

# **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 (Ukraina)

**Międzynarodowe seminarium naukowe**

## ***OPTYMALIZACJA STRUKTUR PROCESÓW WYTWÓRCZYCH - 2021***

**Materiały**



**OPOLE  
21 grudnia 2021**

---

OPOLE 2021

## **KOMITET NAUKOWY**

### **PRZEWODNICZĄCY:**

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

### **CZŁONKOWIE:**

Bozhenko B., Koziarska A. ,Madej-Lachowska M.,  
Moryń S., Pączko D., Rut J.,  
Terlets'kyi R., Trembacz J., Zator S.

### **KOMITET ORGANIZACYJNY:**

Bozhenko B., Czumałowska P., Ivas'ko R., Rut J.,  
Stanik-Besler A., Wołczański T.

### **JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE:**

Katedra Matematyki i Zastosowań Informatyki PO,  
Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa i Systemów Technicznych PO,  
Wydział Teorii Pól Fizyczno-Mechanicznych IPSMM

### **ZAKRES TEMATYCZNY:**

1. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH
2. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH
3. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

### **SEKRETARIAT SEMINARIUM:**

POLITECHNIKA OPOLSKA

Wydział Inżynierii Produkcji i Logistyki  
Katedra Matematyki i Zastosowań Informatyki  
ul. Sosnkowskiego 31, 45-271, Opole  
tel. 077 – 449 87 21

## SPIS TREŚCI

### REFERATY ZAMAWIANE

<b>1. O. HACHKEYVICH, A. STANIK-BESLER, T. WOŁCZAŃSKI</b> PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2021 .....	9
<b>2. O. HACHKEYVICH, R. IVAS’KO, R. KUSHNIR, A. STANIK-BESLER</b> PROBLEMY FORMUŁOWANIA I ROZWIĄZYWANIA WYBRANYCH ZAGADNIENÍ TERMOMECHANIKI CIAŁ FERRYTOWYCH .....	15
<b>3. J. RUT, M. OSTAFIL</b> WYBRANE PROBLEMY CYBERBEZPIECZEŃSTWA W CYFROWEJ TRANSFORMACJI PRZEDSIĘBIORSTW .....	21
<b>4. A. OTAWA</b> BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE POLSKI W KONTEKŚCIE ROZWOJU ENERGETYKI JĄDROWEJ .....	27

### I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

<b>1. D. PĄCZKO</b> WARUNKI WYSTARCZAJĄCE REGULARNOŚCI LINIOWYCH UKŁADÓW DYNAMICZNYCH .....	35
<b>2. B. BOZHENKO, K. DROGOMYRETS’KA, U. ZHYDYK, O. ORYSHCHYN, A. SHAYNER</b> MATHEMATICAL METHODS FOR DETERMINING THE TEMPERATURE FIELD PREHEATED TO A SET TEMPERATURE OF AN INHOMOGENEOUS ISOTROPIC CYLINDRICAL SHELL .....	36
<b>3. U. ZHYDYK, B. KUSHKA, R. MUSII, I. SVIDRYK, A. STANIK-BESLER</b> DETERMINATION AND INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE FIELD IN AN ORTHOTROPIC LAYERED CYLINDRICAL SHELL OF A REGULAR SYMMETRIC STRUCTURE WITH ITS LOCAL HEATING BY CONVECTIVE HEAT EXCHANGE .....	38
<b>4. K. GHAZARYAN, N. MELNYK, R. MUSII, O. SYDORCHUK, R. TERLETS’KYI</b> FIZYCZNE I MATEMATYCZNE PODSTAWY TEORII DYNAMICZNYCH PROCESÓW TERMOMECHANICZNYCH W CIELE PRZEWODZĄCYM ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU MIKRO- I NANOSEKUNDOWYCH IMPULSÓW ELEKTROMAGNETYCZNYCH .....	39
<b>5. O. HACHKEYVICH, T. KOZAKEVYCH, T. WOŁCZAŃSKI, V. KUKAREKO</b> SELECTED MATERIAL-MATHEMATICAL ASPECTS OF DETERMINATION OF RESIDUAL AND STRUCTURAL STRESS STATES OF STEEL PLATES SUBJECTED TO HEATING AND COOLING	40

<b>6. R. IVAS’KO, N. MELNYK, R. MUSH, O. SENKOVYCH, A. STANIK-BESLER</b>	
DETERMINATION AND STUDY OF THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BIMETALLIC TUBULAR ELEMENTS UNDER IMPULSE ELECTROMAGNETIC IMPACT .....	41
<b>7. V. LENKO, Y. SHCHERBYNA</b>	
SYSTEM ZARZĄDZANIA OSOBISTĄ WIEDZĄ .....	43
<b>8. A. KOZIARSKA</b>	
THE IMPACT OF DISTANCE LEARNING ON ALUMNI SURVEY RESULTS OF THE FACULTY OF PRODUCTION ENGINEERING AND LOGISTICS .....	44
<b>9. Z. SZYLICKA, M. WIATR</b>	
REMOTE TEACHING OF MATHEMATICS SUBJECTS IN THE SUMMER SEMESTER 2020/21 AT THE OPOLE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY .....	45
<b>10. Z. SZYLICKA, M. WIATR, K. WOJTECZEK-LASZCZAK</b>	
FIRST-YEAR STUDENTS OF THE OPOLE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY ON MATH COURSES IN 2018/19 AND 2020/21 .....	46
 <b>II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH</b>	
<b>1. L. HAYEVSKA, M. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA, B. TRISHCH</b>	
THE PROBLEM OF THERMAL ELASTICITY IN OPTIMIZING THE MODES OF TECHNOLOGICAL HEATING OF GLASS SHELLS .....	49
<b>2. V. VESTIAK, M. HACHKEVYCH, A. RAWSKA-SKOTNICZNY, I. CHUPYK</b>	
MODEL REPRESENTATIONS FOR THE AXISYMMETRIC PROBLEM OF THERMOMECHANICS OF GLASS SHELLS .....	50
<b>3. M. HACHKEVYCH, O. HUMENCHUK, V. MOZHAROVSKYI, B. CHORNYI</b>	
MODELING AND DETERMINATION OF THERMOSTRESSED STATE OF A CLOSED CYLINDRICAL SHELL MADE OF FRAGILE MATERIAL UNDER SELECTED HEATING CONDITIONS .....	51
<b>4. S. BUDZ, M. HACHKEVYCH, R. IVAS’KO, A. TORS’KYI</b>	
MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING OF TEMPERATURE IN A TWO-LAYER SHELLS WITH ITS CUBIC DISTRIBUTION OVER THE THICKNESS OF LAYERS .....	52
<b>5. B. BOZHENKO, M. HACHKEVYCH, O. HACHKEVYCH, V. MISHCHENKO</b>	
ON THE INFLUENCE OF THE CONDITIONS OF FIXING THE END SECTIONS OF THE CYLINDRICAL SHELL ON THE OPTIMUM TEMPERATURE FIELDS OF ANNEALING .....	53
<b>6. M. HACHKEVYCH, O. HACHKEVYCH, R. KUSHNIR, D. TARLAKOVSKII</b>	
OPTIMIZATION WITH RESPECT TO STRESS STATE OF THE ANNEALING MODES OF THERMAL SENSITIVE GLASS ELEMENTS OF STRUCTURES .....	54

<b>7. O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER, R. TERLETS'KYI, B. CHORNYI</b>	
MODELING PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC FIELD AND FACTORS OF ITS IMPACT IN ELECTRIC CONDUCTING SOLIDS SUBJECTED TO INDUCTION HEATING .....	55
<b>8. R. IVAS'KO, S. MORYŃ, R. TERLETS'KYI, G. FEDOTENKOV</b>	
MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD AT INDUCTION HEATING OF THE SYSTEM: ELECTRIC CONDUCTIVE SOLID - EXTERNAL NON-ELECTRIC ENVIRONMENT .....	56
<b>9. B. BOZHENKO, O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER, B. CHORNYI</b>	
MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD AT INDUCTION HEATING OF THE SYSTEM: ELECTRIC CONDUCTIVE SHELL - EXTERNAL NON-ELECTRIC CONDUCTIVE ENVIRONMENT .	57
<b>10. R. IVAS'KO, A. MARYNOWICZ, S. MORYŃ, R. TERLETS'KYI</b>	
MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD AT INDUCTION HEATING OF THE SYSTEM: MULTILAYER ELECTRIC CONDUCTIVE SHELL - EXTERNAL NON-ELECTRIC CONDUCTIVE ENVIRONMENT .....	58
<b>11. L. HAYEVS'KA, O. HACHKEVYCH, T. WOLCZAŃSKI, B. CHORNY</b>	
MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRIC CONDUCTING SYSTEMS UNDER GIVEN BOUNDARY CONDITIONS .....	59
<b>12. L. HAYEVS'KA, R. KUSHNIR, R. MUSII, A. STANIK-BESLER</b>	
MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD AT INDUCTION HEATING OF SYSTEMS: ELECTRIC CONDUCTIVE PLATES - EXTERNAL NON-ELECTRIC CONDUCTIVE MEDIUM .....	60
<b>13. O. HACHKEVYCH, K. GHAZARYAN, S. MORYŃ, B. CHORNYI</b>	
MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRIC CONDUCTIVE PLATE SYSTEMS UNDER GIVEN BOUNDARY CONDITIONS .....	61
 <b>III. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH</b>	
<b>1 R. BUJALLA, R. ŁUSZCZYNA</b>	
ZAADOPTOWANIE PRZESTRZENI MAGAZYNOWEJ DO CELÓW PRODUKCYJNYCH POD WZGLĘDEM SPEŁNIENIA WYMOGÓW BHP .	65
<b>2. A. ROTKEGEL, Z. ZIOBROWSKI</b>	
SILMS MEMBRANES - ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGY FOR CO <sub>2</sub> REMOVAL FROM GASES .....	66
<b>3. J. TREMBACZ, E. TREOMSA</b>	
THE IMPACT OF SAFETY AND DRIVING COMFORT SYSTEMS ON THE DRIVING SAFETY OF SELECTED PASSENGER CARS .....	67
<b>4. J. TREMBACZ, D. CHRZANOWSKI</b>	
RISKS AT THE WORK OF A STATE FIRE BRIGADE OFFICER WITH RESPECT TO EXPOSURE TO AN ELECTROMAGNETIC FIELD .....	68

<b>5. J. TREMBACZ, R. KOWALCZYK</b> SAFETY IN A CHEMICAL COMPANY DURING FERTILISER PRODUCTION AT THE NITRATE PACKAGING PLANT .....	<b>69</b>
<b>6. J. TREMBACZ, P. KOKOSZKA</b> ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE OCCURRENCE OF DROUGHT ON LOSSES IN CROPS OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE AND ITS FUNCTIONING .....	<b>70</b>
<b>7. J. TREMBACZ, K. BILIŃSKA</b> ANALYSIS OF SAFETY CONDITION IN SELECTED CONSTRUCTION COMPANIES .....	<b>71</b>
<b>8. T. WOLCZAŃSKI, S. MORYŃ, J. TREMBACZ, J. ZAPOTOCZNA</b> ANALYSIS OF THE HEALTH AND SAFETY CONDITION IN A SELECTED FOOD COMPANY .....	<b>72</b>
<b>9. T. WOLCZAŃSKI, J. TREMBACZ, A. NOSOL, J. MANOWSKA</b> SAFETY DURING TRANSPORT OF HAZARDOUS MATERIALS .....	<b>73</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 – 2021

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.

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.

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 szeroko rozumianych wymogów wspomnianych czynników towarzyszących, w tym inżynierii bezpieczeństwa 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.

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

5. 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.

6. 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.

7. 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 wytwórczych, OWPO SIM z. 401 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-89-5), Opole 2014.

8. 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.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

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 2020-2021 badań w tych kierunkach wiedzy z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania i przenikania oraz pewnego wpływu warunków pandemii.

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 (11 tematycznych referatów), powiązanych kolejno z: podejściami i metodami analitycznymi jak i numerycznymi rozwiązywania układów równań różniczkowych oraz zagadnień fizyki matematycznej, opisywanych takimi układami, powstających przy

modelowaniu dynamicznego zachowania różnych konstrukcyjnych elementów i stanu cieplnego powłok, w szczególności, anizotropowych (3 ref.), opracowaniem fizyczno- matematycznych podstaw opisu ilościowego cieplnych i mechanicznych własności ciał przewodzących elektryczność przy oddziaływaniu typowych pól elektromagnetycznych, w tym impulsowych (4 ref.); materiałoznawczo-matematyczne aspekty przy wyznaczaniu szcążkowego strukturalnego oraz sprężystego stanu płyt stalowych przy nagrzewaniu i chłodzeniu (1 ref.); wyjściowych i matematycznych zasad układu zarządzania wedzją osobistom (1 ref.); badaniem osobliwości i specyfiki zdalnego kształcenia w uczelniach technicznych (względem matematyki i innych przedmiotów), powstałego na skutek pandemii spowodowanej CQVID-19 i kolejnymi jego modeyfikacjami (3 ref.).

W drugim rozdziale zakresu tematycznego, dotyczącym modelowania matematycznego oraz optymalizacji przy opracowaniu procesów wytwórczych, w 13-ciu tematycznych referatach omówiane zostały zagadnienia kolejnie powiązane z opisem, wykorzystaniem i optymalizacją: stanu sprężystego układów powłokowych oraz reżymów ich nagrzewania, rozwiązywaniem odpowiednich zagadnień prostych (6 ref.); prawidłowym formułowaniem zagadnień fizyki matematycznej o wyznaczaniu quasi-ustalonych pól elektromagnetycznych w różnych układach powłokowych oraz płytowych przy wybranych sposobach określenia ze wnętrznego oddziaływania elektromagnetycznego (7 ref.).

W trzecim rozdziale zakresu tematycznego niniejszego seminarium przeanalizowano wybrane zagadnienia problematyki inżynierii bezpieczeństwa, higieny i kultury pracy oraz czynników towarzyszących w różnych środowiskach wytwórczych (4 ref.) i doknano próby omówienia aspektów energetycznego bezpieczeństwa Polski, a również cyberbezpieczeństwa przy cyfrowej transformacji przedsiębiorstw (2 ref.). Zbadano wpływ obecnych wybranych czynników wytwórczych na bezpieczeństwo przedsiębiorstw (3 ref.), a także pewnych sposobów ulepszania procesów wytwórczych (2 ref.).

