo opisać trend nieprecyzyjnej wartości procesów rzeczywistych. Proponujemy opis wyników badań medycznych z wykorzystaniem OFN, które pozwolą na włączenie dodatkowych informacji o pacjentach, takich jak wyniki poprzednich badań. Zastosowanie metody skierowanego wnioskowania rozmytego ilustruje przykład zależności między wysokim ciśnieniem krwi i wiekiem pacjenta, a ryzykiem udaru.

K. HYS, A. KOZIARSKA

Opole University of Technology (Poland)

### **DISTRIBUTION OF SUPPLEMENT PRODUCT SUPPLY. STATISTICAL ANALYSIS**

Nowadays, the phenomenon of increasing demand among individual consumers for products such as dietary supplements, fortified foods and special-purpose foods can be observed widely throughout the world. The results of the analyses carried out have made it possible to establish that the above-mentioned products generally appear on the market in three characteristic forms, i.e. liquid, solid or semi-solid. Therefore, it was determined that the aim of the study would be to investigate the distribution of the number of supplement product claims according to the form they have. The study used data on 86,849 products that were registered by the Chief Sanitary Inspectorate (GIS) on the market in Poland between 2007 and 2019. The studied group of products was divided into four characteristic categories. With the basis for the classification of products being the physical state in which the products are registered. As a result, the following categories were identified: solid, liquid and semi-solid. The fourth category is made up of a group of products which - due to the lack of information in the register - was impossible to classify unambiguously into the aforementioned categories, and was therefore assigned to a category called 'unclassified'. As a result of the analyses carried out, the dynamics of the distribution of the number of supplement product notifications by category were established. All calculations were performed using the STATISTICA programme.

### **ROZKŁAD PODAŻY PRODUKTÓW SUPLEMENTACYJNYCH. ANALIZA STATYSTYCZNA**

Obecnie zjawisko rosnącego popytu wśród konsumentów indywidualnych na produkty takie, jak suplementy diety, żywność wzbogacana oraz żywność specjalnego przeznaczenia, można zaobserwować powszechnie na całym świecie. Wyniki przeprowadzonych analiz pozwoliły na ustalenie, że na rynku ww. produkty zasadniczo występują w trzech charakterystycznych formach, tj. płynnej, stałej lub półstałej. W związku z czym ustalono, że celem pracy będzie

zbadanie rozkładu liczby zgłoszeń produktów suplementacyjnych w zależności od postaci, którą posiadają. W pracy wykorzystano dane dotyczące 86 849 produktów, które zostały zarejestrowane przez Główny Inspektorat Sanitarny (GIS) na rynku w Polsce w latach 2007-2019. Badaną grupę produktów podzielono na cztery charakterystyczne kategorie. Przy czym podstawę klasyfikacji produktów stanowił stan skupienia, w którym produkty są rejestrowane. W efekcie zidentyfikowano następujące kategorie: stałą, płynną i pół-stałą. Czwartą kategorię stanowi grupa produktów, która ze względu na brak informacji w rejestrze – była niemożliwa do zakwalifikowania w sposób jednoznaczny do ww. kategorii, w związku z czym przyporządkowano do kategorii nazwanej „nieklasyfikowana”. W wyniku przeprowadzonych analiz ustalono dynamikę rozkładu liczby zgłoszeń produktów suplementacyjnych w zależności od kategorii. Wszystkie obliczenia wykonano w programie STATISTICA.

A. METELSKI, B. MIŁASZEWICZ

Opole University of Technology (Poland)

### **ON THE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF WHEAT GRAIN**

The abstract deals with elements of the common wheat grain evaluation undertaken to ensure general standards of acceptance in the technology of manufacturing processes in the milling industry. In particular, chosen laboratory results were shown from 2021-2022 crops. The nonparametric Mann-Whitney U Test was chosen to compare averages. Spearman's rank correlation coefficient was used to measure degree of associations.

### **DO OCENY JAKOŚCI ZIARNA PSZENICY**

W referacie tym poruszono elementy metodologii badań jakości technologicznej ziarna pszenicy zwyczajnej w procesach wytwórczych branży zbożowo-młynarskiej. W szczególności pokazano wyniki badań laboratoryjnych próbek z dostaw w latach 2021 i 2022 pewnego zakładu produkcyjnego. Wykorzystano nieparametryczny test U Manna-Whitneya do porównania średnich wartości z obu lat. Sprawdzono siły związków korelacyjnych wykorzystując współczynnik rangowy Spearmana.

