

POLITECHNIKA OPOLSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I LOGISTYKI

Współorganizatorzy:

UNIwersytet Techniczny w Ostrawie (Czechy)

UNIwersytet Techniczny w Koszycach (Słowacja)

Instytut Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki

Narodowej Akademii Nauk

(Ukraina)

Międzynarodowe seminarium naukowe

***OPTYMALIZACJA STRUKTUR PROCESÓW
WYTWÓRCZYCH - 2019***

Materiały



**OPOLE
6 grudnia 2019**

OPOLE 2019

KOMITET NAUKOWY

PRZEWODNICZĄCY:

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

CZŁONKOWIE:

Hachkevych O., Madej-Lachowska M., Moryń S.,
Shynkarenko H., Terlets'kyi R., Wołczański T., 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,
Katedra Inżynierii Bezpieczeństwa Pracy

ZAKRES TEMATYCZNY:

1. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH
2. MODELOWANIE I OPTIMALIZACJA 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

1. O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER, T. WOŁCZAŃSKI PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2019	9
2. T. WOŁCZAŃSKII, T. KOZAKEVYCH, O. HACHKEVYCH MODELOWANIE I OPTIMALIZACJA SZCZĄTKOWEGO FAZOWEGO I SPRĘŻYSTEGO STANU TARCZ PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ROZŁOŻONE ŹRÓDŁA CIEPŁA	14
3. O. HACHKEVYCH, R. IVAS’KO, R. KUSHNIR, A. STANIK-BESLER ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI CIAŁ PRZEWODZĄCYCH PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM	19

I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

1. Z. KOSTRZYCKA SELECTED ASYMPTOTIC PROPERTIES OF SOME FRAGMENTS OF FUZZY LOGICS	29
2. V. KULYK, D. PĄCZKO PEWNE KONSTRUKCJE FUNKCJI LAPUNOWA W TEORII LINIOWYCH ROZSZERZEŃ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH	30
3. O. TERESHCHUK, Yu. GOLOVATY, V. FLYUD ON A HYPERBOLIC SYSTEM OF FIRST-ORDER EQUATIONS WITH A SMALL PARAMETER FOR THE DERIVATIVES.....	32
4. H. SHYNKARENKO, B. VASYLYSHYN OSZACOWANIE BŁĘDÓW APROKSYMACJI METODY ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DLA PROBLEMU SKRĘCANIA PRĘTA	35
5. H. ŚCIEGOSZ ZASTOSOWANIE METODY PIERWIASTKÓW KANONICZNYCH DO ANALIZY OSCYLACJI REGULARNYCH I CHAOSU	36
6. B. BOZHENKO, O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER, J. SZYMCZAK NIESTACJONARNE POLA ELEKTROMAGNETYCZNE W TYM QUAS- USTALONE W TERMOMECHANICE JEDNOSPÓJNYCH CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ.....	38
7. O. HACHKEVYCH, R. IVAS’KO, S. MORYŃ, D. TARLAKOVSKII DO MODELOWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W NIEJEDNOSPÓJNYM CIELE STAŁYM PRZEWODZĄCYM ELEKTRYCZNOŚĆ	39
8. K. GHAZARYAN, O. HACHKEVYCH, R. IVAS’KO, A. STANIK-BESLER DO OPISU ODDZIAŁYWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA CONTINUUM MATERIALNY W TERMOMECHANICE CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ	41
9. M. KUBUS STATYSTYCZNY SYSTEM WCZESNEGO OSTRZEGANIA PRZED ZAJŚCIEM PRZYPADKU WSKUTEK WYŁADOWANIA NAGROMADZONEJ ENERGII	42

10. A. KOZIARSKA, M. ZBADYŃSKI STATYSTYCZNA ANALIZA WPŁYWU MODERNIZACJI LINII KOLEJOWYCH NA PUNKTUALNOŚĆ POCIĄGÓW OSOBOWYCH	43
11. Z. SZYLICKA, K. WOJTECZEK-LASZCZAK WSPÓLCZEŚNI STUDENCI POLITECHNIKI OPOLSKIEJ	45
12. A. METELSKI OCENA WYKORZYSTYWANYCH NARZĘDZI DYDAKTYCZNYCH W NAUCZANIU STATYSTYKI NA KIERUNKU LOGISTYKA	47

II. MODELOWANIE I OPTIMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH

1. R. IVAS'KO, R. MUSIL, O. ORYSZCZYN, A. STANIK-BESLER MODEL MATEMATYCZNY ZACHOWANIA TERMOSPREŻYSTEGO BIMETALICZNYCH PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ WYROBÓW O KSZTAŁCIE KULISTYM PRZY ODDZIAŁYWANIU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO	51
2. O. MOKRYK, S. MORYŃ, R. MUSIL, V. SHYNDER METODA WYZNACZANIA PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH, CIEPLNYCH I MECHANICZNYCH W BIMETALICZNEJ KULI PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO	53
3. Kh. DROHOMYRETS'KA, A. MARYNOWICZ, N. MELNYK, R. MUSIL STAN SPREŻYSTY ORAZ NOŚNOŚĆ GRANICZNA BIMETALICZNEJ KULI PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU ELEKTROMAGNETYCZNYM W PRZEBIEGU O IMPULSOWYM SYGNALE MODULUJĄCYM	54
4. R. IVAS'KO, R. KUSHNIR, A. STANIK-BESLER, R. TERLETS'KYI CIEPLNE ORAZ MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI POWŁOK PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM	55
5. B. CHORNYI, O. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, A. STANIK-BESLER DO OKREŚLENIA METODY WYZNACZANIA I BADANIA STANU TERMOSPREŻYSTEGO POWŁOK PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM W WARUNKACH NASKÓRKOWOŚCI	56
6. M. HACHKEVYCH, O. HACHKEVYCH, Yu. SOSNOVYI, R. TERLETS'KYI TEORETYCZNE I EKSPERYMENTALNE ASPEKTY PRZY NAGRZEWANIU SZKLANYCH ELEMENTÓW PROMIENIOWANIEM ELEKTROMAGNETYCZNYM W PODCZERWIENI	57
7. M. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, L. KIT, V. MOZHAROV'S'KYI, A. RAWSKA-SKOTNICZNY METODA OPTIMALIZACJI WZGLĘDEM POZIOMU NAPRĘŻEŃ KOMBINOWANEGO (Z WYKORZYSTANIEM PROMIENIOWO- KONWEKCYJNEGO ODDZIAŁYWANIA) PRZEBIEGU TERMOPRÓŻNIOWEJ OBRÓBKĄ KAWAŁKAMI JEDNORODNEJ SZKLANEJ POWŁOKI	58