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 spólnie 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, runwież jak czynników towarzyszących: ekonomicznych, ekologicznych, specjalastycznych technologicznych inżynierii produkcji (w tym logistyki, marketingu, inżynierii bezpieczeństwa), dydaktycznych i in. Te

przenikanie pogłębią się poprzez osobliwości oddziaływania różnych niestandardowych czynników, powiązanych z pandemią. Tak w omawianych referatach 2021 r. w pierwszym rozdziale zakresu tematycznego mieszczą się takie pytania w referatach o: statystycznych aspektach przy ustalaniu technologicznych oraz fizycznych czynników oddziaływania (3 ref.), osobliwościach dydaktyki w technicznych uczelniach przy zdalnym kształceniu w warunkach epidemii (3 ref.) i układów zarządzania wiedzą osobistą (1 ref.), a trzeci – w referatach, w których omawiane są problemy szeroko rozumianej inżynierii bezpieczeństwa przy uwzględnieniu wpływu pewnych logistycznych i odrębnych wytwórczych i technologicznych czynników (5 ref.), a również stosowane podejścia i metody teorii zarządzania, organizacji wytwarzania i komputerowej inżynierii (4 ref.). 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 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, Państwowym Moskiewskim Uniwersytetem Technicznym STANKIN, Instytutem Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki Narodowej Ukraińskiej Akademii Nauk i jego Centrum Modelowania Matematycznego, Narodowymi Uniwersytetami im. Iw. Franki i „Politechniką Lwowską” we Lwowie, Uniwersytetem Technicznym w Ostrawie oraz Uniwersytetem Technicznym w Koszycach. Podane w tematycznych rozdziałach seminarium 2021 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 monografiach-

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

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

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

## **PROBLEMY FORMUŁOWANIA I ROZWIĄZYWANIA WYBRANYCH ZAGADNIENÍ TERMOMECHANIKI CIAŁ FERRYTOWYCH**

W praktyce inżynierskiej szeroko stosowane są urządzenia elektryczne i elektroniczne z elementami ferrytowymi o różnym przeznaczeniu funkcjonalnym, pracujące w zewnętrznych polach elektromagnetycznych (PEM), m.in. i quasi-ustalonych (amplitudy natężeń pól elektrycznych i magnetycznych których nieznacznie zmieniają się w okresie oscylacji elektromagnetycznych). Często technologie wytwarzania takich elementów, w szczególności technologie wyżarzania, są związane z wykorzystaniem powyższych pól. Oddziaływanie PEM na ciało ferrytowe powoduje, że zachodzi w nim szereg wzajemnie powiązanych procesów o różnym charakterze fizycznym (termicznym, mechanicznym, elektromagnetycznym itp.), które znacząco wpływają na wytrzymałość i parametry użytkowe odpowiednich elementów ferrytowych. Wynika to również z faktu, że ferryty (ze względu na sposób ich wytwarzania i właściwości mechaniczne) należą do materiałów ceramicznych, dla wyrobów z których nawet niewielkie naprężenia mechaniczne mogą powodować znaczne zmiany ich elektromagnetycznych parametrów użytkowych. One charakteryzują się również w różnym stopniu zjawiskami strykcyjnymi – wzajemnym powiązaniem odkształcenia i namagnesowania. Dlatego ważne jest badanie fizycznych i mechanicznych procesów zachodzących w odkształcalnych stałych ciałach ferrytowych przy oddziaływaniu PEM dla przewidywania właściwości funkcjonalnych i wytrzymałości elementów ferrytowych urządzeń stosowanych do różnych celów technicznych.

W literaturze spotykane są badania zachowania mechanicznego zarówno ciał ferromagnetycznych, jak i dielektrycznych przy obciążeniach złożonych (mechanicznych, elektromagnetycznych, termicznych), oscylacji rezonansowych oraz nagrzewania dyssypatywnego piezoelektrycznych i piezomagnetycznych ciał ceramicznych (z wykorzystaniem formalizmów przybliżeń wymuszonej elektro- lub magnetostatyki, stosowanych przy opisie PEM w tego typu zagadnieniach). Przedstawione w literaturze badania oddziaływania PEM na środowisko ferrytowe (wykazujące jednocześnie zdolność do magnetyzacji i pola-

ryzacji) dotyczą głównie optymalizacji (z wykorzystaniem wyników badań eksperymentalnych) reżymów pracy wyrobów ferrytowych przy oddziaływaniu PEM i przewidywania charakterystyk wyjściowych poszczególnych urządzeń elektrycznych i elektronicznych. Mają one na celu zminimalizowanie strat histerezy w materiale. Znane są badania, związane z wytwarzaniem kompozytów metodą indukcyjną z użyciem mieszanek klejowych z wypełniaczami ferrytowymi. Dotyczą one jednak tylko badania procesu nagrzewania materiałów ferrytowych przy pomocy PEM. Wzajemne połączenie procesów mechanicznych, termicznych i elektromagnetycznych w ciele, wyprodukowanym z materiału ferrytowego, spowodowanych oddziaływaniem PEM, jak również jego wpływ na parametry tych procesów przy różnych charakterystykach amplitudowo-częstotliwościowych zewnętrznych PEM, nie zostały dostatecznie zbadane w literaturze. Nie bierze się pod uwagę zdolności ośrodka ferrytowego do jednoczesnego namagnesowania i polaryzacji w pewnych częściach widma częstotliwości. W związku z tym konieczne staje opracowanie modelu matematycznego ilościowego opisu i badania stanu sprężystego ciał ferrytowych, wywołanego działaniem quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego (QUPEM) z uwzględnieniem zależności między procesami przewodnictwa elektrycznego, przewodnictwa cieplnego i odkształcenia, a także osobliwości właściwości elektromagnetycznych materiału w zależności od częstotliwości PEM. Taki model może występować teoretyczną podstawą racjonalnego projektowania i rozbudowy urządzeń elektromagnetycznych z elementami ferrytowymi, a również reżymów ich pracy oraz obróbki z wykorzystaniem PEM, przy jednoczesnym zapewnianiu sprawności funkcjonalnej zarówno tych elementów, jak i urządzenia w całości.

Podano wyniki badań poświęconych rozwiązywaniu wybranych problemów tej tematyki, wychodząc z krótkiego opisu stanu problemu i związanych z nim prac z termomechaniki ciał przewodzących elektryczność, zdolnych do polaryzacji i namagnesowania przy zewnętrznych oddziaływaniach elektromagnetycznych. Rozważane są również problemy, związane z formułowaniem zagadnień termomechaniki ciał przewodzących prąd elektryczny oraz metodami ich rozwiązywania. Ustalono, że w chwili obecnej istnieją odrębne badania, dotyczące problematyki celowego wytwarzania elementów ferrytowych urządzeń o różnych zastosowaniach technicznych. Prowadzone są także badania pól temperaturowych i naprężeń w ciałach ferromagnetycznych przy wybranych zewnętrznych oddziaływaniach elektromagnetycznych. Jednak badania stanu termosprężystego ciał ferrytowych, wywołanego oddziaływaniem QUPEM (z uwzględnieniem związku między procesami przewodnictwa elektrycznego, przewodnictwa cieplnego i odkształcenia) dla racjonalnego projektowania i rozbudowy urządzeń elektromagnetycznych z elementami ferrytowymi, a także reżymów ich działania i obróbki z wykorzystaniem PEM, przy zapewnieniu sprawności funkcjonalnej zarówno tych elementów, jak i urządzeń w całości, są omówione w literaturze niewystarczająco.

Szereg prac, dotyczących tematyki, poświęć opisowi właściwości fizycznych i mechanicznych materiałów ferrytowych przy oddziaływaniu



QUPEM, dokonano ich klasyfikacji według właściwości magnetycznych i elektrycznych (magnetycznie miękkie, elektrycznie miękkie; magnetycznie twarde, elektrycznie twarde; magnetostrykcyjne, elektrostrykcyjne; materiały z prostokątną pętlą histerezy). Ze względu na swoje właściwości mechaniczne te materiały należą do materiałów kruchych. Rozważane jest oddziaływanie elektromagnetyczne (przy parametrach charakterystycznych  $H_m < 10^4$  A/m,  $\omega_m < 10^{10}$  s<sup>-1</sup>, gdzie  $H_m$  – największa wartość natężenia pola magnetycznego w ciele ferrytowym,  $\omega_m$  – maksymalna nośna częstotliwość kołowa PEM), przy którym można przyjąć, że przemieszczenia, odkształcenia i ich prędkości w badanych ciałach kruchych są tak małe, że spełniają się założenia liniowej teorii sprężystości, a wpływ ruchu na charakterystyki PEM można pominąć. Ograniczają się ferrytami, dla których efekty elektromechaniczne i termoelektryczne są nieistotne. Zakłada się, że właściwości użytkowe wyrobów, wyprodukowanych z materiałów ferrytowych, są utrzymywane przy maksymalnych temperaturach poniżej ich temperatury Curie i wartościach naprężeń mniejszych od dopuszczalnych. Środowisko jest przyjmowane za izotropowe, w którym wektory magnetyzacji i polaryzacji są odpowiednio równoległe do wektorów natężeń pól magnetycznych i elektrycznych. W warunkach cyklicznego przemagnesowania i repolaryzacji zależności między indukcjami a natężeniami pól mają postać dynamicznych pętli histerezy, które charakteryzują się nasyceniem. Kształt pętli dla określonych materiałów zależy od częstotliwości i amplitudy pola zewnętrznego. W przypadku słabych pól i wysokich częstotliwości krzywe namagnesowania i polaryzacji są eliptyczne. W przypadku eliptycznego związku między indukcjami i natężeniami przy harmonicznym natężeniu pól magnetycznych i elektrycznych, w literaturze z inżynierii elektrycznej stosuje się przenikalności zespolone.

Materiał ferrytowy jest ceramiką magnetyczną i pod względem właściwości wytrzymałościowych należy do materiałów kruchych, dla których zależność między odkształceniami a naprężeniami aż do granicy wytrzymałości jest liniową. W typowych warunkach pracy wyrobów, wykonanych z materiałów ferrytowych, występują słabe pola ( $H_{\max} < 10^3$  A/m) przy wysokich częstotliwościach nośnych ( $\omega \geq 10^5$  s<sup>-1</sup>). W rozważanych zakresach częstotliwościowych ferryt wykazuje właściwości zarówno ferromagnetyka, jak i dielektryka. Podane parametry mają również pola, wykorzystywane w wielu znanych technologiach obróbki cieplnej wyrobów z materiałów ferrytowych.

Są opracowane model matematyczny i metoda ilościowego opisu wzajemnie powiązanych procesów przewodnictwa elektrycznego, przewodnictwa cieplnego i deformacji, zachodzących w ciałach ferrytowych przy oddziaływaniu PEM, powstałego przez oddziaływanie zadanego w środowisku zewnętrznym układu quasi-ustalonych prądów elektrycznych zakresu radiowego z modulacją amplitudy.

W warunkach, omówionych poprzednio (przyjmowanych podczas eksperymentalnego wyznaczania charakterystyk materiałów ferrytowych i otrzymywania równań materiałowych), wpływ QUPEM na procesy przewodnictwa cieplnego i odkształcenia w ciele ferrytowym, podobnie jak w znanych modelach ciał ferromagnetycznych i dielektrycznych, jest uwzględniany przez ciepło Joule'a i ciepło histerezy (związane z przemagnesowaniem i repolaryzacją) oraz siły ponderomotoryczne, wywołane przez to pole. Momenty ponderomotoryczne są równe zero ze względu na równoległość wektorów indukcji i natężeń pól magnetycznego i elektrycznego. W tym przybliżeniu i przy stałych charakterystykach materiału wyjściowe zależności dla ilościowego opisu parametrów procesów cieplnych, mechanicznych i elektromagnetycznych w ciałach ferrytowych przy oddziaływaniu QUPEM formułowane są w dwóch etapach. W pierwszym etapie na podstawie równań Maxwella zapisuje się zagadnienia na wyznaczenie parametrów PEM oraz wyrażenia dla produkcji ciepła i sił ponderomotorycznych (przy ich opisie statystycznym) jako funkcji parametrów elektromagnetycznych. W drugim etapie na podstawie relacji dynamicznego zagadnienia termosprężystości w naprężeniach uzyskują się zależności, opisujące parametry cieplne oraz mechaniczne przy zadanych warunkach początkowych i brzegowych na temperaturę  $T$  i składowe tensora naprężeń  $\hat{\sigma}$ , w których źródłami ciepła i siłami objętościowymi są produkcja ciepła i siły ponderomotoryczne, występujących w pierwszym etapie. Rozpatrzono przypadek słabego PEM przy wysokich częstotliwościach, który jest ważny dla zastosowań inżynierskich. W tym przypadku w naukowo-technicznej literaturze posiadane są dane, dotyczące wartości przenikalności magnetycznych i dielektrycznych oraz odpowiadających im tangensów kątów strat, a także ich zależności częstotliwościowe dla różnych typów materiałów ferrytowych. Zaproponowano przybliżoną metodę badania pól fizycznych i mechanicznych, które powstają w takich materiałach przy omówionych oddziaływaniach elektromagnetycznych. Eliptyczność kształtu pętli histerezy w słabych PEM o wysokiej częstotliwości umożliwia dla takich pól, stosując metodę zespolonych amplitud (przy opisie parametrów PEM w przybliżeniu pierwszej harmoniki), linearyzację wyjściowego zagadnienia elektrodynamiki poprzez wprowadzenie przybliżonych zespolonych przedstawień wektorów natężeń pól elektrycznego i magnetycznego.

Wyrażenia dla mocy właściwej produkcji ciepła i sił ponderomotorycznych uzyskuje się w tym przypadku w postaci sumy dwóch składowych – wolno zmieniającej się w czasie (pokrywającej się z gęstością objętościową odpowiedniej wartości, uśrednionej w okresie  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  drgań elektromagnetycznych) i quasi-okresowej (sumaryczna moc której w okresie równa zero).

Na podstawie struktury wyrażeń dla produkcji ciepła i sił ponderomotorycznych temperaturę i tensor naprężeń przedstawiono w podobnej postaci: jako sumę wolno zmieniających się w czasie i quasi-ustalonych składowych. Przy tym pierwsza rozważa się w ujęciu quasi-statycznym, pomijając wpływ sprężę-

nia pól odkształcenia i temperatury, a druga – w quasi-ustalonym przybliżeniu (pomijając wpływ początkowego etapu procesu).