A. TISZBIEREK

Opole University of Technology (Poland)

## **COMPUTER TECHNIQUES TAUGHT IN IT SUBJECTS IN THE FIELD OF MANAGEMENT AND PRODUCTION ENGINEERING**

The aim of the study is to present and discuss computer programs used by students of Management and Production Engineering during laboratory classes in IT subjects. The study presented the method of implementing computer methods of analysis, modeling and presenting necessary in the era of computerization. The study describes mainly programs from the Microsoft Office together with the tools of the VBA Development Environment. These programs are most often used by students to create their own databases and applications allowing for process automation.

## **TECHNIKI KOMPUTEROWE NAUCZANE NA PRZEDMIOTACH INFORMATYCZNYCH NA KIERUNKU ZARZĄDZANIE I INŻYNIERIA PRODUKCJI**

Celem opracowania jest przedstawienie i omówienie programów komputerowych wykorzystywanych przez studentów kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji na zajęciach laboratoryjnych z przedmiotów informatycznych. W opracowaniu zostanie zaprezentowany sposób implementacji komputerowych metod analizy, modelowania oraz prezentowania niezbędnych w dobie informatyzacji. Opracowanie opisuje przede wszystkim programy z Pakietu Microsoft Office wraz z narzędziami Środowiska Programistycznego VBA. Programy te są wykorzystywane przez studentów, najczęściej do tworzenia własnych baz danych oraz aplikacji pozwalających na automatyzację procesów.

A. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, A. KOZIARSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> National University “Lviv’ska Politechnika” (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

**FUNKCJE WYDZIAŁÓW TRANSFERU TECHNOLOGII,  
DZIAŁALNOŚCI INNOWACYJNEJ I WŁASNOŚCI  
INTELEKTUALNEJ W ODNIESIENIU DO PRZEDMIOTÓW  
WŁASNOŚCI INTELEKTUALNEJ**

Te opracowanie dotyczy funkcji utworzonych przez Narodową Akademię Nauk Ukrainy dodatkowych specjalistycznych pododdziałów dla organizacji i koordynacji działalności instytucji naukowych i ich strukturalnych wydziałów w dziedzinie zarządzania komercjalizacją własności intelektualnej. Kompetencje i podstawowe zadania tych pododdziałów są analizowane i ustalane na podstawie Rozporządzenia Ramowego zatwierdzonego przez Prezydium Akademii. Opisano różne cykły działalności w odniesieniu do przedmiotów praw własności intelektualnej z uwzględnieniem tego, czy działalność innowacyjna jest wykonywana na zamówienie. Omówiono takie funkcje, jak inicjatywa, identyfikacja, nabycie praw i transfer. Podsumowano podejścia prawne i postulaty prawa własności intelektualnej państwa, które leżą u podstaw komercjalizacji. Znajomość z wynikami wykonanego badania pozwoli kierownikom poddziałów znacznie efektywniej realizować swoje zadania. Prowadzi to do zaawansowania procesów wytwórczych poprzez powszechne stosowanie opatentowanych technologii i rozwiązań. Podane rozwiązania mogą być również wykorzystane w naukowych instytucjach należących i do innych branży.

**FUNCTIONS OF DEPARTMENTS FOR TECHNOLOGY TRANSFER,  
INNOVATIVE ACTIVITY AND INTELLECTUAL PROPERTY IN RESPECT TO  
THE OBJECTS OF INTELLECTUAL PROPERTY**

This research is devoted to the departments established by the National Academy of Sciences of Ukraine within its scientific institutions. Competence and primary tasks of the departments are discussed based upon the Framework Regulation approved by the Presidium. Different working cycles are described in respect to the objects of intellectual property rights depending on the fact whether innovative activity is conducted on order. Such functions as initiative, identifying, acquisition and transfer are examined. Legal approaches and postulates of the Ukrainian intellectual property law lying at the basis of commercialization are summarized. Results from this study will enable managers of the departments to perform their tasks, it leads to the advancement of manufacturing processes through the widespread use of patented technologies.