8. L. HAYEVS'KA, M. HACHKEVYCH, A. KOZIARSKA, A. TORS'KYI, B. TRISHCH	
MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA WZGLĘDEM STANU NAPRĘŻEŃ PRZEBIEGÓW WYRZAŻANIA TERMOCZUŁYCH SZKLANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI PRZY JEDNOCZEŚNYM NAGRZEWANIU PRZEZ KONWEKCJĘ I ŹRÓDŁA CIEPŁA	60
9. B. BOZHENKO, O. HUMENCHUK, L. ONYSHKO, O. ONYSHKO, A. STANIK-BESLER	
SKŁAD FAZOWY ORAZ STAN SPRĘŻYSTY WSPORNIKA, WYKONANEGO Z MATERIAŁU O WŁAŚCIWOŚCI PAMIĘCI KSZTAŁTU, PRZY ZGINANIU	62
10. V. ASTASHKIN, B. BOZHENKO, I. CHUPYK, L. ONYSHKO, O. ONYSHKO	
STAN SPRĘŻYSTY PŁYTY DWUWARSTWOWEJ, MATERIAŁ JEDNEJ Z WARSTW KTÓREJ WYKONANA Z MATERIAŁU O WŁAŚCIWOŚCI PAMIĘCI KSZTAŁTU, PRZY OBCIĄŻENIU TERMOMECHANICZNYM	63
 III. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH	
1. A. ROTKEGEL, Z. ZIOBROWSKI	
USUWANIE CO ₂ Z POWIETRZA W CIECZACH JONOWYCH PRZYJAZNYCH DLA ŚRODOWISKA ZAMIENNIKACH ROZTWORÓW AMIN	67
2. J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI	
ZARZĄDZANIE PROCESEM UTRZYMANIA RUCHU – ZWIĘKSZENIA EFEKTYWNOŚCI FUNKCJONALNYCH PRZEDSIĘBIORSTW	68
3. J. RUT	
METODA FMEA W DOSKONALENIU PROCESÓW ZARZĄDZANIA PRZEDSIĘBIORSTWEM	69
4. M. SPALIK	
WPLYW Al I Si W KSZTAŁTOWANIU SKŁADU FAZOWEGO POWŁOK PVD ZE STALI CHROMOWO-NIKLOWEJ	70
5. J. TREMBACZ, P. WÓJCIK	
ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY W HUCIE SZKŁA	71
6. S. ZATOR	
ASPEKTY TECHNICZNE BUDOWY, FUNKCJONOWANIA I ZABEZPIECZENIA ELEKTROWNI WIATROWYCH	72
7. J. TREMBACZ, M. LASOŃCZYK	
ANALIZA WYBRANYCH WÓZKÓW DZIECIĘCYCH SPACEROWYCH I INWALIDZKICH Z UWZGLĘDNIENIEM ASPEKTÓW ARGONOMII I BEZPIECZEŃSTWA UŻYTKOWANIA	74
8. J. TREMBACZ, P. KAŁUŻA, A. NOSOL	
RYZYKO W PRACY STRAŻAKÓW OSP ANALIZOWANE METODĄ RISK SCORE	75
9. J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI, K. MANKIEWICZ	
ZARZĄDZANIE NIEBEZPIECZNĄ ENERGIĄ LockOut TagOut (LOTO) W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRODUKCYJNYCH	76

10. J. TREMBACZ, K. POKA ANALIZA STANU BEZPIECZEŃSTWA PRACY W ZAKŁADZIE WYTWARZAJĄCYM ARMATURĘ SANITARNA	77
11. J. TREMBACZ, S. MORYŃ, A. TRELA BEZPIECZEŃSTWO PODCZAS PRAC WYKONYWANYCH W ROLNICTWIE NA TERENIE WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO	78
12. A. HACHKEVYCH, T. WOŁCZAŃSKI INFORMATION SECURITY MANAGEMENT IN MANUFACTURING PROCESSES	79
13. O. HACHKEVYCH, V. MISHCHENKO, S. MORYŃ, R. TERLETS'KYI WYBRANE PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA PRACY I ŚRODOWISKA PRZY OBRÓBCE Z WYKORZYSTANIEM PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH	80
14. O. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, S. MORYŃ, R. MUSII POŁĄCZONE ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ I INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA PRZY ODDZIAŁYWANIU IMPULSOWYCH PÓL ELEKTROMAGNETYCZ- NYCH Z MODULACJĄ AMPLITUDY	82
15. R. IVAS'KO, O. MLYNKO, O. MOKRYK, R. MUSII WYBRANE PROBLEMY MODELOWANIA TEMPERATUROWO-SIŁOWYCH PRZEBIEGÓW W POŁĄCZENIU Z ZAGADNIENIAMI INŻYNIERII BEZPIE- CZEŃSTWA W IMPLANTATACH PRZY ODDZIAŁYWANIU PROMIENIOWA- NIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO ZAKRESU RADIOWEGO	84
16. I. CHUPYK, O. HACHKEVYCH, T. KOZAKEVYCH, T. WOŁCZAŃSKI ZAGADNIENIA PRODUKCJI I INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA PRZY RÓŻNYCH SPOSOBACH NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO	86

REFERATY ZAMAWIANE



O. HACHKEYVICH^{1,2}, A. STANIK-BESLER¹, T. WOŁCZAŃSKI¹

¹ Opole University of Technology (Poland)

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

PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2019

Podstawowym zadaniem przemysłu w obecnych czasach 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 ich opracowania i ulepszenia na podstawie ciągłego doskonalenia teoretycznych podstaw wspomnianych dziedzin wiedzy przez szerokie zastosowanie metod i aplikacji nauk podstawowych, modelowania matematycznego i statystycznego oraz technik optymalizacyjnych, z jednoczesnym uwzględnieniem szeroko pojętych 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).

Badania we wspomnianych dziedzinach prowadzone są przez działający od wielu lat w Politechnice Opolskiej zespół pracowników naukowych, zajmujący się rozbudową teoretycznych podstaw organizacji i realizacji procesów wytwórczych oraz koordynacją badań w tym obszarze. Badania te dotyczą następujących trzech ważnych w opracowaniu procesów wytwórczych uogólnionych tematycznych kierunków:

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

Nawiązując do poprzednich opracowań, celem badań, prowadzonych w przedstawionych wyżej kierunkach tematycznych, są próby opracowania i udoskonalenia istotnych dla praktyki inżynierskiej procesów produkcyjnych i technologii w sposób umożliwiający osiągnięcie zamierzonych efektów jakościowych i ilościowych przy minimalizacji kosztów, szczególnie w obszarze zużycia materiałów i energii. Pewnego rodzaju osobliwością pozostaje koncepcja rozwiązywania powyższych problemów poprzez: opracowanie (na podstawie wykorzystania odpowiednich rozwiązań matematycznych, fizycznych i chemicznych przy powszechnym zastosowaniu współczesnej symulacji komputerowej) modeli matematycznych opisujących rozważane procesy i zjawiska; metod

rozwiązani sformułowanych przy tym zagadnień matematyki, fizyki i chemii oraz nauk pokrewnych, a również warunków istnienia i jednoznaczności otrzymanyh rozwiązań; optymalizację tych procesów względem różnych kryteriów z wykorzystaniem eksperymentalnych i teoretycznych danych o osobliwościach tych procesów i zjawisk; dostosowania do wymogów czynników towarzyszących: 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 eksploatacją wyrobów).

Uogólnienie i usystematyzowanie 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 podjęto w Politechnice Opolskiej przez wydanie w ciągu ostatnich 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 wytworczyh / 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 wyтворчых, 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.

Monografie te na ogół wydawane są w postaci trzech tomów poświęconych wyodrębnionym tematycznym kierunkom.

Niniejsze tematy oraz zagadnienia omawiane na seminarium przedstawiają nowe rezultaty przeprowadzonych w latach 2018-2019 badań w tych tematycznych kierunkach (obszarach wiedzy) z uwzględnieniem ich wzajemnego oddziaływania i przenikania.