W celu uzyskania prawidłowości zachowania mechanicznego ciał ferrytowych przy oddziaływaniu zewnętrznych QUPEM, na podstawie metodologii, omówionej poprzednio, i z wykorzystaniem metod analitycznych i numerycznych wyznaczone są parametry stanu termosprężystego ferrytowej warstwy o grubości  $h$  przy oddziaływaniu PEM, wymuszonego przez określony w środowisku zewnętrznym układ quasi-ustalonych prądów elektrycznych, równomiernie rozłożonych w cienkiej warstwie prądoносnej (geometrycznie modelowanej przez płaszczyznę, równoległą do górnej podstawy warstwy). Płaszczyzna znajduje się o odległości  $l$  od tej podstawy. Przy tym w celu przeprowadzenia szerokich badań rozwiązanie odpowiedniego powiązanego zagadnienia termomechaniki poszukiwane jest w przybliżeniu, stosując aproksymacji przy pomocy wielomiana trzeciego stopnia rozkładów quasi-ustalonych składowych temperatury i naprężeń względem współrzędnej grubościowej. Badania numeryczne są wykonywane dla warstwy, połączonej ze sztywną półprzestrzenią przy  $z=0$  (przemieszczenie  $u_z=0$ ). Pola temperaturowe i naprężenia w warstwie z magnetycznie miękkiego ferrytu niklowo-cynkowego 1000HH badano ilościowo przy grubościach  $h=0.03; 0.15; 0.30$  m oraz  $l=10^{-3}$  m. Częstotliwość  $\omega$  zewnętrznego PEM została wybrana z listy fal modulowanych amplitudowo (zakresu AM częstotliwości radiowych, fal ultrakrótkich, a również mikrofalowego zasięgu telewizyjnego), dopuszczonych do stosowania w przemyśle. Przy tym wzięto pod uwagę zależności przenikalności dielektrycznej i magnetycznej oraz tangensów kątów strat histerezy od częstotliwości pola. Górna podstawa  $z=h$  jest wolna od naprężeń mechanicznych. Na niej odbywa się konwekcyjna wymiana ciepła z otoczeniem zewnętrznym (temperatura którego jest stała i równa początkowej temperaturze warstwy) przy kryterium Biota  $Bi=0.2$ , a dolna podstawa  $z=0$  jest izolowana termicznie.

Przeprowadzono szerokie badania zachowania termomechanicznego warstwy w zależności od właściwości materiału i parametrów pola, w szczególności przy istniejących zjawiskach rezonansowych.

Dla oceny wpływu niejednorodności rozkładu zewnętrznego prądu elektrycznego na parametry nagrzewania technologicznego płaskich elementów ferrytowych, z uwzględnieniem stanu sprężystego (charakterystyk wytrzymałościowych), wyznaczono i zbadano zachowanie termomechaniczne warstwy ferrytowej przy oddziaływaniu QUPEM, wytwarzanego przez prąd elektryczny, płynący w płaszczyźnie prądoносnej, gęstość którego ma sinusoidalny charakter zmiany względem podłużnej współrzędnej  $y$ .

Zgodnie z wynikami, uzyskanymi poprzednio dla warstwy (dla stabilnej zależności procesu nagrzewania od częstotliwości oddziaływania elektromagnetycznego), przyjmuje się, że kołowa częstotliwość nośna  $\omega$  leży poza otocze-

niami rezonansowymi  $\omega_{\text{res}}^{\text{I}}$  i  $\omega_{\text{res}}^{\text{II}}$ . Przy tym wykorzystano ujęcie quasi-statyczne. W tym przypadku rozwiązywanie sprowadza się do trzech etapów, które rozważane są kolejnie – wyznaczanie parametrów, opisujących pola elektromagnetyczne, temperaturowe i mechaniczne.

W celu skonstruowania racjonalnych przebiegów wspomnianego nagrzewania technologicznego (w szczególności dla „treningu” technologicznego wyrobów ferrytowych, wyżarzania niskotemperaturowego w celu usunięcia konstrukcyjnych, montażowych lub innych naprężeń szczątkowych itp.) przy wykorzystaniu PEM zbadano quasi-statyczne składowe temperatury i naprężeń w warstwie przy jednorodnym prądzie w płaszczyźnie prądoносnej ( $\alpha = 0$ ).

Omówiono wybrane zagadnienia, związane z możliwością modelowania i badania wpływu efektów strykcyjnych na zachowanie termomechaniczne ciał ferrytowych przy obciążeniu elektromagnetycznym.

Rozważany jest wariant modelu matematycznego dla ilościowego opisu właściwości mechanicznych i elektromagnetycznych strykcyjnych ciał ferrytowych przy oddziaływaniu wolno zmieniającego się w czasie PEM (przy wolno zmieniającym się w czasie natężeniu pola magnetycznego). W ramach przybliżenia quasi-statycznego wyznaczanie parametrów stanu magnetosprężystego takich ciał sprowadzono do rozwiązania układu sprzężonych równań różniczkowych (w pochodnych cząstkowych) mechaniki i magnetostatyki ośrodków ciągłych (z uwzględnieniem zlinearyzowanych równań materiałowych magnetostrykcji).

Rozważane są podejścia do komputerowej symulacji procesów fizycznych i mechanicznych, zachodzących w ciałach jednorodnych, wykonanych z ferrytowych materiałów strykcyjnych, przy zewnętrznym wolno zmieniającym się w czasie obciążeniu magnetycznym. W ramach takich podejść zbadano parametry procesów elektromagnetycznych i mechanicznych w nieliniowym przetworniku magnetostrycyjnym prętowym.

Omuwiono i przeanalizowano otrzymane wyniki oraz ujawnione prawidłowości zachowania termomechanicznego rozważanych ciał ferrytowych przy oddziaływaniu QUPEM.

Zauważmy że zaprezentowane wyniki badań uzyskano głównie w ramach międzynarodowej współpracy naukowej Instytutu Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki im. Ya.S. Pidstryhacza Narodowej Akademii Nauk Ukrainy i Politechniki Opolskiej (Polska).

J. RUT, M. OSTAFIL

Opole University of Technology (Poland)

## **WYBRANE PROBLEMY CYBERBEZPIECZEŃSTWA W CYFROWEJ TRANSFORMACJI PRZEDSIĘBIORSTW**

Cyfryzacja procesów zachodzących w przedsiębiorstwach, zmienia sposób funkcjonowania firm na wszystkich szczeblach i w wielu obszarach. Istotnym elementem w cyfrowej transformacji przedsiębiorstw jest cyberbezpieczeństwo, obejmujące z jednej strony ochronę technologii, procesów oraz cyfrowej infrastruktury przemysłowej a jednocześnie obszary dotyczące użytkowników urządzeń i danych.

Obecnie bardzo duże znaczenie dla rozwoju gospodarki mają technologie informatyczne, które coraz mocniej przenikają do obszarów mających dotychczas niewiele z nią wspólnego. W dobie czwartej rewolucji przemysłowej przedsiębiorstwa by efektywnie konkurować są zmuszone do zacieśnienia relacji z branżą IT (ang. Information Technology), zdając sobie sprawę, że cyfryzacja procesów zachodzących w przedsiębiorstwach jest podstawą efektywnego funkcjonowania na współczesnym, dynamicznie zmieniającym się rynku.

Kluczowym elementem w cyfrowej transformacji przedsiębiorstw jest cyberbezpieczeństwo, które obejmuje technologie, procesy oraz działania kontrolne, które mają na celu ochronę użytkowników, urządzeń i ich systemów, całych sieci i danych przed cyberatakami. Ataki są zwykle ukierunkowane na uzyskanie nieautoryzowanego dostępu, zmianę lub niszczenie wrażliwych informacji, wyłudzenie pieniędzy, zakłócanie lub przerywanie normalnych procesów wytwórczych, procesów biznesowych. Efektywne cyberbezpieczeństwo redukuje ryzyko cyberataku oraz chroni organizacje i osoby przed nieuprawnionym wykorzystywaniem systemów, danych, sieci i technologii.

Cyberbezpieczeństwo jest kluczowym elementem w cyfrowej transformacji przedsiębiorstw, mającego wpływ na działalność i ochronę cyfrowych zasobów przedsiębiorstwa.

### **Cyberbezpieczeństwo – konieczny obszar zarządzania przedsiębiorstwem**

Postępująca cyfryzacja stwarza nowe możliwości dla przedsiębiorstw we wszystkich branżach. Jednak wraz z nimi, jak z każdym rozwiązaniem technologicznym, pojawiają się też zagrożenia dla bezpieczeństwa. Cyberbezpieczeństwo oznacza sposoby zmniejszenia przez organizację ryzyka

cyberataków, ich potencjalnego wpływu na działalność oraz ochronę używanych urządzeń i usług. Elementem cyberbezpieczeństwa są strategie stosowane przez przedsiębiorstwa mające ochronić zasoby cyfrowe przed przejęciem przez cyberprzestępców. Strategie mogą obejmować technologię, procedury i inne środki zabezpieczające użytkowników, urządzenia i systemy. Mają one na celu m.in. zapobieganie niepowołanemu dostępowi do danych przechowywanych w sposób fizyczny lub online. Bezpieczeństwo informacji jest częścią obszaru mającego zapewnić cyberbezpieczeństwo zwłaszcza w systemach cyfrowego obiegu i zarządzania dokumentami.

Nie ma wątpliwości, że cyberbezpieczeństwo jest sprawą zasadniczą zarówno ze względu na pracę i funkcjonowanie przedsiębiorstw, jak i ze względu na powiązania z partnerami w łańcuchu dostaw .

Ochroną zasobów cyfrowych przedsiębiorstwa powinna zajmować się wydzielona komórka, niezależna od pracowników pionu informatyki. Nie są oni bowiem w stanie poświęcić wystarczającej uwagi kwestiom bezpieczeństwa, gdyż pracują pod presją terminów i wciąż nowych oczekiwań działań biznesowych i produkcyjnych. Cyberbezpieczeństwo i ochrona fizyczna powinny być umieszczone wspólnie „pod parasolem” działu bezpieczeństwa. Odpowiedzialność za ochronę firmowej infrastruktury IT i cyberbezpieczeństwo powinien ponosić wyznaczony członek zarządu.

Współczesna infrastruktura przemysłowa staje się coraz bardziej złożona, obsługiwana przez wiele podmiotów, połączona wzajemnie i zewnętrznie. Dlatego zarządzający zakładem przemysłowym powinni pozbyć się przekonania, że granica między strefą bezpieczną i niebezpieczną przebiega na fizycznym „ogrodzeniu” oddzielającym zakład od świata zewnętrznego, czy też firewallu na brzegu sieci zakładowej. Ta granica biegnie teraz często poprzez urządzenia i aplikacje, procesy i obszary, strefy dostępow i nie jest jednoznacznie wyznaczona. W czasach integracji systemów i ich interoperacyjności nie do utrzymania jest podział na systemy IT i OT, zapewnienie cyberbezpieczeństwa przy uzyciu „odłączenia od sieci internetowej”.

### **Cyberbezpieczeństwo w procesach wytwarzania produktów**

Przemysł 4.0 wymusza zmiany technologiczne, informatyczne i organizacyjne wywołane intensywną automatyzacją procesów oraz dogłębną cyfrową transformacją przemysłu, interoperacyjnością, gromadzeniem, wykorzystywaniem i analizą dużych zasobów danych. Oznacza to unifikację świata rzeczywistego maszyn ze światem wirtualnym Internetu Rzeczy i technologii informatycznych, obejmując wszystkie etapy związane z produktem: od złożenia zamówienia do usług poprodukcyjnych. Integracja systemów wytwórczych wskutek usieciowienia oddziałuje niemalże natychmiast na realizację procesu i to właśnie jest głównym elementem wygenerowania czwartej rewolucji przemysłowej. Cyfryzacja procesów przemysłowych

związana z przyjęciem koncepcji i idących za nią rozwiązań Przemysłu 4.0, upowszechnianiem urządzeń Internetu Rzeczy oraz pandemią COVID-19 wymuszającą pracę zdalną, która sprawiła, że firmy masowo zaczęły inwestować w tej sferze. Obecnie istotnym elementem budowania przewagi konkurencyjnej staje się cyberbezpieczeństwo.

Cyberbezpieczeństwo to proces – wdrażane zabezpieczenia muszą być spójne ze strategią biznesową firmy oraz stale uaktualniane ze względu na dynamicznie rozwijające się cyberzagrożenia.

Na cyberbezpieczeństwo należy patrzeć pod kątem wszystkich trzech elementów: prawnych, organizacyjnych i technicznych.

Ogromne koszty przestoju, kary za nieodpowiedni poziom zabezpieczenia danych, spadek reputacji przedsiębiorstw, utrata własności intelektualnej, paraliż funkcjonowania, czy wreszcie zupełna utrata klientów wywołana cyberincydentami to najpoważniejsze skutki cyberataków. Aby uniknąć zagrożeń, zakłady przemysłowe powinny przede wszystkim opracować odpowiednią politykę bezpieczeństwa. Zgodnie z nią np. każdy element systemu (w tym osoba czy program) powinien mieć dostęp tylko do tych informacji i zasobów, które są niezbędne do spełnienia wyznaczonego mu zadania. Należy także m.in. zadbać o system tworzący kopie zapasowe danych, odpowiednie oprogramowanie antywirusowe, integrację wdrażanych rozwiązań z istniejącymi już w firmie wersjami systemów i programów oraz odpowiednią aktualizację zarówno systemu operacyjnego, jak i aplikacji - także tych przemysłowych. Takie działania pozwalają zmniejszyć nie tylko ryzyko ataku, ale i nieintencjonalnej utraty danych produkcyjnych.

### **Zagrożenia dla cyberbezpieczeństwa**

Wraz z rozwojem Internetu pojawiła się konieczność dbania o cyfrowe bezpieczeństwo. Celem ataku może stać się każda firma i organizacja. Niezależnie od profilu działalności każda z nich przetwarza ogromne ilości danych cyfrowych – od danych osobowych klientów i pracowników, poprzez dane z firmowych systemów CRM (ang. Customer Relationship Management), po wrażliwą cyfrową własność intelektualną firmy. W znacznej większości właściciele firm nie przykładają dużej uwagi do zapewnienia odpowiedniego poziomu cyberbezpieczeństwa czy też przygotowania strategii bezpieczeństwa informatycznego firmy nie zdając sobie sprawy z negatywnych konsekwencji w przypadku wycieku danych, czy też skutecznego cyberataku.

Zagrożenia związane z cyberbezpieczeństwem można podzielić na zagrożenia zewnętrzne oraz wewnętrzne. W mediach najczęściej usłyszymy o tych pierwszych, kiedy to dochodzi do spektakularnego ataku hakerskiego, którego efektem jest np. wyciek danych milionów klientów którejs z wielkich korporacji. Jednakże coraz większy odsetek zagrożeń bezpieczeństwa IT firmy wynika z czynników wewnętrznych np. poprzez umyślne bądź przypadkowe ujawnienie wrażliwych danych przez pracowników firmy. Największym

wyzwaniem dot. ochrony przed zewnętrznymi zagrożeniami jest potrzeba ciągłego dostosowywania się do coraz częstszych oraz coraz bardziej wyrafinowanych metod ataków.