## **II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH**







O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, T. KOURNYTS'KYI<sup>1</sup>, R. TERLETS'KYI<sup>1</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **ON THE EFFECT OF INFRARED ELECTROMAGNETIC IRRADIATION ON HEAT AND MASS TRANSFER IN SEMISTRANSSPARENT MULTICOMPONENT SOLIDS**

Investigation of diffusion and thermal processes in semitransparent solid subjected to thermal infrared radiation should be carried out together with control of its stress state. Coupled processes were investigated in semitransparent layer with two-atomic admixture. In this chapter the cases were considered when in specified solid either one two-atomic admixture, or one three-atomic admixture, or both of them were present and special features of all these cases were discussed.

### **DO WPLYWU ODDZIAŁYWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PROMIENIOWANIA PODCZERWONEGO NA TRANSPORT CIEPŁA I MASY W PÓLPRZEZROCZYSTYCH CIAŁACH WIELOSŁADNIKOWYCH**

Zaproponowano модель matematyczny opisu ilościowego sprzężonych mechanicznych, cieplnych i dyfuzyjnych procesów w półprzezroczystych ciałach z domieszkami gazowymi przy oddziaływaniu promieniowania podczerwonego. Równania modelu oparte są na teorii termodynamicznej mieszaniny twardej i fenomenologicznej teorii promieniowania. Wpływ promieniowania uwzględniony jest przez siły ponderomotoryczne i źródła ciepła w każdym składniku (szkielecie i domieszkach). Przeanalizowano rozkłady temperatury, koncentracji domieszek i naprężeń w półprzezroczystej szklanej warstwie z dwu- i trójatomowymi domieszkami w zależności od energetycznych i widmowych charakterystyk źródła.

B. BANDYRS'KYI<sup>1</sup>, L. HOSHKO<sup>1</sup>, R. MUSII<sup>1,2</sup>, I. PYRIH<sup>3</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>4</sup>

<sup>1</sup> National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics NASU (Ukraine)

<sup>3</sup> Lviv Medical Institute (Ukraine)

<sup>4</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **THERMOMECHANICAL BEHAVIOR OF ELECTRIC-CONDUCTING TUBULAR ELEMENTS UNDER TECHNOLOGICAL HEATING BY ELECTROMAGNETIC PULSES**

A physico-mathematical model is proposed for studying the thermomechanical behavior and performance of electroconductive tubular products as structural elements during their technological processing using electromagnetic impulses. The initial-boundary value problem of thermomechanics for a long hollow electroconductive cylinder is formulated. The axisymmetric component of the magnetic field strength vector, temperature, and the radial component of the displacement vector are chosen as key functions. To determine these functions, systems of initial equations and relations are written. When constructing solutions to the constituent problems of electrodynamics, thermal conductivity and thermoelasticity, a cubic approximation of the distributions of all key functions with respect to the radial variable was used. As a result, the original initial-boundary value problems for key functions are reduced to the corresponding Cauchy problems for the integral characteristics of these functions with respect to the radial variable. Using the integral Laplace transform with respect to time and given initial conditions, expressions for key functions are written under a uniform non-stationary electromagnetic action. A numerical analysis of the thermoelastic behavior of the tubular element under consideration is performed when processed by electromagnetic impulses of microsecond duration.

### **ZACHOWANIE TERMOMECHANICZNE ELEMENTÓW RUROWYCH PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNĄ PRZY NAGRZEWANIU TECHNOLOGICZNYM PRZY POMOCY IMPULSÓW ELEKTROMAGNETYCZNYCH**

Zaproponowano model fizyczno-matematyczny do badania zachowania termomechanicznego i wydajności przewodzących elektrycznie wyrobów rurowych jako elementów konstrukcyjnych przy ich nagrzewaniu