Pierwszy rozdział zakresu tematycznego przedstawia nowe rezultaty badań w dziedzinie zastosowania metod i aplikacji nauk podstawowych przy rozwiązywaniu zagadnień dotyczących opracowania wybranych aspektów teoretycznych podstaw procesów wytwórczych (12 tematycznych referatów) powiązanych kolejno z: opisem i analizą odrębnych właściwości, w szczególności asymptotycznych, wybranych matematycznych struktur (rozmytych logik, zbiorów itp.) (1 referat); podejściami i metodami analitycznymi jak i numerycznymi rozwiązywania układów równań różniczkowych, powstających przy modelowaniu różnych fizyczno-mechanicznych procesów i zjawisk (3 referaty); opracowaniem fizyczno-matematycznych podstaw teorii i osobliwości oddziaływania wzajemnego pól o różnej naturze fizycznej w tym elektromagnetycznych i kontinuum materialnego w zależności od właściwości środowiska i charakterystyk rozważanych pól (4 referaty); statystycznych aspektów w konkretnych procesach wytwarzania i nauczaniu statystycznych przedmiotów w technicznych uczelniach (4 referaty).

W drugim rozdziale zakresu tematycznego, dotyczącym modelowania matematycznego oraz optymalizacji przy opracowaniu procesów wytwórczych, w 10-ciu tematycznych referatach omówione zostały zagadnienia kolejnie powiązane z opisem, wykorzystaniem i optymalizacją: promieniowania elektromagnetycznego w konkretnych procesach wytwórczych (6 referatów); cieplnych przebiegów odgazowywania i wyżarzania szklanych kawałkami jednorodnych elementów wyrobów o różnym celowym przeznaczeniu (2 referaty); osobliwości procesu odkształcania konkretnych elementów wyprodukowanych z materiałów posiadających właściwość pamięci kształtu (2 referaty).

W trzecim rozdziale zakresu tematycznego niniejszego seminarium przeanalizowano wybrane zagadnienia problematyki bezpieczeństwa, higieny i kultury pracy w różnych środowiskach wytwórczych (6 referatów) i dokonano próby opracowania sposobów zarządzania realizowanymi procesami oraz ich prowadzenia w celu ograniczania ryzyka na stanowisku pracy, w tym liniach produkcyjnych (3 referaty), a również polepszania procesów produkcyjnych (2 referaty).

Z przedstawionych referatów z zakresu tematycznego seminarium – które odbywa się corocznie ponad dziesięć lat – wypływa, że charakterystyczną osobliwością obecnego etapu rozwoju procesów wytwórczych powstaje konieczność rozwiązania wielu teoretycznych oraz praktycznych problemów wytwarzania wspólnie z powstającymi towarzyszącymi zagadnieniami społecznymi, ekonomicznymi, ekologicznymi, inżynierii produkcji w tym bezpieczeństwa pracy i środowiska przebywania, logistycznymi, dydaktycznymi. Przy tym obserwuje

się poszerzające przenikanie analitycznych, numerycznych i eksperymentalnych metod i modeli matematyki, fizyki i chemii w szczególności elementów komputerowego inżynieringu, w różne aspekty inżynierii produkcji: technologiczny, logistyczny, marketingowe oraz inżynierii bezpieczeństwa. Tak w omawianych referatach 2019 r. w pierwszym rozdziale zakresu tematycznego mieszczą się takie pytania w referatach o statystycznych aspektach technologii i czynnikach występujących w konkretnych procesach wytwórczych i o nauczaniu statystycznych przedmiotów w technicznych uczelniach (4 referaty), w trzecim – w referatach, w których omawiane są problemy szeroko rozumianej inżynierii bezpieczeństwa przy uwzględnieniu logistycznych i odrębnych technologicznych czynników, a również stosowanych metod zarządzania i organizacji produkcji (5 referatów). Charakternym jest powszechne stosowanie elementów komputerowego inżynieringu prawie we wszystkich referatach. Po naszym przekonaniu odznaczona tendencja w rozwinięciu rozważanych kierunków wytwarzania (produkcji) będzie pogłębiać się i w przyszłości.

Rozwiązywanie omawianych złożonych zagadnień wytwarzania powoduje w konsekwencji kompleksowość 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. W tym kierunku w ciągu wielu lat prowadzone są wspólne badania naukowców Politechniki Opolskiej w dziedzinach, powiązanych z opracowaniem różnych aspektów dotyczących procesów produkcyjnych, w ramach współpracy 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 tegorocznych referatach materiały są wynikiem takich wspólnych badań odrębnych ze wspomnianych 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 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.

T. WOŁCZAŃSKI¹, T. KOZAKEVYCH², O. HACHKEVYCH^{1,2}

¹ Opole University of Technology (Poland)

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

MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA SZCZĄTKOWEGO FAZOWEGO I SPRĘŻYSTEGO STANU TARCZ PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ROZŁOŻONE ŹRÓDŁA CIEPŁA

W praktyce inżynierskiej szeroko stosowane są, jako składowe elementy wielu obecnych konstrukcji i detali maszyn, cienki płyty, wykonane z małowęglowych niskostopowych stali. Przy ich produkcji często występuje lokalna termoobróbka (przy spawaniu, wyżarzaniu, odpuszczaniu i in.). Ona obecnie jest wysokotemperaturową i wykonywaną z wykorzystaniem ruchomych źródeł nagrzewania (indukcyjnych, gazowych, elektrycznych itp.). Przy takiej termoobróbce w strefach termicznego wpływu mogą powstawać naprężenia szczątkowe, które wykazują istotny wpływ na końcowe funkcjonalne i wytrzymałościowe właściwości wyrobów, a również na ich niezawodność. Przy tym powstanie szczątkowych naprężeń w ciałach stalowych przy wysokotemperaturowym nagrzewaniu – chłodzeniu powiązано obecnie z deformacjami plastycznymi oraz deformacjami, spowodowanymi przez fazowe i strukturalne zmiany.

Aktualnym jest opracowanie metodyki wyznaczania przestrzenno niejednorodnego składu fazowego i spowodowanych im naprężeń szczątkowych w cienkich małowęglowych niskostopowych płytach stalowych przy monotonicznym chłodzeniu w procesie lokalnego technologicznego wysokotemperaturowego nagrzewania (do temperatur zupełnej austenizacji rozważanych stali w strefie wpływu termicznego) przy wykorzystaniu ruchomych normalnie rozłożonych źródeł ciepła (z wielu środkami lokalizacji), a również optymalizacja parametrów tych źródeł względem różnych kryteriów, w szczególności procentowej zawartości odrębnych fazowych składowych w celu otrzymania potrzebnych fizyczno-mechanicznych właściwości wyrobów. Rozwiązywaniu omówionych problemów poświęcono badania, wyniki których podano w prezentowanej pracy.