Istnieje wiele zagrożeń dla cyberbezpieczeństwa. Najczęstsze typy zagrożeń cyberbezpieczeństwa dla funkcjonujących przedsiębiorstw na rynku to:

- Malware (ang. „malicious software”), czyli złośliwe oprogramowanie, które często przedostaje się poprzez lukę w zabezpieczeniach systemu lub oprogramowania i próbuje uzyskać dostęp do wrażliwych danych bez świadomości użytkownika.
- Phishing, to kolejna metoda ataku za pośrednictwem poczty elektronicznej, tym razem oparta na socjotechnice. Ofiara phishingu otrzymuje wiadomość z linkiem do podszywającej się za realnie istniejącą strony internetowej, na której wymagane jest wprowadzenie danych użytkownika (np. poprzez logowanie do konta bankowego).
- Ransomware – wyjątkowo niebezpieczne dla sieci firmowych złośliwe oprogramowanie, za pomocą którego hakerzy blokują dostęp do danych poprzez ich asynchroniczne zaszyfrowanie i w zamian za jego przywrócenie żądają okupu. Ataki przeprowadzane są najczęściej poprzez załączniki wiadomości e-mail lub przestarzałe przeglądarki internetowe i dodatki.
- DDoS (Distributed Denial of Service) to rozproszony atak na systemy komputerowe lub usługę sieciową uniemożliwiający poprawne działanie poprzez zajęcie wszystkich wolnych zasobów.

### **Wybrane przykłady cyberataków przedsiębiorstw**

Obecna sytuacja zmusza przemysł do cyfryzacji rosnącej liczby procesów i obszarów. Inteligentna łączność i zdalne sterowanie wieloma urządzeniami w ramach Internetu Rzeczy (IoT) przekształca się w ważny czynnik w tym kontekście. Aby chronić urządzenia (IoT) przed cyberatakami, ich projekt i rozwój oraz ich bezpieczeństwo muszą zostać ujednolicone i wdrożone już na etapie projektowania poszczególnych urządzeń i całych systemów – zgodnie z koncepcją „security by design”.

Cyberatak może być wyprowadzony z dowolnego miejsca na kuli ziemskiej – dlatego cyberprzestępcy, zwłaszcza grupy odpowiedzialne za tzw. APT (ang. Advanced Persistent Threats), mogą zachować poczucie bezkarności. Niedawne ataki na przemysłowe obiekty wskazują, że zagrożenie obiektów infrastruktury krytycznej cyberatakami mającymi podłoże ideologiczne (terrorystyczne) lub polityczne jest już codziennością a koszt przygotowania i przeprowadzenia ataku jest niewspółmiernie niski w stosunku do kosztu oddziaływania metodami tradycyjnymi, takimi jak np. sabotaż. Równocześnie, efekt propagandowy może być duży, podczas gdy skutki polityczne i karne dla sprawców są znikome lub żadne, ze względu na znane trudności w wykryciu źródła ataku i wykazaniu



winy.

Jednym z przykładów cyberataku który spowodował paraliż całej firmy jest cyberatak na infrastrukturę IT Avonu. W czerwcu 2020 roku sklep Avon przestał działać gdyż cyberatak na infrastrukturę IT brazylijskiej firmy Natura & Co Group w skład której wchodzi Avon, spowodował wyciek danych wszystkich osób korzystających ze sklepu – konsultantek i ich klientek. Atak spowodował wyciek danych 250 tys. klientów firmy Avon i 40 tys. osób korzystających z usług firmy płatniczej Wirecard. Ich dane miały być publicznie dostępne przez ponad dwa tygodnie, a chodziło o takie wrażliwe informacje jak imię i nazwisko, adres zamieszkania, adres e-mail, płeć, data i miejsce urodzenia, numer telefonu, historia zakupów, dane konta, tokeny dostępowe do wirecard, dostępy API wraz z niezaszyfrowanymi hasłami. Atakujący mieli pozyskać również dane dostępowe do infrastruktury wewnętrznej spółki, co spowodowało, że wszystko zostało wyłączone, a cała łączność zależnych od brazylijskiej firmy systemów Avonu sparaliżowana.

Z uwagi na przebiegającą na naszych oczach czwartą rewolucję w przemyśle, wszechobecne IoT (ang. Internet of Things), kluczowe jest, w kontekście bezpieczeństwa technicznego instalacji przemysłowych, zwiększanie świadomości użytkowników związanej z zagrożeniami wynikającymi z cyberataków na sieci przemysłowe i systemy sterowania urządzeniami technicznymi. Reasumując, należy mieć na uwadze i być świadomym że zarówno częstotliwość, jak i wyrafinowanie cyberataków ciągle rośnie.

W ten sposób w opracowaniu przedstawiono cyberbezpieczeństwo jako integralny element w cyfrowej transformacji przedsiębiorstw, mającego decydujący wpływ na działalność i ochronę cyfrowych zasobów przedsiębiorstwa oraz zaprezentowanie wybranych przykładów cyberataków przedsiębiorstw.

Zagrożenie cybernetyczne dla procesów zarządczych i technologiczno-produkcyjnych w przedsiębiorstwach, rosnąca skala cyberzagrożeń, trend pracy zdalnej, sieć 5G i coraz częstsze wykorzystanie urządzeń IoT czy przyspieszająca transformacja chmurowa wymuszają na firmach wzrost zainteresowania bezpieczeństwem IT oraz adaptację do nowych trendów i technologii. Należy jednak zaznaczyć, że na całym świecie, tak jak i w Polsce, jednym z głównych ograniczeń w zapewnieniu właściwego poziomu bezpieczeństwa systemów IT są niewystarczające inwestycje w tym obszarze. Firmy wskazują zwyczajowo cyberbezpieczeństwo jako jeden z priorytetów, ale nie zawsze idą za tym konkretne wydatki i osobne wydzielone budżety na ten cel.

Wymienione przykłady cyberataków przeprowadzonych na przedsiębiorstwa ukazują, że tak jak rozwój danej technologii wpisany jest jako rozwój zagrożeń, tak samo w biznes wpisane jest ryzyko wystąpienia cyberataku, wycieku danych wrażliwych lub kradzieży własności intelektualnej i paraliżu działania firmy. Cyberataki na obecną chwilę stanowią spore zagrożenie nie tylko dla dużych

firm ale też dla średnich czy małych przedsiębiorstw. Należy pamiętać, że to właśnie atak na mniejszą i źle zabezpieczoną firmę może być częścią zaplanowanego ataku na duże globalne przedsiębiorstwo, ale współodpowiedzialną za ten udany atak będzie właśnie źle zabezpieczona mała firma. Większość ataków, które są obecnie przeprowadzone ukierunkowane są na pozyskanie danych, które następnie wykorzystuje się do zdobycia informacji strategicznych firm. Jednym z najsłabszych ogniw w systemach bezpieczeństwa to nie same systemy IT ale słabe narzędzia uwierzytelnienia oparte na hasłach, a na których muszą polegać ludzie i brak szyfrowania komunikacji.

Wnisokiem powinno być ciągłe budowanie świadomości cyberbezpieczeństwa we wszystkich rodzajach podmiotów – od MŚP po zakłady infrastruktury krytycznej i na wszystkich szczeblach organizacji – od zarządów po pracowników produkcji. Tylko zrozumienie korzyści płynących z odpowiednio zabezpieczonego, cyfrowego funkcjonowania firmy, stworzenie kultury cyberbezpieczeństwa pozwoli w pełni wykorzystać wszystkie możliwości i korzyści płynące z cyfrowej gospodarki w koncepcji Przemysłu 4.0.

A. OTAWA

Opole University of Technology (Poland)

## **BEZPIECZEŃSTWO ENERGETYCZNE POLSKI W KONTEKŚCIE ROZWOJU ENERGETYKI JĄDROWEJ**

W rozważaniach o budowie elektrowni jądrowych nie może zabraknąć szerokiego, interdyscyplinarnego podejścia do zagadnień bezpieczeństwa.

Z opublikowanej w październiku 2020 r. aktualizacji dokumentu „Program Polskiej Energetyki Jądrowej” (PPEJ) wynika, że pierwszy reaktor energetyczny ma zostać uruchomiony w 2033 r., a dalszych sześć w dwuletnich odstępach, tak by w 2043 r. zainstalowana moc w elektrowniach jądrowych wynosiła między 6 a 9 GWe. Rozpatrywane są dwie możliwe lokalizacje budowy elektrowni jądrowych – Lubiatowo Kopalino oraz Żarnowiec, a w dalszej kolejności lokalizacje aktualnie zajmowane przez elektrownie systemowe, jak Bełchatów oraz Pątnów.

Bardzo prawdopodobne jest, że pierwsza elektrownia atomowa w Polsce będzie prywatna – zostanie wybudowana przez dwóch miliarderów Zygmunta Solorza i Michała Sołowowa, którzy we wrześniu 2021 r. podpisali umowę dotyczącą współpracy w obszarze energetyki jądrowej. Planują wspólnie wybudować elektrownię jądrową na bazie aktywów ZE PAK (Zespołu Elektrowni Pątnów Adamów Konin SA). Na elektrownię złożą się od czterech do sześciu mikroreaktorów typu SMR. Jest to nowoczesna i bezpieczna amerykańska technologia tzw. małych reaktorów modułowych (SMR).

Budowa elektrowni jądrowych w Polsce to ogromne wyzwanie. Jest to projekt z bardzo szerokim horyzontem czasowym, obejmuje szereg obszernych zagadnień takich jak: plan cyklu życia elektrowni jądrowej, począwszy od wyboru technologii, poprzez jej budowę, eksploatację i składowanie odpadów promieniotwórczych, aż po wygaszenie ostatniego reaktora. Nad bezpieczeństwem przebiegu całej inwestycji czuwać będzie Państwowa Agencja Atomistyki (PAA). Ustawodawczym organem doradczym prezesa PAA jest z kolei Rada ds. Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej.

Projekt budowy elektrowni jądrowej powinien być starannie przygotowany, poprzedzony profesjonalnymi analizami całego sektora energetyki oraz innych źródeł energii. Powinna być również przeprowadzona dokładna analiza inwestycji pod kątem: opłacalności, wpływu na krajową sytuację ekonomiczno-gospodarczą, wymagań legislacyjnych, kwestii ochrony środowiska czy akceptacji społecznej. W rozważaniach o budowie elektrowni jądrowej nie może też zabraknąć szerokiego, interdyscyplinarnego podejścia do zagadnień

bezpieczeństwa. W niniejszych rozważaniach zostaną poruszone przede wszystkim najistotniejsze kwestie bezpieczeństwa energetycznego w Polsce związane z rozwojem energetyki jądrowej oraz aspekty bezpieczeństwa związane z logistyką paliwa jądrowego.

### **Bezpieczeństwo energetyczne Polski a energetyka jądrowa**

Jednym z głównych argumentów przemawiających za budową elektrowni jądrowych w Polsce jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego. Aktualnie termin bezpieczeństwo energetyczne jest używany często przez polityków, przedsiębiorców, ekspertów, naukowców i opinię publiczną. Jest to związane z faktem, iż dostęp do źródeł energii warunkuje możliwości rozwoju gospodarczego i technologicznego poszczególnych państw oraz wpływa na poziom uprzemysłowienia gospodarki i zamożności obywateli.

Pojęcie bezpieczeństwa energetycznego zostało zdefiniowane w ustawie *Prawo energetyczne* z 10 kwietnia 1997 r., jako: „stan gospodarki umożliwiający pokrycie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy zachowaniu wymagań ochrony środowiska”. Polityka prowadzona przez państwo w tym obszarze koncentruje się wokół zabezpieczenia całego systemu elektroenergetycznego przed zagrożeniem wystąpienia deficytów w dostępie do zasobów paliwowych oraz energii elektrycznej dotyczących zarówno obywateli, jednostek zaliczanych do systemu administracji państwowej, jak i wszelkich funkcjonujących na terenie państwa przedsiębiorstw. Pojęcie bezpieczeństwa energetycznego obejmuje wiele kwestii łączących: energię, wzrost gospodarczy i władzę polityczną. W przytoczonej definicji bezpieczeństwa energetycznego można wyszczególnić kilka jego wymiarów :

- wymiar ekologiczny,
- wymiar techniczny,
- wymiar polityczny,
- wymiar instytucjonalny,
- wymiar ekonomiczny,

każdy z których posiada pewne osobliwości w Polskich realiach i ma swoją specyfikę.

### **Aspekty bezpieczeństwa w logistyce paliwa jądrowego**

W definicji pojęcia bezpieczeństwa energetycznego bardzo często podkreśla się wagę bezpieczeństwa dostaw pierwotnych źródeł dla wytwarzania energii elektrycznej – węgla, gazu, ropy, uranu. Logistyka paliw to przede wszystkim ich transport i magazynowanie – łańcuch działań, który ma zapewnić ciągłość sprzedaży paliw. Logistyka paliw jest jednym z kluczowych elementów z punktu widzenia bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz rozwoju,

stabilności i konkurencyjności jego gospodarki.

Najprostszy system klasyfikacji paliw to podział na paliwa naturalne i sztuczne, ze względu na stan skupienia - na stałe, ciekłe i gazowe oraz ze względu na wartość opałową – nisko- i wysokokaloryczne. Odrębną grupę stanowi paliwo jądrowe. Funkcjonowanie elektrowni jądrowej wiąże się z zapewnieniem stabilnych dostaw paliwa uranowego dla reaktorów w ciągu całego okresu ich eksploatacji.

Polska, która pod względem geologicznych zasobów uranu jest dobrze poznana, posiada ich niewiele i są to jedynie zasoby rud ubogich. Według ocen Państwowego Instytutu Geologicznego krajowe złoża są zlokalizowane w trudnych warunkach geologiczno-górnicznych oraz środowisko-krajobrazowych i obecnie nie ma ekonomicznego uzasadnienia co do ich eksploatacji.

Wydobywany z zasobów geologicznych ziemi uran naturalny stanowi źródło pierwotne surowca niezbędnego do wytwarzania paliwa jądrowego. Uran, tak jak węgiel, wydobywa się spod ziemi. Ale w przeciwieństwie do węgla to, co zostaje wydobyte w kopalniach uranu, nie nadaje się jeszcze do użytku. Potrzeba wielu miesięcy, zanim ruda zamieni się w sprasowane tabletki tlenku uranu i znajdzie się we wnętrzu reaktora. Od momentu wydobywania rudy lub innego nośnika uranu zaczyna się cykl paliwowy energetyki jądrowej. Cykl paliwowy obejmuje cały cykl życia paliwa jądrowego (uranu w odpowiedniej formie) i składa się kolejno z:

1. wydobywania (poprzedzonego identyfikacją złóż) i przeróbki rud uranu,
2. produkcji paliwa jądrowego i umieszczenia go w elementach paliwowych,
3. procesów zachodzących w reaktorze,
4. czasowego składowania zużytego paliwa,
5. recyklingu (etap opcjonalny),
6. postępowania z odpadami radioaktywnymi.