technologicznym za pomocą impulsów elektromagnetycznych. Sformułowano początkowo–brzegowe zagadnienie termomechaniki dla długiego wydrożnionego przewodzącego elektryczność cylindra. Składowa osiowosymetryczna wektora natężenia pola magnetycznego, temperatura i składowa promieniowa wektora przemieszczenia są wybierane jako kluczowe funkcje. Aby określić te funkcje, zapisuje się odpowiednie układy wyjściowych zależności. Przy konstruowaniu rozwiązań składowych zagadnień elektrodynamiki, przewodnictwa cieplnego i termosprężystości zastosowano aproksymacje przy pomocy wielomianu trzeciego stopnia rozkładów wszystkich kluczowych funkcji względem zmiennej radialnej. W rezultacie, pierwotne początkowo-brzegowe zagadnienia dla funkcji kluczowych są zredukowane do odpowiednich zagadnień Cauchy'ego dla całkowych względem radialnej współrzędnej charakterystyk tych funkcji. Wykorzystując całkowite przekształcenie Laplace'a względem czasu przy zadanych warunkach początkowych zapisane są wyrażenia dla funkcji kluczowych przy jednorodnym niestacjonarnym oddziaływaniu elektromagnetycznym. Przeprowadzono analizę numeryczną zachowania termosprężystego rozważanego elementu rurowego przy impulsowym mikrosekundowym oddziaływaniem elektromagnetycznym.

M. KLAPCHUK<sup>1</sup>, N. MELNYK<sup>1</sup>, R. MUSII<sup>1,2</sup>, T. WOŁCZAŃSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> National University “Lviv’ska Politechnika” (Ukraine)

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>3</sup> Opole University of Technology (Poland)

**QUANTITATIVE DESCRIPTION OF THE THERMOELASTIC  
BEHAVIOR OF AN ELECTROCONDUCTIVE CYLINDER WITH A  
THIN ELECTROCONDUCTIVE COATING DURING  
TECHNOLOGICAL PROCESSING BY ELECTROMAGNETIC  
IMPULSE**

A mathematical model has been constructed to determine the thermally stressed state of a long solid electroconductive cylinder with a thin electroconductive coating. The criteria for evaluating its performance and maintaining the properties of the contact connection, depending on the parameters of the external non-stationary electromagnetic action, are written. The initial-boundary value problem of thermomechanics for the considered cylinder is formulated. A method for its solution is proposed, which uses an approximation of the distributions of key functions - the axial component of the magnetic field strength vector, temperature and the radial component of the displacement vector in the cylinder and the covering by quadratic polynomials in the radial variable. As a result, the original initial-boundary problems for key functions are reduced to the corresponding Cauchy problems in time for the integral characteristics of these functions. The general solutions of the considered problem of thermoelasticity under the influence of a homogeneous non-stationary electromagnetic field are written down. A computer analysis of the ponderomotive force, temperature, radial and circular stresses in the considered cylinder under the influence of an electromagnetic impulse has been carried out.

**OPIS ILOŚCIOWY ZACHOWANIA TERMOSPŁĘZYSTEGO  
PRZEWODZĄCYCH CYLINDRA Z CIENKĄ POWŁOKĄ PRZY  
ODDZIAŁYWANIU IMPULSA ELEKTROMAGNETYCZNEGO**

Rozbudowano model matematyczny do określenia stanu termosprężystego przewodzących elektryczność długiego pełnego cylindra z cienką powłoką. Opracowano kryteria oceny jego wydajności oraz zachowania właściwości połączenia stykowego w zależności od parametrów zewnętrznego niestacjonarnego oddziaływania elektromagnetycznego. Sformułowano początkowo-brzegowe zagadnienie termomechaniki dla rozpatrywanego układu. Zaproponowano metodę jego rozwiązania, opartą na aproksymacji rozkładów

kluczowych funkcji – składowej osiowej wektora natężenia pola magnetycznego, temperatury i składowej promieniowej wektora przemieszczenia w rozważanym układzie (cylindrze oraz pokryciu) wielomianami kwadratowymi o promieniowej zmiennej. W rezultacie wyjściowe zagadnienia dla funkcji kluczowych są zredukowane do odpowiednich zagadnień Cauchy'ego względem czasu dla całkowych charakterystyk tych funkcji. Zapisano ogólne rozwiązania dla rozważanego zagadnienia termosprężystości przy oddziaływaniu jednorodnego niestacjonarnego pola elektromagnetycznego. Przeprowadzono komputerową analizę siły ponderomotorycznej, temperatury, naprężeń promieniowych i kołowych w rozpatrywanym układzie przy oddziaływaniu impulsu elektromagnetycznego.