Omówiono stan określonego wyżej problemu i bliskich względem niego prac: przewodzenia cieplnego – opisujących pole temperatur, materiałoznawstwa – określających procentową zawartość fazowych składowych; mechaniki odkształcalnego ciała stałego – omawiających naprężenia szczątkowe. Rozważano podejścia do opisu (spowodowanego fazowymi i strukturalnymi zmianami, powstałymi w wyniku oddziaływania różnego typu technologicznego nagrzewania (przy termoobróbce, spawaniu itp.)), szczątkowego stanu sprężystego ciał stalowych, a także konkretne wyniki badań w tym kierunku. Ustalono, że w literaturze nieobecna metodyka wyznaczania fazowego składu i powstałych na jego skutek szczątkowych naprężeń w cienkich płytach, wykonanych z małowęglo-

wych niskostopowych stali, przy lokalnym wysokotemperaturowym technologicznym nagrzewaniu przez ruchome normalnie rozłożone źródła ciepła, a również optymalizacja parametrów tych źródeł w celu zwiększenia plastycznych właściwości materiału w strefie wpływu termicznego (SWT). Taka metoda, z uwzględnieniem optymalizacyjnej części może być efektywnie (względem matematycznej złożoności) rozbudowana dla pewnych typów stali na podstawie znanego modelu opisu ilościowego szczytkowych fazowych składowych i naprężeń w małowęglowych niskostopowych ciałach stalowych przy monotonicznym chłodzeniu przy obecności w nich SWT w stanie austenizowanym (oparteo na danych analizy statystycznej eksperymentalnie ustalonej procentowej zawartości występujących fazowych składowych).

Podano (zaadaptowaną do rozważanego przypadku stalowych małowęglowych niskostopowych płyt (tarcz), lokalnie nagrzewanych do podwyższonych temperatur (temperatur zupełnej austenizacji stali w pewnych podobszarach) przy pomocy układów ruchomych normalnie rozłożonych źródeł ciepła) znany model opisu fazowego składu ciał (wykonanych z takich stali) i spowodowanych im właściwości mechanicznych na szczytkowy stan sprężysty po zakończeniu procesu chłodzenia monotonicznego (model ten przyjęty za wyjściowy przy wykonywaniu badań). W modelu zawartość fazowych składowych powiązana z czasem pozostania punktów ciał w praktycznym przedziale temperatur przekształceń polimorficznych i chemicznym składem stali i wyznaczana jest przy pomocy obecnych w literaturze interpolacyjnych analitycznych zależności, otrzymanych na podstawie rezultatów obróbki statystycznej termokinetycznych diagramów rozpadu austenitu w odpowiednich wzorcach stalowych. Podobne zależności otrzymano dla opisu odrębnych mechanicznych właściwości (twardości, wytrzymałości, względnego wydłużenia i zwężenia, energii zniszczenia i in.). A szczytkowy stan sprężysty, spowodowany zawartością i rozkładem fazowych składowych, wyznaczany jest przez zmianę wartości objętości właściwych obecnych składowych przy chłodzeniu.

W pracy rozważana jest cienka małowęglowa niskostopowa płyta stalowa przy znanym rozkładzie temperatury początkowej. Płyta lokalnie nagrzewana jest przez symetryczne względem powierzchni środkowej normalnie rozłożone źródła ciepła (poruszające się prostoliniowo z stałą prędkością). Płyta nagrzewana do temperatur większych od zapewniających zupełną austynizację stali w odrębnych jej podobszarach. Ona przebywa w warunkach wymiany ciepła przez konwekcję ze zewnętrznym środowiskiem przy stałej wartości współczynnika wymiany ciepła.

Na podstawie określonego modelu zaproponowano następujący schemat obliczeniowy rozważanego zagadnienia dla płyty:

- formułowanie odpowiedniego dwuwymiarowego niestacjonarnego zagadnienia przewodzenia cieplnego dla cienkiej płyty przy lokalnym wysokotemperaturowym nagrzewaniu przez różnego typu ruchome rozłożone źródła ciepła; wyznaczanie izoterm na podstawie rozwiązań zagadnienia przewodzenia ciepła; opracowanie z uwzględnieniem izoterm algorytmu znajdowania czasu pozosta-

wania płyty w przedziale temperatur przekształceń polimorficznych (przyjętym w danych statystycznych: 850-5000°C) przy monotonicznym chłodzeniu;

- wyznaczanie (z wykorzystaniem uogólnionych analitycznych zależności analizy statystycznej (przy już znanym czasie znajdowania się punktów płyty w przedziale temperatur przekształceń polimorficznych w procesie chłodzenia oraz chemicznym składzie stali) procentowej zawartości obecnych szczytkowych fazowych składowych: martenzytu, bainitu i ferryto-perlitu;

- formułowanie względem przemieszczeń i rozwiązywanie zagadnienia o znajdowaniu naprężeń szczytkowych przy podejściu metody umownych deformacji szczytkowych przy znanych odpowiednio do reguły addytywności odkształceniach, spowodowanych różną procentową zawartością obecnych fazowych składowych (przy ustalonej zmianie objętości właściwej wszystkich składowych w procesie przekształcenia).

Zapisane są odpowiednie zagadnienia schematu obliczeniowego, określające szczytkowy stan fazowy i sprężysty płyty przy monotonicznym chłodzeniu w procesie lokalnego technologicznego wysokotemperaturowego nagrzewania przez ruchome normalnie rozłożone źródła ciepła.

Przy konieczności ustalenia właściwości mechanicznych wyrobów na skutek termoobróbki schemat obliczeniowy dopełniany jest o czwarty etap: wyznaczenie parametrów charakteryzujących odrębne (wybrane) właściwości mechaniczne z wykorzystaniem znanych analitycznych zależności analizy statystycznej otrzymywanych właściwości.

W oparciu o metodę ważonych reszt i metodzie elementów skończonych (MES) opracowano metodykę numerycznego kolejnego rozwiązywania odpowiednich zagadnień fizyki matematycznej obecnych etapów schematu obliczeniowego (sformułowanych odpowiednich podzagadnień) przy uwzględnieniu numerycznej formy otrzymywanych wyników na każdym etapie. Przy tym w celu efektywnego wykorzystywania MES nieograniczona płyta jest modelowana przez ograniczoną (zajmując konieczny obszar, dla którego wyniki, przy wybranej dokładności, już nie zależą od wymiarów).

W pierwszym etapie schematu obliczeniowego, temperaturowe dwuwymiarowe (uśrednione względem grubości płyty) wyjściowe początkowo-brzegowe zagadnienie w pochodnych cząstkowych sprowadzone zostało do układu zwyczajnych równań różniczkowych względem niewiadomych wartości temperatury w węzłach podziału obszaru ograniczonego.

Na drugim etapie schematu obliczeniowego przy już znanym polu temperatur (w ustalonym cieplnym przebiegu) obliczany jest skład fazowy cienkiej małowęgłowej niskostopowej płyty stalowej. Przy tym wykorzystuje się dyskretyzację obszaru z zagadnienia temperaturowego i rozbudowane poprzednio izotermy (przy pomocy rozwiązań z pierwszego etapu) dla określonych krytycznych temperatur. Zatem znajduje się czas pozostania rozważanego punktu płyty w przedziale temperatur przekształceń polimorficznych dla obecnego typu stali. Dalej, na podstawie znanych zależności, opisujących zawartość powstających fazowych składowych przy rozpadzie austenitu, wyznaczone są rozkłady pro-

centowej zawartości martenzytu, bainitu i ferryto-perlitu w stalowej płycie przy monotonicznym chłodzeniu w procesie realizowanego lokalnego technologicznego wysokotemperaturowego nagrzewania przy pomocy ruchomych normalnie rozłożonych źródeł ciepła.