Wybór producenta paliwa jądrowego jest zadaniem bardzo odpowiedzialnym i ma swoje ograniczenia. Wiele z krajów będących w posiadaniu znaczących zasobów uranu jest dla Polski bezpiecznymi partnerami, co jest ważne w kontekście bezpieczeństwa energetycznego. Obecnie działają kopalnie odkrywkowe, podziemne oraz takie, w których rudę uranu wmywa się czynnikiem rozpuszczającym. Pewną ilość uranu uzyskuje się też jako produkt uboczny w kopalniach miedzi i srebra (np. w Australii). Rozważając kwestię zapewnienia wymaganej ilości paliwa jądrowego do reaktorów w długim, a nawet bardzo długim, okresie czasu należy:

- określić zapotrzebowanie na paliwo reaktorowe, a następnie przyjmując pewne założenia określić potrzebne ilości uranu naturalnego (NU) oraz wymaganą ilość usług frontowego cyklu paliwowego począwszy od konwersji koncentratu uranu,
- ocenić możliwe źródła uranu naturalnego,
- ocenić możliwości wykorzystania źródeł wtórnych, które mogą zapewnić ekwiwalent uranu naturalnego (NUE) i przez to zmniejszyć

- zapotrzebowanie na uran naturalny oraz na wielkość niezbędnych usług w zakresie konwersji i wzbogacania izotopowego,
- ocenić możliwości zapewnienia koniecznych usług cyklu paliwowego: konwersji, wzbogacania izotopowego oraz wytwarzania gotowego paliwa (wraz z re-konwersją fluorku uranu UF<sub>6</sub>),
  - ocenić wpływ możliwych zmian przyjętych założeń na wielkość zapotrzebowania aby znaleźć odpowiedź przy spełnianiu jakich warunków, oraz w jakim stopniu można to zapotrzebowanie zmniejszyć.

Dostęp do usług wzbogacania izotopowego, podobnie jak pewność dostaw uranu, ma kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa zapewnienia paliwa do elektrowni jądrowych.

Gdy jest już możliwy transport gotowego paliwa jądrowego to jest ono przewożone w specjalistycznych pojemnikach zaprojektowanych tak, by zapewnić bezpieczeństwo nie tylko podczas normalnego transportu, ale i po awariach (wypadkach). Pojemniki muszą spełniać rygorystyczne wymagania bezpieczeństwa określone w przepisach Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. W szczególności, pojemniki typu B służące do przewozu paliwa wypalonego drogą lądową lub wodną, muszą być odporne na wszelkie możliwe wypadki podczas transportu. Seria testów pojemnika typu B i C obejmuje następujące próby:

- uderzenie pociągu jadącego z pełną prędkością w zaporę betonową,
- uderzenia pociągu w bok pojemnika,
- upadek pojemnika B z wysokości 9 m na twardą powierzchnię betonową,
- odporność na przebicie prętem metalowym,
- pożar,
- zatopienie pojemnika.

Podczas transportu paliwa musi być obecny przedstawiciel dozoru jądrowego. Paliwo jądrowe musi być zabezpieczone przed zagrożeniem terrorystycznym, przed potencjalną kradzieżą. Terminy, trasy przewozów są objęte tajemnicą. Kontenery zawierające materiały promieniotwórcze muszą być opatrzone specjalnymi znakami pozwalającymi na identyfikację zagrożenia jakie mogą wywołać. Regulują to odpowiednie przepisy prawne m.in. przepisy Umowy Europejskiej ADR.

Wypalone paliwo jądrowe jest najpierw umieszczane nawet na kilka lat w basenie znajdującym się obok reaktora gdzie traci swoją temperaturę i obniża aktywność. Następnie jest transportowane do miejsc składowania w specjalnych kontenerach, zapewniających osłonę przed promieniowaniem i odprowadzenie ciepła. Za najbardziej odpowiednie naukowcy uznają głębokie wyrobiska w skałach solnych, w których sól kamienna pozwala na skuteczne odprowadzanie ciepła, a jednocześnie jest łatwa do drażenia. Odpady można składować też w iłach i granitach. Powinny się znaleźć na głębokości 500-600 metrów pod ziemią. Niekoniecznie będzie musiał powstać w Polsce zakład przerobu wypalonego paliwa. Międzynarodowe umowy nie nakładają na nasz kraj

obowiązku przerabiania paliwa u siebie. Możemy to robić np. w Niemczech lub Francji. To, co jednak po takim przerobie pozostanie musi być składowane w Polsce.

W ten sposób inwestycje w energetykę jądrową oraz jej rozwój w Polsce mogą przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego kraju. Należy dołożyć wszelkich starań, aby w naszym kraju powstała nowoczesna, a zarazem bezpieczna, elektrownia jądrowa. Pokrycie wzrastającego zapotrzebowania na energię w najbliższych dekadach w Polsce może nie być możliwe bez budowy elektrowni jądrowych. Oczywiście zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego Polski wymaga wykorzystania nie tylko opcji jądrowej a wszystkich opcji energetycznych tj.: opcji węglowej, opcji gazowej oraz opcji wykorzystania energii odnawialnej, pamiętając przy tym, że realne możliwości pokrycia przez nią naszego zapotrzebowania na energię są niewielkie.

Ważną kwestią podkreślaną w rozważaniach o bezpieczeństwie energetycznym jest bezpieczeństwo dostaw paliw. Logistyka związana z pozyskiwaniem i składowaniem paliwa jądrowego jest przedsięwzięciem skomplikowanym, obciążonym pewnym ryzykiem i wymagającym specjalistycznej wiedzy. W najbliższych latach Polska będzie musiała zmierzyć się z tymi wyzwaniami, ponieważ plany budowy elektrowni atomowych w Polsce nabierają realnych kształtów. Kluczowe znaczenie będzie miała jakość paliwa reaktorowego dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy reaktora, dlatego najlepiej będzie jeżeli dostawca technologii reaktorowej będzie także dostawcą paliwa przynajmniej na pierwszy załadunek i kilka kolejnych przeładunków. W międzyczasie będzie można wybrać dostawców na lata późniejsze, stosując zasadę ich dywersyfikacji na kolejnych etapach cyklu paliwowego. Można oczekiwać, że taka strategia zostanie przyjęta przez polskiego inwestora. Nie ma obawy, by kiedykolwiek zabrakło surowca paliwowego, tj. uranu lub jego ekwiwalentu, do planowanych w Polsce reaktorów jądrowych. Na pewno będzie musiał on pochodzić z importu, jednak jego podaż pochodzi z bezpiecznych kierunków, jest regulowana przez mechanizmy rynkowe i udział wtórny.





# **I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH**





D. PĄCZKO

Opole University of Technology (Poland)

**WARUNKI WYSTARCZAJĄCE REGULARNOŚCI LINIOWYCH  
ROZSZERZEŃ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH**

Referat ten dotyczy zastosowania funkcji Lapunowa o zmiennym znaku w badaniu regularności liniowych rozszerzeń układów dynamicznych. Podano warunki wystarczające istnienia funkcji Greena zadania o ograniczonych rozwiązaniach liniowych układów równań różniczkowych.

**SUFFICIENT CONDITIONS FOR REGULARITY OF LINEAR  
EXTENSIONS OF DYNAMICAL SYSTEMS**

This chapter deals with the application of variable sign Lyapunov functions in the study of regularity of linear extensions of dynamical systems. Sufficient conditions for the existence of the Green's function of a problem with bounded solutions of linear systems of differential equations are given.

B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, K. DROGOMYRETS'KA<sup>3</sup>, U. ZHYDYK<sup>3</sup>,  
O. ORYSHCHYN<sup>3</sup>, A. SHAYNER<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> National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

### **MATHEMATICAL METHODS FOR DETERMINING THE TEMPERATURE FIELD PREHEATED TO A SET TEMPERATURE OF AN INHOMOGENEOUS ISOTROPIC CYLINDRICAL SHELL**

Using the hypothesis of the temperature distribution over the thickness of the shell, a system of initial equations for the integral characteristics of temperature for an inhomogeneous isotropic shell of an arbitrary geometric configuration is obtained by a linear law. As a special case, a system of two-dimensional equations for the integral characteristics of the temperature of a cylindrical inhomogeneous isotropic shell is written. For a cylindrical shell finite in length, using a double finite Fourier transform in spatial coordinates and an integral Laplace transform in a time variable, expressions for the required integral characteristics are obtained and a general solution to the heat conduction problem is written. An expression for the temperature field is found for a finite cylindrical shell of an inhomogeneous isotropic material preheated to a predetermined temperature, which is under conditions of convective heat exchange with the external environment. The temperature field of a cylindrical shell made of an isotropic inhomogeneous cermet on its outer surface is analyzed numerically, depending on the values of the axial and circular coordinates for different values of the dimensionless time and a given coefficient of inhomogeneity. The dependence of the temperature field in the center of the heating region on the dimensionless time is investigated for various values of the heat transfer coefficient.

### **MATEMATYCZNE METODY PRZY WYZNACZANIU POLA TEMPERATURY W NIEJEDNORODNEJ IZOTROPOWEJ POWŁOCE WALCOWEJ POPRZEDNIO NAGRZEWANEJ DO ZADANEJ TEMPERATURY**

Z wykorzystaniem liniowego rozkładu temperatury na grubości powłoki, otrzymano układ wyjściowych równań dla całkowitych charakterystyk temperatury dla niejednorodnej izotropowej powłoki o dowolnej konfiguracji geometrycznej. Jako szczególny przypadek zapisano układ dwuwymiarowych

równań względem integralnych charakterystyk temperatury dla cylindrycznej niejednorodnej powłoki izotropowej. Dla cylindrycznej powłoki o skończonej długości, z wykorzystaniem podwójnej skończonej transformacji Fouriera we współrzędnych przestrzennych i całkowitej transformacji Laplace'a, otrzymane wyrażenia dla charakterystyk całkowych i ogólne. Rozwiązanie podano dla końcowej cylindrycznej powłoki z niejednorodnego materiału izotropowego, wstępnie podgrzanej do zadanej temperatury. Powłoka przebywa w warunkach konwekcyjnej wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym. Zbadano również została zależność temperatury w środku obszaru grzewczego od czasu bezwymiarowego przy wartościach współczynnika wymiany ciepła i zadanego współczynnika niejednorodności znajduje się wyrażenie na pole temperatury. W zależności od wartości współrzędnych osiowych i kołowych dla różnych wartości czasu bezwymiarowego  $i$ , analizuje się numerycznie pole temperatury powłoki cylindrycznej wykonanej z izotropowego niejednorodnego cermetalu na jej zewnętrznej powierzchni. Dla różnych wartości współczynnika przenikania ciepła badana jest zależność pola temperatury w centrum obszaru grzewczego od czasu bezwymiarowego.

U. ZHYDYK<sup>1</sup>, B. KUSHKA<sup>1</sup>, R. MUSII<sup>1,2</sup>, I. SVIDRYK<sup>1</sup>,  
A. STANIK-BESLER<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)

### **DETERMINATION AND INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE FIELD IN AN ORTHOTROPIC LAYERED CYLINDRICAL SHELL OF A REGULAR SYMMETRIC STRUCTURE WITH ITS LOCAL HEATING BY CONVECTIVE HEAT EXCHANGE**

The problem of thermal conductivity for an inhomogeneous anisotropic shell, the material of which is inhomogeneous in thickness and anisotropic with one plane of thermal symmetry, is formulated. A two-dimensional mathematical model for determining the temperature field in the considered thin-walled shell is proposed. Using the double finite Fourier transform in coordinates and the Laplace integral in time, a general solution of the nonstationary thermal conductivity problem is written for it. The temperature distribution in the graphite epoxy composite shell during its local heating is numerically analyzed.

### **WYZNACZANIE I BADANIE POLA TEMPERATURY W ORTOTROPOWEJ WARSTWOWEJ POWŁOCE WALCOWEJ PRZY LOKALNYM NAGRZEWANIU**

Sformułowano zagadnienie przewodnictwa cieplnego dla powłoki, materiał której jest niejednorodny względem grubości i anizotropowy z jedną płaszczyzną symetrii termicznej. Zaproponowano dwuwymiarowy model matematyczny dla wyznaczania pola temperatury w rozpatrywanej powłoce cienkościennej. Zapisano ogólne rozwiązanie zagadnienie niestacjonarnego przewodnictwa cieplnego z wykorzystaniem podwójnej skończonej transformaty Fouriera względem współrzędnych oraz transformaty Laplace’a w czasie. Przeanalizowano numerycznie rozkład temperatury w powłoce kompozytu grafitowo-epoksydowego podczas jego lokalnego nagrzewania.

K. GHAZARYAN<sup>1</sup>, N. MELNYK<sup>2</sup>, R. MUSII<sup>2</sup>,  
O. SYDORCHUK<sup>2</sup>, R. TERLETS'KYI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Mechanics NAS of Armenia (Armenia)

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

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

**FIZYCZNE I MATEMATYCZNE PODSTAWY TEORII  
DYNAMICZNYCH PROCESÓW TERMOMECHANICZNYCH W  
CIELE PRZEWODZĄCYM ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY  
ODDZIAŁYWANIU MIKRO- I NANOSEKUNDOWYCH IMPULSÓW  
ELEKTROMAGNETYCZNYCH**

Przedstawiono termodynamiczne podstawy teorii procesów termosprężystych w ciele przewodzącym elektryczność przy oddziaływaniu impulsowych pól elektromagnetycznych. Zaproponowano model fizyczno-matematyczny określania pól temperatury i naprężeń w ciele przewodzącym przy takich oddziaływaniach. Model ten oparty na znanych danych doświadczalnych dotyczących adiabatyczności procesów nagrzewania i odkształcania ciała przewodzącego przy działaniu impulsowych pól elektromagnetycznych. Badane są prawidłowości dynamicznych procesów termomechanicznych w płycie przewodzącej przy mikro- i nanosekundowych impulsach.