R. IVAS'KO<sup>1</sup>, N. MELNYK<sup>2</sup>, I. SVIDRAK<sup>2</sup>, V. SHYNDER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> National University "Lviv'ska Politechnika" (Ukraine)

**TWO-DIMENSIONAL NON-STATIONARY NON-  
HOMOGENOUS ELECTROMAGNETIC FIELDS IN  
ELECTROCONDUCTIVE NON-FERROMAGNETIC BODIES WITH  
PLANE-PARALLEL BOUNDARIES**

A technique for constructing a solution of a non-stationary two-dimensional problem of electrodynamics for electroconductive non-ferromagnetic bodies with plane-parallel boundaries is proposed. The tangent to the external surfaces of the considered body component of the magnetic field intensity vector is chosen as the defining function of the problem. The technique is based on the approximation of the distribution of the determining function on the thickness variable by a cubic polynomial. The coefficients of the approximation polynomial are expressed through the integral over thickness variable characteristics of the defining function and its limit values on the outer surfaces of the body. As a result, the original two-dimensional initial-boundary value problem for the defining function is reduced to a one-dimensional initial-boundary value problem for the integral characteristics of this function. The one-dimensional initial-boundary value problem can be reduced to the Cauchy problem either by applying the appropriate integral transformation along the longitudinal coordinate of the body under consideration, or with repeated approximation along this coordinate. As a result, solutions of the Cauchy problem and general solutions of the considered problem of electrodynamics under inhomogeneous non-stationary electromagnetic action can be obtained using the integral Laplace transform.

**DWUWYMIAROWE NIESTACJONARNE NIEJEDNORODNE POLA  
ELEKTROMAGNETYCZNE W NIEFERROMAGNETYCZNYCH  
PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ CIAŁACH O GRANICACH PŁASKO-  
RÓWNOLEGŁYCH**

Zaproponowano metodę rozbudowy rozwiązania niestacjonarnego dwuwymiarowego zagadnienia elektrodynamiki dla elektrycznie przewodzących ciał nieferromagnetycznych o granicach płasko-równoległych. Jako funkcję definiującą zagadnienia wybrano styczną składową wektora natężenia pola magnetycznego do zewnętrznych powierzchni rozpatrywanego ciała. Metoda ta

jest oparta na aproksymacji rozkładu funkcji kluczowej wielomianem sześciennym po zmiennej grubościowej. Współczynniki wielomianu aproksymacyjnego są wyrażane przez całkowe względem grubości charakterystyki funkcji definiującej i warunki brzegowe na zewnętrznych powierzchniach ciała. W wyniku wyjściowe dwuwymiarowe zagadnienie początkowo-brzegowe dla funkcji definiującej jest zredukowane do jednowymiarowego początkowo-brzegowego zagadnienia dla całkowych charakterystyk tej funkcji. Jednowymiarowe początkowo-brzegowe zagadnienie może być zredukowane do zagadnienia Cauchy'ego lub przez zastosowanie odpowiedniego przekształcenia całkowego względem podłużnej współrzędnej, albo przez powtórny aproksymację po tej współrzędnej. W rezultacie z wykorzystaniem całkowego przekształcenia Laplace'a można uzyskać rozwiązanie zagadnienia Cauchy'ego i ogólne rozwiązanie rozważanego zagadnienia elektrodynamiki przy niejednorodnym niestacjonarnym oddziaływaniu elektromagnetycznym.

B. BOZHENKO<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
M. HACHKEVYCH<sup>2</sup>, B. TRISHCH<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>3</sup>Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

**TO THE DETERMINATION OF OPTIMUM MODES OF  
THERMOVACUUM TREATMENT USING CONVECTIVE HEATING  
OF ELECTROVACUUM DEVICES GEOMETRICLY CLOSE TO  
SPHERICAL CLOSED SHELLS**

A mathematical model and a numerical-analytical technique for determining and optimizing the modes of thermal vacuum processing of closed shells of electrovacuum devices that are geometrically close to spherical when heated by convective heat transfer are presented. The shell of the device is modeled by a closed spherical shell made of a brittle material, in particular glass, which is heated by temperature from the side of the upper base, provided that it is thermally insulated on the inner one. In this case, it proceeds from an uncoupled theory of thermoelasticity of thin shells with a cubic temperature distribution along the thickness coordinate.