Na ostatnim etapie schematu obliczeniowego dwuwymiarowe płaskie zagadnienie teorii sprężystości (z uwzględnieniem strukturalnej deformacji przy przekształceniach fazowych w ciałach (stalowych), sformułowane w przemieszczeniach z zastosowaniem podejścia metody umownych odkształceń szczątkowych dla cienkiej płyty, sprowadzone zostaje (z wykorzystaniem MES) do odpowiedniego układu nieliniowych równań algebraicznych względem wartości przemieszczeń w węzłach elementów skończonych. Naprężenia szczątkowe wyznaczone są wychodząc z wartości znanej (odpowiednio z zasadą addytywności) deformacji, spowodowanej przez różne procentowe zawartości obecnych składowych fazowych przy ustalonych wartościach objętości właściwych każdej składowej w procesie przekształcenia.

Wiadomo, że zmniejszenie procentowego udziału martenzytu prowadzi do zwiększenia plastycznych właściwości metalu. W moc tego w celu zwiększenia plastycznych właściwości strefy wpływu termicznego przy zmniejszeniu poziomu naprężeń szczątkowych opracowano odpowiednią metodykę parametrycznej optymalizacji charakterystyk ruchomych źródeł ciepła (przy jednym i wielu środkach lokalizacji) względem procentowej zawartości martenzytu (przy kryterium minimum maksymalnej zawartości martenzytu). Parametryczną optymalizację realizowano za pomocą kolejnego przeanalizowania wartości rozważanych wielkości względem każdej zmiennej sterowania (zaczynając od ustalenia współrzędnych położenia środków lokalizacji przy następnym znajdowaniu mocy źródeł ciepła). Wielowymiarowa optymalizacja realizowana jest za 3-4 etapy, w zależności od ilości zmiennych sterowania w konkretnym zagadnieniu.

Sformułowano (na podstawie zaproponowanego schematu obliczeniowego zagadnień mechaniki przy uwzględnieniu przekształceń strukturalnych) odpowiednie zagadnienia dla płyty przy lokalnym wysokotemperaturowym nagrzewaniu przez różne ruchome normalnie rozłożone źródła ciepła (przy jednym, dwóch i trzech środkach lokalizacji). Otrzymano rozwiązania tych zagadnień i wykonano parametryczną optymalizację fazowego składu i szczątkowego stanu sprężystego płyty przy nagrzewaniu takimi źródłami ciepła.

Wyznaczono i przeanalizowano skład fazowy i szczątkowy stan naprężeń rozważanej płyty przy lokalnym nagrzewaniu przez jedno rozłożone źródło ciepła (przy jedynym środku lokalizacji) przy uwzględnieniu różnej procentowej zawartości stopowych chemicznych elementów.

Zbadano również wpływ dodatkowych wybranych czynników termicznego i technologicznego oddziaływania na szczątkowy fazowy i sprężysty stan cienkich małowęglowych niskostopowych stalowych płyt przy lokalnym nagrzewaniu przez jedno ruchome rozłożone źródło ciepła. Przeanalizowano wpływ różnej (stałej) początkowej temperatury płyty (ogólne jednorodne podgrzewanie).

Rozważano przypadek dodatkowego podgrzewania, opisywanego stacjonarnym polem temperatury (podgrzewanie towarzyszące). Zbadano zależność maksymalnej zawartości martenzytu i intensywności naprężeń szczątkowych od parametrów temperaturowego pola podgrzewania i szerokości strefy wpływu termicznego (SWT). Przeanalizowano wpływ parametru rozproszenia w źródle (charakteryzującego rozkład energii cieplnej w nim) na maksymalną zawartość martenzytu, naprężenia szczątkowe i wymiary SWT.

Podane są wyniki badań wpływu dodatkowej lokalnej izolacji cieplnej powierzchni płyty na szczątkowy stan fazowy i sprężysty rozważanej płyty przy technologicznym nagrzewaniu przez ruchome źródła ciepła.

Otrzymane w pracy rezultaty są wynikiem kontynuowania wspólnych naukowych badań Politechniki Opolskiej z problemów modelowania oraz optymalizacji przy opracowaniu procesów wytwórczych w ramach współpracy naukowej z Instytutem Problemów Stosowanych Mechaniki i Matematyki Narodowej Akademii Nauk Ukrainy (Lwów, Ukraina).

Obecne rezultaty mogą być korzystne naukowym, inżyniersko-technicznym pracownikom, wykładowcom, doktorantom i studentom, które opracowują różne problemy teoretycznego rozwiązywania zadań powiązanych z opisem fizyczno-mechanicznych procesów w wyrobach przy obecności strukturalnych zmian, a również inne problemy mechaniki oraz mechaniki pól połączonych przy uwzględnieniu przekształceń fazowych.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, R. IVAS'KO¹, R. KUSHNIR¹, A. STANIK-BESLER²

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

²Opole University of Technology (Poland)

ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI CIAŁ PRZEWODZĄCYCH PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM

Sformułowano występujące przy opracowaniu technologii obróbek, opartych na wykorzystaniu elektromagnetycznych oddziaływań, zagadnienia termomechaniki ciał przewodzących elektryczność przy oddziaływaniu zewnętrznych pól elektromagnetycznych (PEM) oraz podany zostanie schemat obliczeniowy rozwiązywania tych zagadnień. Przy tym przyjmuje się, że PEM jest oddziaływaniem zewnętrznym względem ciała, które wywołuje powstanie w tym ciele czynników: produkcji cieplnej oraz sił i momentów ponderomotorycznych. Skutkiem tych czynników są pola temperatur, przemieszczeń, odkształceń i naprężeń, które mogą mieć istotny wpływ na funkcjonalne i ekologiczne charakterystyki odpowiednich elementów maszyn i urządzeń przy ich budowie czy eksploatacji [1, 4, 6, 8, 14 i in.].

Zazwyczaj przy obróbce elektromagnetycznej stosowane są PEM o charakterystycznych wartościach natężenia zewnętrznego pola magnetycznego $H_0 \leq 10^7 \text{ Am}^{-1}$ oraz częstościach kołowych $\omega < 10^8 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Przy tych parametrach w większości rozpatrywanych zagadnień termomechaniki ciał przewodzących przyjmuje się, że przemieszczenia, odkształcenia i ich prędkości w badanych ciałach są na tyle małe, że spełniają założenia liniowej teorii sprężystości [5, 12 i in.], a wpływ ruchu ciała na charakterystyki PEM jest pomijalny [1, 2, 4, 9 i in.]. Rozważa się materiały, dla których efekty elektromechaniczne i termoelektryczne są małe i można je pominąć. Przy spełnieniu powyższych założeń w szeregu prac poświęconych badaniom różnych problemów nagrzewania indukcyjnego oraz stanu termomechanicznego konkretnych ciał nieferromagnetycznych i niedielektrycznych (do których można odnieść i ciała liniowe względem własności elektrycznych i magnetycznych), oddziaływanie ustalonych i niestacjonarnych PEM uwzględnia się przez produkcję ciepłą (ciepło Joule'a) i siły ponderomotoryczne przy nieistotnym wpływie ruchu środowiska na parametry PEM i prądy elektryczne [1, 2, 4, 6, 7, 10, 12 i in.]. Charakterystyki materiałowe przyjmuje się niezależnymi od temperatury, a odpowiednie wektorowe parametry opisujące PEM (natężenia oraz przesunięcia i prądy) – wzajemnie równoległymi [6, 8, 13-15].