**PHYSICAL AND MATHEMATICAL FUNDAMENTALS OF THE THEORY OF  
DYNAMIC THERMOMECHANICAL PROCESSES IN AN  
ELECTROCONDUCTIVE BODY UNDER THE ACTION OF ELECTROMAGNETIC  
PULSES OF MICRO- AND NANOSECOND DURATION**

The thermodynamic bases of the theory of thermoelastic processes in an electroconductive body under the action of pulsed electromagnetic fields are stated. On this basis, a physical and mathematical model for determining the temperature fields and stresses in an electroconductive body under such electromagnetic actions is proposed. This model is based on the use of known experimental facts about the adiabatic processes of heating and deformation of an electroconductive body under the action of pulsed electromagnetic fields. The regularities of dynamic thermomechanical processes in an electroconductive plate under the action of electromagnetic pulses of micro- and nanosecond duration are studied.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, T. KOZAKEVYCH<sup>2</sup>, T. WOŁCZAŃSKI<sup>1</sup>,  
V. KUKAREKO<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> State Scientific Institution «United Institute of Mechanical Engineering  
of the National Academy of Sciences of Belarus» (Belarus)

**SELECTED MATERIAL-MATHEMATICAL ASPECTS BY  
DETERMINATION OF RESIDUAL AND STRUCTURAL STRESS  
STATES OF STEEL PLATES SUBJECTED TO HEATING AND  
COOLING**

The material-mathematical aspects arising by determination of residual and structural stress states of low-alloy low-carbon steel plates subjected to high-temperature heating by moving normally distributed heat sources with several localization centers, as well subsequent monotonic cooling, taking into account some additional thermal and technological factors, are discussed.

**WYBRANE MATERIAŁOZNAWCZO-MATEMATYCZNE ASPEKTY PRZY  
WYZNACZANIU SZCZĄTKOWEGO STANU STRUKTURALNEGO I  
SPRĘŻYSTEGO STALOWYCH PŁODZENIU**

Omówione zostały materiałoznawczo-matematyczne aspekty, powstające przy szczątkowego stanu strukturalnego i sprężystego niskostopowych małowęglowych płyt stalowych przy wysokotemperaturowym nagrzewaniu przez ruchome normalnie rozłożone źródła ciepła posiadające wielu środków lokalizacji oraz następnym monotonicznym chłodzeniu, a również z uwzględnieniem przy tym istniejącym pewnych dodatkowych termicznych i technologicznych czynników.



R. IVAS'KO<sup>1</sup>, N. MELNYK<sup>2</sup>, R. MUSII<sup>2</sup>, O. SENKOVYCH<sup>2</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

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

## **DETERMINATION AND STUDY OF THERMAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF BIMETALLIC TUBULAR ELEMENTS UNDER IMPULSE ELECTROMAGNETIC IMPACT**

The mathematical formulation of the dynamic problem of thermomechanics for a long hollow bimetallic cylinder under a uniform non-stationary electromagnetic action is presented. The axial component of the magnetic field strength vector, the temperature and the radial component of the displacement vector in each composite layer of the cylinder under consideration were selected as the determining functions. A method is proposed for solving the formulated components of the problems of electrodynamics, thermal conductivity and thermoelasticity, which uses the approximation of the determining functions in each component layer by a quadratic polynomial in the radial variable. In this case, the original initial-boundary value problems for determining functions are reduced to the corresponding Cauchy problems for the characteristics of these functions that are integral with respect to the radial variable. General solutions of the formulated problems are obtained in the form of convolutions of functions that express the given boundary values of the defining functions and homogeneous solutions of the Cauchy problems. The thermal and mechanical properties, as well as the serviceability of bimetallic tubular elements under the influence of an electromagnetic impulse, have been investigated. The limiting values of the parameters of the electromagnetic impulse are obtained, when exceeding which the bimetallic cylinder loses its performance as a structural element.

## **WYZNACZANIE I BADANIE WŁAŚCIWOŚCI TERMICZNYCH I MECHANICZNYCH ELEMENTÓW RUROWYCH BIMETALICZNYCH PRZY IMPULSOWYM ODDZIAŁYWANIU ELEKTROMAGNETYCZNYM**

Sformułowano dynamiczne zagadnienie termomechaniki dla długiego wydrążonego cylindra bimetalicznego przy równomiernym niestacjonarnym oddziaływaniu elektromagnetycznym. Jako funkcje determinujące wybrano składowę osiową wektora natężenia pola magnetycznego, temperaturę oraz

składowę promieniową wektora przemieszczenia w każdej warstwie kompozytowej rozpatrywanego cylindra. Zaproponowano metodę rozwiązywania sformułowanych składowych zagadnień elektrodynamiki, przewodnictwa cieplnego i termosprężystości, w której wykorzystano aproksymację funkcji determinujących w każdej warstwie składowej przy pomocy wielomianu kwadratowego względem zmiennej promieniowej. Ogólne rozwiązania sformułowanych zagadnień uzyskano w postaci splotów funkcji wyrażających zadane wartości brzegowe poszukiwanych funkcji oraz jednorodne rozwiązania zagadnień Cauchy'ego. Zbadano właściwości termiczne i mechaniczne, nośność bimetalicznych elementów rurowych przy impulsie elektromagnetycznym oraz wartości graniczne parametrów impulsu elektromagnetycznego (po przekroczeniu których cylinder traci wydajność jako element konstrukcyjny).

V. LENKO, Y. SHCHERBYNA

National University “Lviv’ska Politechnika” (Ukraine)

### **SYSTEM ZARZĄDZANIA OSOBISTĄ WIEDZĄ**

Te opracowanie poświęcone jest omówieniu systemu zarządzania wiedzą osobistą. Podkreśla się wagę problemu i brak istniejących rozwiązań technicznych. Analiza zadań zapewnia przegląd najnowszych wydarzeń w obszarze zainteresowań i opisuje sposób dekompozycji zadań. Reprezentacja wiedzy (KR) wydaje się być podstawowym podzadaniem do rozważania, dlatego też prezentowane są najczęściej używane techniki KR, w tym modele oparte na logice, ramkach, produkcji i sieciach semantycznych.

### **PERSONAL KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEMS**

This chapter is dedicated to the task of personal knowledge management. The importance of the issue and a lack of existing technical solutions are emphasized. Task analysis provides an overview of the most recent developments in the area of interest and describes a way of task decomposition. Knowledge representation (KR) appears as a primary sub-task to be considered, thus the most widely used KR techniques are presented, including logic-based, frame-based, production-based models and semantic networks.

A. KOZIARSRA

Opole University of Technology (Poland)

**THE IMPACT OF DISTANCE LEARNING ON ALUMNI  
SURVEY RESULTS OF THE FACULTY OF PRODUCTION  
ENGINEERING AND LOGISTICS**

The aim of this study is to investigate the influence of educational conditions (traditional vs. distance) on the results of surveys of graduates of Opole University of Technology from the Faculty of Production Engineering and Logistics. The subject of the study is the results of questionnaires collected in February 2020 by the Student Service Centre in paper form and the results collected electronically after the winter semester of 2020/2021. The winter semester of the academic year 2020/2021 was conducted using distance learning techniques therefore comparing the results of questionnaires after the winter semester of the academic year 2019/2020 and 2020/2021, will allow us to assess whether the opinions of graduates depend on the conditions of education. Descriptive statistics and mathematical statistics methods were used in the analysis.

**WPLYW KSZTAŁCENIA NA ODLEGŁOŚĆ NA WYNIKI ANKIET  
ABSOLWENTÓW WYDZIAŁU INŻYNIERII PRODUKCJI I LOGISTYKI PO**

Celem pracy jest zbadanie wpływu warunków kształcenia (tradycyjne vs. na odległość) na wyniki ankiet absolwentów Politechniki Opolskiej z Wydziału Inżynierii Produkcji i Logistyki. Przedmiotem badania są wyniki ankiet zebrane w formie papierowej w lutym 2020 roku przez Centrum Obsługi Studenta po obronach prac dyplomowych w semestrze zimowym 2019/2020 oraz wyniki ankiet zebrane elektronicznie po semestrze zimowym 2020/2021. Semestr zimowy roku akademickiego 2020/2021 prowadzony był z zastosowaniem technik kształcenia na odległość dlatego porównanie wyników ankiet po semestrze zimowym roku akademickiego 2019/2020 oraz 2020/2021, pozwoli ocenić czy opinie absolwentów są zależne od warunków kształcenia. W analizie wykorzystano metody statystyki opisowej i statystyki matematycznej.

Z. SZYLICKA, M. WIATR

Opole University of Technology (Poland)

**REMOTE TEACHING OF MATHEMATICS SUBJECTS IN THE  
SUMMER SEMESTER 2020/21 AT THE OPOLE UNIVERSITY OF  
TECHNOLOGY**

Due to the COVID-19 pandemic, classes at universities have been held remotely from March 2020. Opole University of Technology used the Moodle platform. At the end of the summer semester of 2020/21, a survey was conducted among first-year students of the Opole University of Technology on teaching mathematics subjects. We asked about the e-learning platforms that students used before university, and whether the university platform was more difficult than others they used. Elements facilitating or making it difficult for students to write tests were examined. We also asked about the methods of verifying the knowledge and skills of students during remote classes and how much time students need to send a file with the solution of the task. The results of the survey are presented and analysed in this chapter.

**NAUCZANIE ZDALNE PRZEDMIOTÓW MATEMATYCZNYCH  
W SEMESTRZE LETNIM 2020/21 NA POLITECHNICIE OPOLSKIEJ**

Z powodu pandemii COVID-19 prowadzenie zajęć na uczelniach odbywało się w trybie zdalnym od marca 2020r., na Politechnice Opolskiej przy użyciu platformy Moodle. Pod koniec semestru letniego 2020/21 przeprowadzono wśród studentów pierwszego roku Politechniki ankietę dotyczącą nauczania przedmiotów matematycznych. Zapytano o platformy do nauki zdalnej używanej przed podjęciem studiów oraz czy uczelniana platforma Moodle sprawiła im większą trudność niż używane wcześniej. Badano także elementy ułatwiające i utrudniające studentom pisanie sprawdzianów. Zapytano też o sposoby weryfikacji wiedzy i umiejętności studentów w czasie zajęć zdalnych oraz ile czasu studenci uważają, że potrzebują na wysłanie pliku z rozwiązaniem zadania. Wyniki ankiety przedstawiono w tym rozdziale i poddano analizie.

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

Opole University of Technology (Poland)

**FIRST-YEAR STUDENTS OF THE OPOLE UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY ON MATH  
COURSES IN 2018/19 AND 2020/21**

The aim of the proceeding is to examine how the needs of students of the Opole University of Technology for teaching mathematics have changed over the last two years. The surveys conducted in 2019 and 2021 among first-year students of the Opole University of Technology from the 2018/2019 and 2020/2021 academic years, respectively, were analysed. The text also contains the description of the new challenges and difficulties that have arisen in connection with remote teaching.

**STUDENCI PIERWSZEGO ROKU POLITECHNIKI OPOLSKIEJ NA  
PRZEDMIOTACH MATEMATYCZNYCH W LATACH 2018/19, 2020/21**

Celem pracy jest zbadanie jak zmieniły się potrzeby dotyczące nauczania przedmiotów matematycznych studentów Politechniki Opolskiej na przestrzeni ostatnich dwóch lat. Analizowano ankiety przeprowadzone w latach 2019 i 2021 wśród studentów pierwszego roku Politechniki Opolskiej odpowiednio z roku akademickiego 2018/2019 i 2020/2021. Zawarto również opis nowych wyzwań i trudności, które pojawiły się w związku z nauczaniem zdalnym.

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







L. HAYEVSKA<sup>1</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, A. KOZIARSKA<sup>2</sup>, B. TRISHCH<sup>3</sup>

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

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

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

## **THE PROBLEM OF THERMAL ELASTICITY IN OPTIMIZING THE MODES OF TECHNOLOGICAL HEATING OF GLASS SHELLS**

An initial problem of thermoelasticity of a deformable solid (direct problem) is formulated, which describes thermal and mechanical processes in glass shells when optimizing heating modes, taking into account their characteristic thermal sensitivity of the coefficient of thermal expansion.

## **ZAGADNIENIE TERMOSPĘŻYSTOŚCI PRZY OPTYMALIZACJI PRZEBIEGÓW NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO SZKLANYCH POWŁOK**

Sformułowane zostało wyjściowe zagadnienie termosprężystości odkształcalnego ciała stałego (zagadnienie proste) opisujące cieplne oraz mechaniczne procesy w powłokach przy optymalizacji przebiegów nagrzewania z uwzględnieniem charakternej dla nich termoczułości współczynnika rozszerzalności cieplnej.

V. VESTIAK<sup>1</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>2</sup>, A. RAWSKA-SKOTNICZNY<sup>3</sup>,  
I. CHUPYK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies)  
(Russia)

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

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

### **MODEL REPRESENTATIONS FOR THE AXISYMMETRIC PROBLEM OF THERMOMECHANICS OF GLASS SHELLS**

The initial direct problem of mechanics of a deformable solid, formulated in the previous chapter, describing thermal and mechanical processes in shells, is given for the case often encountered in engineering practice when the values under consideration do not depend on one of the spatial coordinates.

### **MODELOWE PRZEDSTAWIENIA DLA OSIOWOSYMETRYCZNEGO ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI POWŁOK SZKLANYCH**

Sformułowane w poprzednim rozdziale wyjściowe zagadnienie proste termomechaniki odkształcalnego ciała stałego, opisujące procesy cieplne i mechaniczne w kawałkami jednorodnych powłokach szklanych przy optymalizacji przebiegów nagrzewania, określone jest dla przypadku zależności wyjściowych niezależnych od jednej z przestrzennych współrzędnych (zagadnienie osiowosymetryczne).

M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, O. HUMENCHUK<sup>1</sup>,  
V. MOZHAROVSKYI<sup>2</sup>, B. CHORNYI<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> Gomel State University (Belarus)

<sup>3</sup> Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
(Ukraine)

### **MODELING AND DETERMINATION OF THERMOSTRESSED STATE OF A CLOSED CYLINDRICAL SHELL MADE OF FRAGILE MATERIAL UNDER SELECTED HEATING CONDITIONS**

A variant of the mathematical model and numerical analytical method for determining the thermally stressed state of a closed cylindrical shell made of a brittle material, in particular glass, heated by the temperature from the side of the upper base and under different conditions of heat transfer on the inner one, is presented. In this case, one proceeds from the unconnected theory of thermoelasticity of thin shells with a thermosensitive coefficient of thermal expansion of the material, and a cubic distribution of temperature along the thickness coordinate is taken.