**DO WYZNACZANIA OPTYMALNYCH PRZEBIEGÓW OBRÓBK  
TERMOPRÓŻNIOWEJ PRZY POMOCY NAGRZEWANIA KONWEKCYJNEGO  
GEOMETRYCZNIE BLIZKICH DO SFERYCZNYCH ZAMKNIĘTYCH POWŁOK  
URZĄDZEŃ ELEKTROPRÓŻNIOWYCH**

Podane zostały model matematyczny oraz numeryczno-analityczna metoda wyznaczania i optymalizacji reżymów obróbki termopróżniowej geometrycznie bliskich do sferycznych zamkniętych powłok urządzeń elektropróżniowych przy nagrzewaniu z wykorzystaniem wymiany ciepła przez konwekcję. Powłoka urządzenia jest modelowana przez zamkniętą sferyczną powłokę, z materiału ze szkła. Ona nagrzewana jest ze strony wierzchniej (zewnątrznej) podstawy przy warunku izolacji cieplnej na wewnętrznej.

Przy tym za wyjściową przyjmowana jest niepowiązana teoria termosprężystości cienkich powłok przy kubycznym rozkładzie temperatury względem grubościowej współrzędnej.



B. BOZHENKO<sup>1</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>2</sup>, I. MAKHORKIN<sup>2</sup>, A. KOZIARSKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Opole University of Technology (Poland)

<sup>2</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

### **OPTIMAL MODES OF THERMAL VACUUM TREATMENT USING CONVECTIVE HEATING OF GEOMETRICALLY CLOSE TO CYLINDRICAL CLOSED SHELLS OF ELECTRIC VACUUM DEVICES**

A mathematical model and a numerical-analytical method for determining and optimizing, using convective heating, the modes of thermal vacuum processing of electro-vacuum devices that are geometrically close to spherical shells for the case of shells that are geometrically close to cylindrical are developed. The shell is heated by the external environment (its temperature) from the side of the upper base, provided that it is thermally insulated on the inner one. In this case, one proceeds from the uncoupled theory of thermoelasticity of thin thermosensitive shells and assumes a cubic temperature distribution along the thickness coordinate.

### **OPTIMALNE PRZEBIEGI OBRÓBKI TERMOPRÓŻNIOWEJ PRZY POMOCY NAGRZEWANIA KONWEKCYJNEGO GEOMETRYCZNIE BLIZKICH DO CYLINDRYCZNYCH POWŁOK URZĄDZEŃ ELEKTROPRÓŻNIOWYCH**

Rozwinięty zostały model matematyczny oraz numerycznie-analityczna metoda wyznaczania i optymalizacji reżymów obróbki termopróżniowej przy pomocy nagrzewania konwekcyjnego geometrycznie blizkich do sferycznych powłok urządzeń elektropróżniowych na przypadek powłok geometrycznie blizkich do cylindrycznych. Powłoka nagrzewana jest przez zewnętrzne środowisko (jego temperaturę) ze strony górnej podstawy przy warunku izolacji cieplnej ze strony wewnętrznej. Przy tym wyjściową jest niepowiązana teoria termosprężystości termoczułych powłok oraz przyjęta aproksymacja temperatury względem grubości przy pomocy wielomianu trzeciego stopnia.

L. HAYEVS'KA<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
O. HUMENCHUK<sup>1</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>1</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **MODES OF TECHNOLOGICAL HEATING USING ELECTROMAGNETIC RADIATION OF DEVICE ELEMENTS**

In various types of targeted heat treatment of glass elements of modern technology, heating by heat sources is widely used, which can often be effectively created by electromagnetic radiation in the infrared frequency range, in particular, thermal radiation. The features of both such heating and the formulation of the corresponding direct and optimization problems are considered.

### **PRZEBIEGI NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO PRZY POMOCY PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO ELEMENTÓW URZĄDZEŃ**

Przy różnych typach termoobróbki celowej szklanych elementów obecnej techniki szeroko wykorzystywane jest nagrzewanie przez źródła ciepła, które często można efektywnie wytwarzać przez promieniowanie elektromagnetyczne w podczerwieni, w szczególności przez promieniowanie cieplne. Rozważane są osobliwości tariego nagrzewania, również jak formułowanie odpowiednich zagadnień prostych oraz optymalizacyjnych.

O. HUMENCHUK<sup>1</sup>, V. MISHCHENKO<sup>1</sup>, S. MORYŃ<sup>2</sup>, R. TERLETS'KYI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **THERMOSTRESSED STATE OF A PARTIALLY TRANSPARENT HOLLOW BALL UNDER THERMAL IRRADIATION**

Using the results explained in the previous abstract, the thermally stressed state of an important model structural element, a hollow gas-filled sealed isotropic glass sphere, is determined and optimized under the influence of a third-party uniform thermal irradiation and a force load, under conditions of convective heat exchange with the external environment.