Rozważamy izotropowe ciało przewodzące, liniowe względem własności elektrycznych i magnetycznych, zajmujące obszar $\Omega \subset \mathbf{E}^3$ (ograniczony zamkniętą powierzchnią S o równaniu $\vec{r} = \vec{r}_0$, gdzie \vec{r} – promień wodzący punktu)

przy oddziaływaniu PEM. Pole to określone jest przez zadaną gęstość prądów $\vec{j}^{(0)}(\vec{r}, t)$, $\vec{r} \in V$, $t \in (0; \infty)$ rozłożonych w środowisku zewnętrznym V lub wartość $\vec{E}_0(\vec{r}_0, t)$ natężenia pola elektrycznego $\vec{E}(\vec{r}_0, t)$ albo wartość $\vec{H}_0(\vec{r}_0, t)$ natężenia pola magnetycznego $\vec{H}(\vec{r}_0, t)$ na powierzchni S , które są funkcjami odpowiedniego promienia wodzącego \vec{r} i czasu t .

Przyjmuje się, że procesy cieplne i mechaniczne są wynikiem działania produkcji cieplnej i sił ponderomotorycznych, oraz że są znane (wyznaczone eksperymentalnie lub na podstawie modeli fizycznej budowy rozważanych ciał) wartości charakterystyk materiałowych (elektromagnetycznych: σ – współczynnika przewodnictwa elektrycznego, ε i μ – stałych bezwzględnych przenikalności elektrycznej i magnetycznej; cieplnych: λ – współczynnika przewodnictwa cieplnego, κ – współczynnika wyrównania temperatur; mechanicznych: α_t – współczynnika liniowej rozszerzalności cieplnej, E – modułu Younga, ν – współczynnika Poissona) [4-6, 8, 11, 15 i in.].

Otrzymuje się wówczas przy określeniu powstających procesów elektromagnetycznych, cieplnych i mechanicznych przy stałych charakterystykach materiału niepowiązane (jednostronnie powiązane) zagadnienie elektromagnetotermomechaniki [1, 2, 4, 8, 10-12 i in.], w którym wyjściowe zagadnienia w modelu matematycznym są formułowane w dwóch etapach [1, 2, 4, 12 i in.]. W pierwszym etapie określa się zależności opisujące parametry PEM w ciele i środowisku zewnętrznym. Przy tym wykorzystuje się teorię elektrodynamiczną i uzupełniającą ją związki konstytutywne (równania fizyczne), które określają własności magnetyczne, polaryzacyjne i przewodność elektryczną ciał. Postaci związków konstytutywnych wyznacza się na podstawie szczególnych własności elektrofizycznych materiałów, przy istniejącym typie zewnętrznego oddziaływania elektromagnetycznego [1, 6-8, 11 i in.]. Następnie zapisuje się wyrażenia na produkcję ciepłą i siły ponderomotoryczne jako funkcje parametrów elektromagnetycznych.

W drugim etapie formułuje się zagadnienia termomechaniki, w których źródłami ciepła i objętościowymi czynnikami siłowymi odpowiednio są produkcja ciepła i czynniki ponderomotoryczne wyznaczone w pierwszym etapie [4, 5, 10, 11, 15 i in.]. Jeżeli nie uwzględnia się termosprężystego rozproszenia energii, to zagadnienie termomechaniki rozdziela się na odpowiednie niezależne zagadnienia cieplne i mechaniczne (określające naprężenia przy znanej temperaturze i siłach objętościowych). Przy krótkotrwałym oddziaływaniu elektromagnetycznym, zagadnienia termomechaniki rozważa się również w ujęciu adiabatycznym [4, 8, 10, 11 i in.].

W ten sposób przy takim ujęciu zagadnienia na wyznaczenie parametrów PEM w ciele i zagadnienia termomechaniki związane z poszukiwaniem pól temperaturowych i mechanicznych przy oddziaływaniu PEM, rozdzielają się.

Odpowiednio do wyżej wymienionego w pierwszym etapie określamy parametry PEM w ciele.

Rozważany obszar w przypadku ogólnym zawiera próżnię V (w której zadane są prądy elektryczne wytwarzające PEM) oraz ciało Ω . Za wyjściowe przy opisie PEM przyjmujemy znane równania Maxwella dla środowiska zewnętrznego (które względem własności elektrycznych i magnetycznych rozpatrujemy w przybliżeniu jako próżnię) [6, 10, 11, 13, 15 i in.]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H}^{(0)} &= \frac{\partial \vec{D}^{(0)}}{\partial t} + \vec{j}^{(0)}, & \operatorname{rot} \vec{E}^{(0)} &= -\frac{\partial \vec{B}^{(0)}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \vec{D}^{(0)} &= \Omega_*^{(0)}, & \operatorname{div} \vec{B}^{(0)} &= 0, \quad \vec{r} \in V, t \in (0; \infty) \end{aligned} \quad (1)$$

i ciała liniowego (względem własności elektrycznych i magnetycznych, które określamy przy pomocy stałej elektrycznej i magnetycznej przenikalności oraz stałego współczynnika przewodnictwa elektrycznego):

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{j}_C, & \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \Omega_*, & \operatorname{div} \vec{B} &= 0, \quad \vec{r} \in \Omega, t \in (0; \infty). \end{aligned} \quad (2)$$

W przedstawionych zależnościach: \vec{E} , \vec{H} – wektory natężenia pola elektrycznego i magnetycznego; \vec{B} , \vec{D} – wektory przesunięcia elektrycznego i magnetycznego (indukcji elektrycznej i magnetycznej); $\vec{j}_C = \vec{j}_p + \vec{j}$ – wektor gęstości prądu elektrycznego całkowitego; \vec{j} – wektor gęstości prądu przewodzenia; $\vec{j}_p = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ – wektor gęstości prądu przesunięcia; Ω_* – objętościowa gęstość swobodnego ładunku elektrycznego; wskaźnikami „0” oznaczono wielkości dla środowiska zewnętrznego nieprzewodzącego (próżni). W ten sposób PEM w środowisku jest określone przez sześć parametrów (pięć wektorowych i jeden skalarny). Zewnętrzne prądy $\vec{j}^{(0)}$ oraz ładunki $\Omega_*^{(0)}$ są zadanymi funkcjami współrzędnych i czasu (wyjściowe czynniki powodujące powstanie PEM w układzie *ciało – środowisko zewnętrzne*).

Dla izotropowych ciał niedielektrycznych, nieferromagnetycznych (do których praktycznie należą rozpatrywane ciała liniowe) parametry PEM w ciele i środowisku zewnętrznym (wektory natężeń i indukcji pola elektrycznego i magnetycznego) przy niestacjonarnym jak również i quasi-ustalonym PEM są równoległe i proporcjonalne, a wektor gęstości prądu przewodzenia \vec{j} jest proporcjonalny do \vec{E} (prawo Ohma) [6, 13, 15 i in.]. Dla środowiska zewnętrznego związku wiążące te parametry przyjmuje się jak dla próżni. Wtedy równania materiałowe (związki konstytutywne), uzupełniające równania Maxwella (1), (2) dla środowiska zewnętrznego i ciała przewodzącego w rozważanym przypadku są związkami liniowymi, a więc mają postać [4, 6, 15 i in.]:

$$\begin{aligned} \vec{D}^{(0)} &= \varepsilon_0 \vec{E}^{(0)}, \quad \vec{B}^{(0)} = \mu_0 \vec{H}^{(0)} \quad \text{przy } \vec{r} \in V, \quad t \in [0; \infty); \\ \vec{D} &= \varepsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H}, \quad \vec{j} = \sigma \vec{E} \quad \text{przy } \vec{r} \in \Omega, \quad t \in [0; \infty), \end{aligned} \quad (3)$$