### **MODELOWANIE I WYZNACZANIE STANU TERMOSPŁĘŻYSTEGO ZAMKNIĘTEJ POWŁOKI WALCOWEJ WYKONANEJ Z MATERIAŁU KRUCHIEGO PRZY WYBRANYCH WARUNKACH NAGRZEWANIA**

Opracowany został wariant modelu matematycznego oraz numeryczno-analitycznej metodyki wyznaczania stanu termosprężystego zamkniętej powłoki walcowej, wykonanej z materiału kruchego, w szczególności szkła. Powłoka ta jest nagrzewana przez temperaturę środowiska ze strony górnej podstawy i przy różnych warunkach wymiany ciepła na dolnej podstawie. Przy tym za wyjściową przyjmowana jest niepowiązana teoria termosprężystości cienkich powłok przy termoczułym współczynniku rozszerzalności cieplnej materiału oraz aproksymacja temperatury względem grubości przy pomocy wielomiana trzeciego stopnia.

S. BUDZ, M. HACHKEYVYCH, R. IVAS'KO,  
A. TORS'KYI

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

**MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING  
TEMPERATURE IN A TWO-LAYER SHELLS WITH ITS CUBIC  
DISTRIBUTION OVER THE THICKNESS OF LAYERS**

A mathematical model for determining the temperature in a two-layer shell with convective heating and heat sources, based on a cubic approximation of the temperature over the thickness of each composite layer, has been constructed. Considered is a shell thermally insulated on the inner base by the heated temperature from the side of the outer base.

**MODEL MATEMATYCZNY WYZNACZANIA TEMPERATURY W  
DWUWARSTWOWYCH POWŁOKACH W PRZYBLIZENIU JEJ ROZKŁADU  
WIELOMIANEM TRZECIEGO STOPNIA WZGLĘDEM GRUBOŚCI WARSTW**

Opracowany został model matematyczny wyznaczenia temperatury w dwuwarstwowej szklanej powłoce przy nagrzewaniu przez konwekcję oraz źródła ciepła. Model oparty został na przedstawieniu rozkładu temperatury w składowych warstwach przy pomocy wielomiana trzeciego stopnia względem grubościowej współrzędnej. Rozważano powłokę o izolacji cieplnej wewnętrznej podstawy. Powłoka nagrzewana jest ze strony zewnętrznej podstawy przy zadanej jej temperaturze.

B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, M. HACHKEVYCH<sup>2</sup>,  
O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, V. MISHCHENKO<sup>2</sup>

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

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

**ON THE INFLUENCE OF THE CONDITIONS OF FIXING THE END  
SECTIONS OF THE CYLINDRICAL SHELL ON THE OPTIMUM  
TEMPERATURE FIELDS OF ANNEALING**

A mathematical model and an algorithm for constructing optimal temperature fields of local tempering for a finite cylindrical shell under various conditions of end sections fixing are proposed.

**DO WPŁYWU WARUNKÓW ZAMOCOWANIA KRAŃCÓW POWŁOKI  
WALCOWEJ NA OPTYMALNE TEMPERATUROWE POLA WYŻARZANIA**

Zaproponowany został model matematyczny i algorytm rozbudowy optymalnych pol temperatury lokalnego wyżarzania dla skończonej walcowej powłoki przy różnych warunkach zamocowania krańców.

M. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
R. KUSHNIR<sup>1</sup>, D. TARLAKOVSKII<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies),  
Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State University (Russia)

### **OPTIMIZATION WITH RESPECT TO STRESS STATE OF THE ANNEALING MODES OF THERMAL SENSITIVE GLASS ELEMENTS OF STRUCTURES**

A mathematical model based on numerical methods of local variations and least squares and a method for optimizing the annealing modes of thermosensitive glass structural elements simulated by a plate of constant thickness using convective heating and heat sources is constructed. As an example, the optimal modes of annealing of specific glass plates are investigated.

### **OPTYMALIZACJA WZGLĘDEM STANU NAPRĘŻEŃ PRZEBIEGÓW WYRZAŻANIA TERMOCZUŁYCH SZKLANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI**

Rozbudowano, oparty na numerycznych metodach lokalnych wariacji oraz najmniejszych kwadratów, model matematyczny oraz metodę optymalizacji względem stanu naprężeń przebiegów wyżarzania termoczulych szklanych elementów, które modelowane są przez płyty o stałej grubości, przy pomocy nagrzewania konwekcyjnego oraz źródeł ciepła. Jako przykład zbadane są optymalne przebiegi wyżarzania konkretnych szklanych płyt.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>1</sup>,  
R. TERLETS'KYI<sup>2</sup>, B. CHORNYI<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> Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
(Ukraine)

**MODELING PROBLEMS OF ELECTROMAGNETIC FIELD AND  
FACTORS OF ITS IMPACT IN ELECTRIC CONDUCTING SOLIDS  
SUBJECTED TO INDUCTION HEATING**

Problems of modeling and description of a quasi-steady electromagnetic field in electrically conductive solids subjected to induction heating are analyzed, as well as the peculiarities of formulating initial problems of mathematical physics of determining parameters of these fields and establishing factors of their effect on the material environment.

**PROBLEMY MODELOWANIA I OPISU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO  
ORAZ CZYNNIKÓW JEGO ODDZIAŁYWANIA W CIAŁACH PRZEWODZĄCYCH  
ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM**

Omówione zostały problemy modelowania i opisu quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego w ciałach przewodzących elektryczność przy nagrzewaniu indukcyjnym, a również osobliwości formułowania wyjściowych zagadnień fizyki matematycznej o wyznaczaniu parametrów tych pól oraz ustalenia czynników oddziaływania na środowisko materialne.

R. IVAS'KO<sup>1</sup>, S. MORYŃ<sup>2</sup>, R. TERLETS'KYI<sup>1</sup>,  
G. FEDOTENKOV<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies)  
(Russia)

**MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC  
FIELD AT INDUCTION HEATING OF THE SYSTEM: ELECTRIC  
CONDUCTIVE SOLID - EXTERNAL NON-ELECTRIC  
ENVIRONMENT**

Dependencies that determine parameters of the quasi-steady electromagnetic field (QSEMF) are recorded in the system: electrically conductive solid-external non-conductive (dielectric) environment, with electric currents (inductor) exciting EMFs in the system, distributed in the external environment. Definition dependences are formulated both with respect to complex amplitudes of electric and magnetic fields.

**MODELOWANIE ORAZ OPIS POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRZY  
NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM UKŁADU: CIAŁO PRZEWODZĄCE  
ELEKTRYCZNOŚĆ - ZEWNĘTRZNE ŚRODOWISKO NIEPRZEWODZĄCE**

Zapisane zostały zależności określające parametry quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego (QUPEM) w układzie: ciało przewodzące elektryczność zewnętrzne środowisko nieprzewodzące przy prądach elektrycznych (induktorze), wzbudzających PEM w układzie, rozłożonych w środowisku zewnętrznym. Zależności te sformułowano względem zespolonych amplitud natężeń pola elektrycznego, jak i magnetycznego.



B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>, B. CHORNYI<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
(Ukraine)

### **MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD AT INDUCTION HEATING OF THE SYSTEM: ELECTRIC CONDUCTIVE SHELL - EXTERNAL NON-ELECTRIC CONDUCTIVE ENVIRONMENT**

Dependencies that determine parameters of quasi-steady electromagnetic field (QSEMF) in the system are written: an electrically conductive shell - an external non-conductive (dielectric) environment, with electric currents (inductor) exciting EMF in the system, which are in the external environment. The defining dependences are formulated as relative to the complex amplitudes of the electric field strengths, as well as the magnetic.

### **ODELOWANIE ORAZ OPIS POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM UKŁADU: CIENKOŚCIENNA POWŁOKA PRZEWODZĄCA ELEKTRYCZNOŚĆ - ZEWNĘTRZNE ŚRODOWISKO NIEPRZEWODZĄCE**

Zapisane zostały zależności określające parametry quasi-ustalone pole elektromagnetyczne (QUPEM) w układzie: cienkościenna powłoka przewodząca elektryczność-zewnętrzne środowisko nieprzewodzące przy rozłożonych w środowisku zewnętrznym prądach elektrycznych (induktorze), wzbudzających PEM w układzie. Zależności określające sformułowano względem zespolonych amplitud natężeń pola elektrycznego, jak i magnetycznego.

R. IVAS'KO<sup>1</sup>, A. MARYNOWICZ<sup>2</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)

**MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD  
AT INDUCTION HEATING OF THE SYSTEM: MULTILAYER  
ELECTRIC CONDUCTIVE SHELL - EXTERNAL NON-ELECTRIC  
CONDUCTIVE ENVIRONMENT**

Dependencies are written that determine parameters of QSEMF in the system multilayer electrically conductive shell-external non-conductive environment, in which the exciting EMFs in the system are distributed electric currents (currents in the inductor). The defining dependences are formulated both with respect to the complex amplitudes of the electric field strengths and the magnetic.

**MODELOWANIE I OPIS POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRZY  
NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM UKŁADU: WIELOWARSTWOWA POWŁOKA  
PRZEWODZĄCA ELEKTRYCZNOŚĆ - ZEWNĘTRZNE ŚRODOWISKO  
NIEPRZEWODZĄCE**

Zapisane zostały zależności określające parametry quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego w układzie: cienkościenna wielowarstwowa powłoka przewodząca elektryczność-zewnętrzne środowisko nieprzewodzące, w którym rozłożone są wzbudzające pole elektromagnetyczne w układzie prądy elektryczne (prądy w induktorze). Zależności określające sformułowane względem zespolonych amplitud natężeń pola elektrycznego, jak i magnetycznego.

L. HAYEVS'KA<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>,  
T. WOŁCZAŃSKI<sup>2</sup>, B. CHORNY<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
(Ukraine)

## **MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRIC CONDUCTING SYSTEMS UNDER GIVEN BOUNDARY CONDITIONS**

Boundary-value problems are formulated that describe parameters of quasi-steady-state electromagnetic fields in electrically conductive solids, in single-layer and multilayer shells, when the field is determined by the known values of amplitudes of electric or magnetic field strength on the surface. The defining dependencies are written both with respect to complex amplitudes of electric and magnetic fields. The case of constant curvatures and coefficients of the first quadratic form of the base (generating) surface of the shells is analysed.

## **MODELOWANIE ORAZ OPIS POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W UKŁADACH PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ZADANYCH WARUNKACH BRZEGOWYCH**

Sformułowane zostały zagadnienia brzegowe opisujące parametry quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego w ciałach przewodzących elektryczność, w tym w jednowarstwowych i wielowarstwowych powłokach. Pole to określone przez wiadome wartości amplitudy natężenia pola elektrycznego lub magnetycznego. Wyznaczające zależności zapisane względem zespolonych amplitud natężenia pola elektrycznego, jak również pola magnetycznego. Wydzielono przypadek stałych krzywizn i współczynników pierwszej formy kwadratowej powierzchni podstawowej (tworzącej).

L. HAYEVS'KA<sup>1</sup>, R. KUSHNIR<sup>1</sup>, R. MUSII<sup>2</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> National University "Lvivska Politechnika" (Ukraine)

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

### **MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD AT INDUCTION HEATING OF SYSTEMS: ELECTRIC CONDUCTIVE PLATES - EXTERNAL NON-ELECTRIC CONDUCTIVE MEDIUM**

Mathematical models for quantitative description of quasi-steady electromagnetic fields (QSEMF) in the systems of electrically conductive shell (single-layer and multilayer) - an external non-conductive medium in which the electric currents, exciting EMFs in the system, are distributed by limit transition (transition of the main curvatures to zero) are adapted to the case of electrically conductive plates. The defining dependences are formulated both with respect to the complex amplitudes of the electric field strengths and the magnetic.

### **MODELOWANIE I OPIS POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM UKŁADU: PŁYTA PRZEWODZĄCA ELEKTRYCZNOŚĆ-ŚRODOWISKO ZEWNĘTRZNE NIEPRZEWODZĄCE**

Matematyczne modeli ilościowego opisu quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego w układach: powłoka przewodząca elektryczność (jednowarstwowa i wielowarstwowa) – środowisko zewnętrzne nieprzewodzące, w którym rozłożone prądy elektryczne, wzbudzające pole w układzie, drogą przejścia granicznego (dążenia do zera głównych krzywizn powierzchni podstawowej powłoki) adaptowane są na przypadek płyt przewodzących elektryczność. Zależności określające sformułowane względem zespolonych amplitud natężeń pola elektrycznego jak i magnetycznego.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, K. GHAZARYAN<sup>3</sup>, S. MORYŃ<sup>1</sup>,  
B. CHORNYI<sup>4</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> Institute of Mechanics NAS (Armenia)

<sup>4</sup> Lviv branch of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport  
(Ukraine)

## **MODELING AND DESCRIPTION OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRIC CONDUCTIVE PLATE SYSTEMS UNDER GIVEN BOUNDARY CONDITIONS**

Boundary-value problems are formulated that describe parameters of quasi-steady-state electromagnetic fields in electrically conductive plates (single and multilayer), when field is determined by known values of amplitude of electric or magnetic field strengths on the surfaces. In this case, one proceeds from the constitutive relations for shell systems assuming that the principal curvatures of the base surface are equal zero. The given constitutive relations are written with respect to the complex amplitudes of the electric and magnetic fields. The case of plates with constant coefficients of the first quadratic shape of the base surface (plane) is analysed.

## **MODELOWANIE I OPIS POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W UKŁADACH PLYTOWYCH PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ZADANYCH WARUNKACH BRZEGOWYCH**

Sformułowane zostały zagadnienia brzegowe o wyznaczeniu quasi-ustalonego pola elektromagnetycznego w przewodzących elektryczność układach płytowych (jedno i wielowarstwowych), gdy pole to określono przez znane wartości amplitudy natężeń elektrycznego lub magnetycznego pola na powierzchniach. Omówione zagadnienia otrzymywane są z wyjściowych zależności wyznaczalnych dla układów powłokowych, pokładając w nich główne krzywizny powierzchni podstawowej równymi zero. Podane zależności wyznaczalne zapisano względem zespolonych amplitud natężeń pola elektrycznego również jak pola magnetycznego.

Wydzielono przypadek płyt posiadających stałe współczynniki pierwszej formy kwadratowej płaszczyzny podstawowej.



### **III. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH**







R. BUJALLA, R. ŁUSZCZYNA

Opole University of Technology (Poland)

**ZAADOPTOWANIE  
PRZESTRZENI MAGAZYNOWEJ DO CELÓW PRODUKCYJNYCH  
POD WZGLĘDEM SPEŁNIENIA WYMOGÓW BHP**

Głównym celem opracowania jest analiza oraz ocena możliwości dostosowania obiektu budowlanego wzniesionego w latach 70-tych do celów produkcyjnych (produkcja wyrobów z drewna).