### **STAN TERMOSPĘŻYSTY CZĘŚCIOWO PRZEZROCZYSTEJ KULI WYDROŻONEJ PRZY NAPROMIENIOWANIU CIEPLNYM**

Korzystając z wyników zaprezentowanych w poprzednim referacie, wyznaczono i zbadano optymalny stan termosprężysty ważnego modelowego elementu konstrukcyjnego – wydrożonej wypełnionej gazem, izotropowej kuli szklanej, przy napromieniowaniu cieplnym i obciążeniu siłowym w warunkach konwekcyjnej wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, O. HUMENCHUK<sup>1</sup>, A. RAWSKA-SKOTNICZNY<sup>2</sup>,  
A. TORS'KYI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **OPTIMIZATION PROBLEMS UNDER TYPICAL CRITERIA FOR STRESS STATE OPTIMIZATION**

Calculation schemes for optimization problems are given under typical stress optimization criteria for technological heating of glass shells in order to improve their performance characteristics and technological processes for their manufacture, in particular, when using thermal irradiation.

### **OPTYMALIZACYJNE ZAGADNIENIA PRZY TYPOWYCH KRYTERIACH OPTYMALIZACJI STANU SPRĘŻYSTEGO**

Podane są schematy obliczeniowe zagadnień optymalizacyjnych przy typowych kryteriach optymalizacji względem stanu naprężeń przebiegów nagrzewania technologicznego szklanych powłok w celu polepszenia ich charakterystyk eksploatacyjnych oraz procesów wytwarzania w szczególności przy wykorzystaniu cieplnego napromieniowania. Omówiono i przeanalizowano osobliwości wykorzystywanych kryteriów optymalizacji.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, R. IVAS'KO<sup>1</sup>,  
A. MARYNOWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

### **MODES OF THERMAL VACUUM TREATMENT OF DEVICE SHELLS USING ELECTROMAGNETIC RADIATION**

The results of a study on the use of electromagnetic radiation (in particular, continuous action emitters - lamps of the KG type) in the thermal vacuum treatment of glass shells of a particular type of electrovacuum devices (EVD), which have a shell geometrically close to spherical (further modeled as a specific spherical one), are presented.

### **REŻYMY OBRÓBKI TERMOPRÓŻNIOWEJ Z WYKORZYSTANIEM PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO URZĄDZEŃ ELEKTROPRÓŻNIOWYCH**

Podane są wyniki badań powiązanych z wykorzystaniem promieniowania elektromagnetycznego (w szczególności emiterów o działaniu ciągłym – lamp typu KG) przy termopróżniowej obróbce powłok szklanych określonego typu urządzeń elektropróżniowych (EVD), które mają powłokę geometrycznie bliską do kulistej (dalej modelowaną odpowiednią kulistą).

S. BUDZ<sup>1</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, A. KOZIARSKA<sup>2</sup>, R. KUSHNIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

**METHOD OF OPTIMIZATION ON MECHANICAL STRESSES OF  
TECHNOLOGICAL HEATING MODES OF COMPOSITE  
AXISYMMETRIC PIECE-HOMOGENEOUS GLASS SHELLS**

The abstract is devoted to the development of a stress state optimization methodology for technological heating modes on composite piecewise-homogeneous glass shells for given areas of allowable temperature change and thermal stresses, taking into account the thermal sensitivity of the coefficient of linear thermal expansion of the material.

**METODA OPTYMALIZACJI WZGLĘDEM STANU NAPRĘŻEŃ  
REŻYMÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO ZŁOŻONYCH  
OSIOWOSYMETRYCZNYCH KAWĄLKAMI JEDNORODNYCH SZKLANYCH  
POWŁOK**

Referat ten poświęcony jest rozwinięciu metodologii optymalizacji względem stanu naprężeń reżymów nagrzewania technologicznego jednorodnych powłok na złożone osiowosymetryczne kawałkami – jednorodne szklane powłoki, przy zadanych obszarach dopuszczalnej zmiany temperatury i naprężeń termicznych. Przy tym uwzględnia się termoczułość współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej materiału.