gdzie: ε_0 , μ_0 – elektryczna i magnetyczna przenikalność próżni; $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_*$, $\mu = \mu_0 \mu_*$ – elektryczna i magnetyczna przenikalność ciała (ε_* , μ_* – odpowiednie stałe charakteryzujące względne przenikalności); σ – współczynnik przewodnictwa elektrycznego (przewodnictwo właściwe). Zatem dla wyznaczania parametrów PEM w każdym środowisku konieczne są trzy elektromagnetyczne charakterystyki materiałowe (ε , μ , σ), które w stosowanym ujęciu przyjmujemy jako stałe (w szczególności równe średnim w przedziale rozpatrywanych temperatur). Charakterystyki te są wielkościami otrzymywanymi eksperymentalnie lub teoretycznie dla konkretnych modeli ciał [6, 8, 13, 15 i in.]. Wyjściowe równania różniczkowe oraz odpowiednie zagadnienia na wyznaczanie parametrów opisujących PEM sformułowane są w [3, 4, 6, 13, 15 i in.].

Przyjmujemy omówione poprzednio założenie, że działanie PEM w stosunku do ciała przewodzącego elektryczność (które dalej będziemy przyjmować w ujęciu liniowego względem elektrycznych i magnetycznych właściwości) jest oddziaływaniem zewnętrznym i jego wpływ na procesy przewodnictwa ciepła i odkształcenia uwzględnia się przez spowodowane PEM produkcję ciepłą Q_* i siły elektryczne \vec{F}_E i magnetyczne \vec{F}_H , rozłożone w ciele w sposób ciągły [2, 4, 6-8, 11, 15 i in.].

Zatem dla opisu stanu termosprężystego w przyjętym ujęciu można stosować znane teorie termosprężystości (quasi-statyczną czy dynamiczną sprzężoną lub niesprężoną) przy działaniu źródeł ciepła Q_* i sił objętościowych \vec{F}_* ($\vec{F}_* = \vec{F}_E + \vec{F}_H$) [5, 7, 10, 12 i in.], ustalonych na podstawie rozwiązania zagadnienia pierwszego etapu (wyznaczania PEM).

W wyjściowych założeniach rozważmy ogólny przypadek uwzględniając dynamiczny charakter elektromagnetycznego obciążenia oraz termosprężyste rozproszenie energii. Ograniczymy się do pól mechanicznych i temperaturowych w środowisku izotropowym i jednorodnym, w którym charakterystyki materiałowe są wielkościami stałymi. Dla rozpatrywanego przypadku z teorii termosprężystości (przy uwzględnieniu źródeł ciepła Q_* i sił objętościowych \vec{F}_* oraz termosprężystego rozproszenia energii) na podstawie termodynamiki procesów nieodwracalnych, przy małym zaburzeniu termicznym [5, 10, 11 i in.] otrzymujemy następujące równania wyjściowe, opisujące pola temperaturowe i mechaniczne [1, 5, 7, 8, 10-12 i in.]:

$$\Delta T + \frac{Q_*}{\lambda} - \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\alpha_r E T_0}{\lambda(1-2\nu)} \operatorname{div} \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = 0,$$

$$\begin{aligned} \text{Div} \hat{\sigma} + \vec{F}_* &= \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \\ \hat{\sigma} &= 2G \left[\hat{e} + \left(\frac{\nu}{1-2\nu} e_* - \frac{\alpha_i(1+\nu)}{(1-2\nu)} T \right) \hat{g} \right], \\ \hat{e} &= \text{Def} \vec{u}. \end{aligned} \quad (4)$$

W zależnościach (4) T jest odchyleniem temperatury od wartości początkowej T_0 [K], $e_* = g^{\alpha\beta} e_{\alpha\beta}$; $\hat{g} = \{g_{kj}\}$ jest metrycznym tensorem, dla którego $g_{kj} = 0$ dla $k \neq j$ i $g_{kj} = (h_k^*)^2$ dla $k = j$, gdzie h_k^* są współczynnikami Lamego [5]; λ jest współczynnikiem przewodnictwa cieplnego, α – współczynnikiem wyrównania temperatur, α_i – współczynnikiem liniowej rozszerzalności cieplnej; $G = E/2(1+\nu)$ – modułem ścinania, E – modułem Younga, ν – współczynnikiem Poissona, ρ – gęstością środowiska; Q_* , \vec{F}_* – rozłożonymi w sposób ciągły źródłami ciepła i siłami objętościowymi;

$$\text{Div} \hat{\sigma} = \vec{\nabla} \cdot \hat{\sigma} = \left\{ \frac{\partial \sigma^{mk}}{\partial x^m} + \Gamma_{jm}^m \sigma^{mj} \right\}, \quad (5)$$

$$\text{Def} \vec{u} = \frac{1}{2} (\vec{\nabla} \vec{u} + \vec{u} \vec{\nabla}) = \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_k}{\partial x^j} + \frac{\partial u_j}{\partial x^k} + 2\Gamma_{kj}^\alpha u_\alpha \right) \right\}, \quad m, j, k, \alpha = \overline{1, 3};$$

Δ jest operatorem Laplace'a, $\vec{\nabla}$ – operatorem Hamiltona; Γ_{kj}^α – symbolami Christoffela [2, 5, 7 i in.]; powtarzające się wskaźniki są wskaźnikami sumowania.

Do równań (4) należy dołączyć warunki początkowe i brzegowe (cieplne i mechaniczne) odpowiadające sposobom nagrzewania i zamocowania ciała. Dynamiczne równania termosprężystości możemy formułować zarówno w przemieszczeniach jak i naprężeniach [1, 2, 4, 5, 12 i in.].

Jeżeli PEM jest wytwarzane działającymi poza ciałem prądami z zakresu AM (radiowego z modulacją amplitudy), to takie PEM nazywane jest quasi-ustalonym (QUPEM). Dla takich pól, z uwzględnieniem struktury parametrów, które opisują PEM w quasi-ustalonym przybliżeniu, w liniowych ciałach przewodzących, ciepło Joule'a i siły ponderomotoryczne otrzymuje się w postaci sumy mało zmieniających się w czasie i prawie-okresowych (o okresie 2ω . gdzie ω – częstość kołowa) składowych [1, 2, 4, 12 i in.]. Zgodnie z tym, temperaturę i naprężenia szuka się w postaci sumy składowych analogicznej zmienności w czasie. Przy tym mało zmieniające się składowe temperatury i naprężeń wyznacza się w ujęciu quasi-statycznym, pomijając związki między odkształceniami a temperaturą. Prawie-okresowe składowe wyznacza się w ujęciu quasi-ustalonym ze sprzężonego zagadnienia dynamicznej termosprężystości.