Duża przestrzeń rozpatrywanego budynku użytkowanego pierwotnie jako ciepłarnia pozwala założyć, że nadaje się on do realizacji ciągłych zadań produkcyjnych przy występowaniu czynników szkodliwych. Jednakże wraz ze zmianą sposobu użytkowania można się spodziewać znaczących zmian w zakresie rozkładu obciążeń konstrukcji nośnej, które wynikają z zastosowania dodatkowych powłok izolacyjnych oraz ochronnych. Działania tego typu wymagają zbadania stateczności konstrukcji pod wpływem przyjętych modyfikacji. Należy zatem sprawdzić czy konstrukcja obiektu będzie bezpieczna w następstwie planowanych zmian modernizacyjnych.

Wyznaczenie punktów krytycznych w zakresie ograniczeń wytrzymałościowych układu nośnego powinno wskazać podstawowy zakres modernizacji obiektu. Ponadto istotnym czynnikiem krytycznym jest również spełnienie podstawowych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i higieny pracy.

Ostatecznie stwierdzono (biorąc pod uwagę wszystkie przyjęte czynniki), że możliwe jest osiągnięcie założonego celu. Zastosowane zmiany konstrukcyjne doprowadziły do uzyskania zadowalających wyników końcowych - bezpiecznej konstrukcji stalowej z zachowaniem odpowiednich wartości wymiarowych.

Opracowanie zostało napisane w oparciu o pracę magisterską Pana Rafała Bujalli pt. „Analiza i ocena możliwości dostosowania przestrzeni magazynowej wybranego przedsiębiorstwa do celów produkcyjnych”, zrealizowaną na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki, Politechnika Opolska 2021. Przedstawione informacje, analizy oraz wnioski pochodzą z danej pracy magisterskiej.

A. ROTKEGEL<sup>1</sup>, Z. ZIOBROWSKI<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Institute of Chemical Engineering, Polish Academy of Sciences (Poland)

### **SILMS MEMBRANES - ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGY FOR CO<sub>2</sub> REMOVAL FROM GASES**

The paper presents the results of studies on the permeability and separation selectivity of pure gases (CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>) for SILM membranes obtained by impregnating a ceramic support with ionic liquids [Emim][Ac] (1-ethyl-3-methylimidazole acetate) and [Bmim][Ac] (1-butyl-3-methylimidazole acetate). Various ceramic materials made of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the tubular form with an outer diameter of 10 mm, a thickness of 2-3 mm and a length of 250 mm were used in the tests. The tests were carried out in the temperature range between 20 to 60° C and pressures range between 1 to 7 bar. The ionic liquid was applied by coating and soaking methods. It has been found that SILMs membranes with high selectivity values can be obtained.

### **MEMBRANY SILMS – BEZPIECZNA DLA ŚRODOWISKA TECHNOLOGIA USUWANIE CO<sub>2</sub> Z GAZÓW**

Przedstawiono wyniki badań przepuszczalności i selektywności rozdzielania czystych gazów CO<sub>2</sub> i N<sub>2</sub> dla membran SILM otrzymanych poprzez impregnację ceramicznego nośnika cieczami jonowymi [Emim][Ac] (octan 1-etylo-3-metyloimidazolu) oraz [Bmim][Ac] (octan 1-butylo-3-metyloimidazolu). W badaniach użyto różnych materiałów ceramicznych wykonanych z Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w postaci rurek o średnicy zewnętrznej 10 mm, grubości 2-3mm i długości 250 mm. Badania przeprowadzono w zakresie temperatur 20-60°C oraz ciśnień 1-7 bar. Ciecz jonową nanoszono metodą pokrywania oraz zanurzania. Stwierdzono, że można otrzymać membrany SILMs charakteryzujące się dużymi wartościami selektywności.

J. TREMBACZ, E. TREOMSA

Opole University of Technology (Poland)

## **THE IMPACT OF SAFETY AND DRIVING COMFORT SYSTEMS ON THE DRIVING SAFETY OF SELECTED PASSENGER CARS**

The aim of the thesis is to compare the safety and driving comfort systems used in passenger cars and to analyze their development over the years.

The research part focuses on comparing the safety and comfort systems to the next generations on selected car models from three manufacturers. In addition, the analysis covered the level of protection of the driver and passenger, children and pedestrians and the safety support system based on Euro NCAP crash tests. The work contains information on the trends in the occurrence of road accidents in Poland in 2011-2020. The types of road accidents and the reasons for their occurrence were discussed.

## **WPLYW SYSTEMÓW BEZPIECZEŃSTWA I KOMFORTU JAZDY NA BEZPIECZEŃSTWO JAZDY WYBRANYCH SAMOCHODÓW OSOBOWYCH**

Celem pracy jest porównanie systemów bezpieczeństwa i komfortu jazdy stosowanych w samochodach osobowych oraz analiza ich rozwoju na przestrzeni lat.

W pracy porównano systemy bezpieczeństwa i komfortu jazdy względem kolejnych generacji na wybranych modelach samochodowych trzech producentów. Ponadto analizie został poddany poziom ochrony bezpieczeństwa kierowcy i pasażera, dziecka oraz pieszego i układ wspomagający bezpieczeństwo na podstawie testów zderzeniowych Euro NCAP. Praca zawiera informacje dotyczące tendencji występowania wypadków drogowych w Polsce w latach 2011-2020.

Omówione zostały rodzaje wypadków drogowych oraz przyczyny ich wstępowania.

J. TREMBACZ, D. CHRZANOWSKI

Opole University of Technology (Poland)

## **RISKS AT THE WORK OF A STATE FIRE BRIGADE OFFICER WITH RESPECT TO EXPOSURE TO AN ELECTROMAGNETIC FIELD**

The sources of electromagnetic fields are an increasingly perceived threat in the work environment. The radiotelephones are responsible for emitting the electromagnetic field, which, using radio waves with a frequency of 135-170 MHz, allow the services operating on the scene to communicate with each other. By having a basic understanding of electromagnetic fields and taking precautionary measures, a firefighter can reduce negative exposure of his body to electromagnetic fields.

By analyzing the fundamental norms and provisions of law regarding labor law and occupational health and safety in Poland, determining the factors of occupational hazards, detailed analysis of data from the accredited laboratory's tests and own research among officers, it was possible to achieve the main goal of the work, which was the analysis of threats to an officer of the State Guard Fire in terms of exposure to electromagnetic fields.

### **ZAGROŻENIA W PRACY FUNKCJONARIUSZA PAŃSTWOWEJ STRAŻY POŻARNEJ POWIĄZANE Z ODDZIAŁYWANIEM POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO**

Źródła pól elektromagnetycznych, są coraz bardziej postrzeganym zagrożeniem w środowisku pracy. Za emitowanie pola elektromagnetycznego odpowiedzialne są radiotelefony, które za pomocą fal radiowych o częstotliwości od 135-170 MHz. Mając podstawową wiedzę z zakresu pól elektromagnetycznych oraz stosując środki ostrożności, strażak może zmniejszyć negatywne oddziaływanie pola elektromagnetycznego na jego organizm.

Dzięki przeanalizowaniu zasadniczych norm i przepisów prawa dotyczących prawa pracy oraz bezpieczeństwa i higieny pracy w Polsce, określeniu czynników zagrożeń zawodowych, szczegółowej analizie danych z badań akredytowanego laboratorium oraz badaniach własnych wśród funkcjonariuszy, udało się osiągnąć główny cel pracy, którym była analiza zagrożeń funkcjonariusza Państwowej Straży Pożarnej pod względem narażenia na pole elektromagnetyczne.

J.TREMBACZ, R. KOWALCZYK

Opole University of Technology (Poland)

### **SAFETY IN A CHEMICAL COMPANY DURING FERTILISER PRODUCTION AT THE NITRATE PACKAGING PLANT**

The paper presents basic definitions related to the work environment and its factors (including nuisance, harmful and dangerous factors). The rights and obligations of the employer and employee were also discussed.

The research part presents the company's characteristics and toxic substances present on the premises of the plant. Workstations in the ammonium nitrate packing department are described, with particular emphasis on employee protection measures and dangers occurring at workplaces and counteracting them. During the research, accident statistics were used and analyzed. The research also covered occupational diseases that occurred in the department of ammonium nitrate packing.

### **BEZPIECZEŃSTWO W FIRMIE CHEMICZNEJ PODCZAS PRODUKCJI NAWOZÓW NA WYDZIALE PAKOWNI SALETRZAKU**

W pracy przedstawiono podstawowe definicje związane z środowiskiem pracy oraz czynnikami w niej występującymi (m.in. czynniki uciążliwe, szkodliwe i niebezpieczne). Omówiono również prawa i obowiązki pracodawcy oraz pracownika.

W części badawczej została przybliżona charakterystyka firmy oraz substancje toksyczne występujące na terenie zakładu. Opisano stanowiska pracy na wydziale pakowni saletrzaku, z szczególnym uwzględnieniem środków ochrony pracownika oraz niebezpieczeństw występujących na stanowiskach pracy i przeciwdziałania im. Podczas badań wykorzystano statystyki wypadków i poddano je analizie. Badania objęły również choroby zawodowe, które wystąpiły na wydziale pakowni saletrzaku.

J.TREMBACZ, P. KOKOSZKA

Opole University of Technology (Poland)

### **ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE OCCURRENCE OF DROUGHT ON LOSSES IN CROPS OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE AND ITS FUNCTIONING**

The aim of the study was to assess the impact of drought on losses in plant production at an agricultural-producing company based in the Silesian Voivodeship, and how drought affects the company's economic security.

The study was divided into two parts – the theoretical part and the research part. The theoretical part included the subject of drought monitoring and indices, drought occurrence in Poland, as well as elements of drought risk and methods of their mitigation. In the research part, data from a meteorological station located on the area of the company and yields of cereals, winter rape and peas were analysed and compared. This made it possible to determine to what extent drought negatively affects crops and the economic security of the company, and also made it possible to notice that the phenomenon of drought is intensifying.

### **WPLYW WYSTĘPOWANIA SUSZY NA STRATY W UPRAWACH PRZEDSIĘBIORSTWA ROLNO - PRODUKCYJNEGO I JEGO FUNKCJONOWANIE**

Celem badań była ocena, jaki wpływ ma zjawisko suszy na straty w produkcji roślinnej przedsiębiorstwa rolno – produkcyjnego, które ma swoją siedzibę na terenie województwa śląskiego oraz jak zjawisko suszy wpływa na bezpieczeństwo ekonomiczne przedsiębiorstwa.

Część teoretyczna obejmuje tematykę monitoringu i wskaźników suszy, występowaniu suszy w Polsce, a także elementach ryzyka suszy i sposobach ich ograniczania. W części badawczej zostały przeanalizowane oraz zestawione dane ze stacji meteorologicznej, znajdującej się na terenie przedsiębiorstwa oraz wielkości plonów zbóż, rzepaku ozimego i grochu siewnego. Pozwoliło to na określenie, w jakim stopniu susza negatywnie wpływa na uprawy i bezpieczeństwo ekonomiczne przedsiębiorstwa, a także pozwoliło zauważyć, iż zjawisko suszy nasila się.

J.TREMBACZ, K. BILIŃSKA

Opole University of Technology (Poland)

### **ANALYSIS OF SAFETY CONDITION IN SELECTED CONSTRUCTION COMPANIES**

The work contains basic information on safety as well as nuisance, harmful and dangerous factors for employees of the construction industry.

The characteristics of the 3 surveyed enterprises and the results of questionnaire surveys in the field of employee knowledge and awareness of occupational health and safety are also presented. The work ends with a summary of the research results obtained.

### **STAN BEZPIECZEŃSTWA W WYBRANYCH FIRMACH BUDOWLANYCH**

W pracy zawarto podstawowe informacje na temat bezpieczeństwa oraz czynników uciążliwych, szkodliwych i niebezpiecznych dla pracowników branży budowlanej.

Przedstawiono również charakterystykę 3 badanych przedsiębiorstw i wyniki badań ankietowych z zakresu wiedzy i świadomości pracowników nt. bezpieczeństwa i higieny pracy. Pracę kończy podsumowanie uzyskanych wyników badań.

T. WOŁCZAŃSKI, S. MORYŃ, J. TREMBACZ, J. ZAPOTOCZNA

Opole University of Technology (Poland)

### **ANALYSIS OF THE HEALTH AND SAFETY CONDITION IN A SELECTED FOOD COMPANY**

Occupational safety and health, working conditions, Risk Score, occupational hazard.

The main purpose of this master's thesis was to analyse the health and safety at work on the basis of the bakery under study. In addition, a risk score was assessed using the Risk Score method at the baker's office and a survey was conducted among employees regarding occupational health and safety as well as hazards occurring in this profession. After the analysis of the condition, several irregularities were found. The recovery plan includes measures to minimize or eliminate hazards.

### **STAN BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE SPOŻYWCZYM**

Głównym celem niniejszej pracy było przeprowadzenie analizy stanu bezpieczeństwa i higieny pracy na podstawie badanej piekarni. Dodatkowo wykonano ocenę ryzyka zawodowego metodą Risk Score na stanowisku piekarza oraz przeprowadzono ankietę wśród pracowników dotyczącą bezpieczeństwa i higieny pracy a także zagrożeń występujących w tym zawodzie.

Po przeprowadzonej analizie stanu stwierdzono kilka nieprawidłowości. Plan naprawczy zawiera działania mające na celu zminimalizowanie lub wyeliminowanie zagrożeń występujących w badanej piekarni.



T. WOŁCZAŃSKI, J. TREMBACZ, A. NOSOL, J. MANOWSKA

Opole University of Technology (Poland)

## **SAFETY DURING TRANSPORT OF HAZARDOUS MATERIALS**

The paper presents the ADR Agreement and the classification of hazardous materials and applied safety measures.

It describes the transport company and the necessary documents that a company transporting hazardous materials must have, such as the certificate of approval of the vehicle for the transport of certain hazardous materials. Then the applied safety measures during the transport of hazardous materials were indicated. Then the occupational risk assessment of an employee working as a driver was carried out and an analysis of the employee's energy expenditure on the truck driver's position was performed.

## **BEZPIECZEŃSTWO PODCZAS TRANSPORTU MATERIAŁÓW NIEBEZPIECZNYCH**

W pracy przedstawiono Umowę ADR oraz klasyfikację materiałów niebezpiecznych i stosowanym środkom bezpieczeństwa.

Opisano firmę transportową i niezbędne dokumenty jakie musi posiadać przedsiębiorstwo zajmujące się transportem materiałów niebezpiecznych takie jak np. świadectwo dopuszczenia pojazdu do przewozu niektórych materiałów niebezpiecznych. Następnie wskazano stosowane środki bezpieczeństwa podczas przewozów materiałów niebezpiecznych. Następnie przeprowadzono ocenę ryzyka zawodowego pracownika zatrudnionego na stanowisku kierowcy oraz wykonano analiza wydatku energetycznego pracownika na stanowisku kierowcy samochodu ciężarowego.