Zauważmy, że w inżynierskich zastosowaniach często jest konieczne zabezpieczenie granicznej nośności wyrobów. Przy obciążeniu elektromagnetycznym, zakładając, że temperatura i składowe tensora naprężeń są już wyznaczone ze sformułowanych wyżej zagadnień, parametry PEM, przy których nie jest przekroczona graniczna nośność rozważanych ciał, określone są warunkiem [1, 8 i in.]:

$$\sigma_i = \sqrt{3I_2(\bar{\sigma}) - I_1^2(\bar{\sigma})} / \sqrt{2} \leq \sigma_d \quad (6)$$

(intensywność σ_i naprężeń nie przekracza dopuszczalnej), gdzie $I_j(\bar{\sigma})$, $j = 1; 2$ są niezmiennikami tensora naprężeń. Z warunku (6) mogą być ustalone wartości parametrów PEM, przy których nie jest przekroczona graniczna nośność odpowiednich elementów konstrukcji czy maszyn przy ich budowie lub eksploatacji.

W ten sposób przy wyznaczaniu temperatury spowodowanej oddziaływaniem PEM, a także składowych tensorów naprężeń i odkształceń oraz określaniu wartości parametrów PEM, przy których nie jest przekroczona graniczna nośność ciał, wyjściowymi są wyrażenia dla czynników oddziaływanie PEM, które wyrażamy przez parametry opisujące PEM.

LITERATURA

- [1] BURAK Ja.J., HACZKIEWICZ O.R., TERLECKIJ R.F.: Termomechanika bahatokomponentnych tił nyzkoji elektroprowidnosti. Wyd. Społom, Lwiv 2006, 296 s. Tom 1 serii monografii: Modeljuwannia ta optyimizacija w termomechanici elektroprowidnych nieodnorodnych tił (pod red. Ja.J. Buraka i R.M. Kusznira).
- [2] GACZKIEWICZ A., KASPERSKI Z.: Modele i metody matematyczne w zagadnieniach brzegowych termomechaniki ciał przewodzących. Studia i Monografie, z. 110, OW Politechniki Opolskiej, Opole 1999.
- [3] HACHKEVYCH O., SZYMCZAK J.: Wyznaczanie niestacjonarnych pól elektromagnetycznych w termomechanice powłok przewodzących. Studia i Monografie, z. 240, OWPO Opole 2009.
- [4] HACHKEVYCH O., SZYMCZAK J.: Wyznaczanie quasi-ustalonych pól elektromagnetycznych w termomechanice powłok przewodzących. Studia i Monografie, z. 304, OWPO Opole 2011.
- [5] KOVALENKO A.D.: Selected Works [in Russian], Naukova Dumka, Kiev 1976.
- [6] LANDAU L.D., LIFSZIC E.M.: Elektrodynamika ośrodków ciągłych, PWN, Warszawa 1960.
- [7] MAUGIN G.A., ERINGEN A.C.: On the equations of the electromagnetics of deformable bodies of finite extent, J. Mecanique, 16, 1977, p. 101-147.

- [8] Mechanical Modelling of New Electromagnetic Materials, Ed. by R.K.T. HSIEH: Proc. of the IUTAM Symp., Stockholm, 2-6 April 1990, Elsevier, Amsterdam etc. 1990.
- [9] MOON F.C.: Problems in magneto-solid-mechanics, Mechanics Today, 1978, p. 307-390.
- [10] NOWACKI W.: Efekty elektromagnetyczne w stałych ciałach odkształcalnych, PWN, Warszawa 1983.
- [11] PARTON V.Z. and KUDRYAVTSEV B.A.: Electromagnetoelasticity of Piezoelectric and Electrically Conducting Bodies [in Russian], Nauka, Moscow 1988.
- [12] PODSTRIGACH Ya.S., BURAK Ya.J., GACHKIEVICH A.R. and CHERNYAVSKAYA L.V.: Thermoelasticity of Electrically Conducting Bodies [in Russian], Naukova Dumka, Kiev 1977.
- [13] RAWA H.: Elektryczność i magnetyzm w technice, PWN, Warszawa 1994.
- [14] RODIGIN N.M.: Induction Heating of Steel Equipment by Currents of Normal Frequency [in Russian], Metallurgizdat, Sverdlowsk 1950.
- [15] TAMM I.E.: Foundations of the Theory of Electricity [in Russian], Nauka, Moscow 1976.

I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH



Z. KOSTRZYCKA

Opole University of Technology (Poland)

SELECTED ASYMPTOTIC PROPERTIES OF SOME FRAGMENTS OF FUZZY LOGICS

In this paper we focus on several fuzzy logics. We consider the standard fragment $\{\rightarrow, \neg\}$ of these logics and computer the proportion of tautologies and satisfiable formulas among all formulas.

Fuzzy logic is many-valued logic and concerns inaccurate reasoning. There are many possibilities for different definitions of its functors (including implications), which entails different definitions for the inference operator. In modeling and fuzzy control, inferences of following type are used: if $(x = A_1)$, then $(y = B_1)$ and ... and $(x = A_n)$, then $(y = B_n)$, and their number is usually very large. We quote "... using different logical operators in the process of inference, very different result are obtained. (...). Implicit question is immediately asked which operators allow to obtain the highest accuracy of modeling and control fuzzy? In the case of non-conventional models and fuzzy regulators, the influence of the operators is much stronger, since the selection of the wrong operators can not be compensated for, in this case the trial and error method should be used, examining the accuracy (effectiveness) of the model with different operators and choose the set of operators giving the best results. "

One can see that the selection of definitions of logical operators in fuzzy design is most often dictated by the achievement of the intended effects.

There are many definitions of basic logical connectives in fuzzy logic. We will omit here the functors of conjunction, alternatives and negations, we will focus on the connective of the fuzzy implications (and in consequence – negations). In literature, seven different fuzzy implications are mentioned: Łukasiewicz's implication, the Kleene-Dienes implication, Gödel's implication, Yager's implication, Zadeh's implication, Mamdani's implication and the algebraic product implication. And these implications are not the unique ones.

In this paper we examined some fragments of these different fuzzy logics (with different definitions of implication); more exactly - their implicational-negational fragments with one sentential variable. We examined what "density of truth" they have. We counted which logic is stronger and has more rich class of the satisfied formulas.

V. KULYK¹, D. PĄCZKO²

¹ Silesian University of Technology (Poland)

² Opole University of Technology (Poland)

PEWNE KONSTRUKCJE FUNKCJI LAPUNOWA W TEORII LINIOWYCH ROZSZERZEŃ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH

W pracy badane jest zagadnienie istnienia funkcji Greena dla układu w postaci

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x), \\ \frac{dy}{dt} = A(x)y, \end{cases} \quad (1)$$

w którym $x \in \mathbb{R}^m$, $y \in \mathbb{R}^n$, $f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$ jest funkcją wektorową określoną dla wszystkich $x \in \mathbb{R}^m$. Macierz $A(x)$ jest kwadratowa o wymiarach $n \times n$, której elementami są funkcje rzeczywiste, ciągłe i ograniczone na \mathbb{R}^m , czyli z przestrzeni $C^0(\mathbb{R}^m)$.

Okazuje się, że jeśli dla układu (1) istnieje funkcja Greena, to inwariantną rozmaitość dla odpowiedniego układu niejednorodnego:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x), \\ \frac{dy}{dt} = A(x)y + h(x), \end{cases} \quad (2)$$

zwanego liniowym rozszerzeniem układu dynamicznego, można zapisać w postaci całkowej dla dowolnej funkcji $h(x) \in C^0(\mathbb{R}^m)$. Problem ten związany jest z istnieniem ograniczonych rozwiązań układu równań

$$\frac{dy}{dt} = A(x(t; x))y + h(t),$$

dla dowolnej ustalonej ciągłej funkcji $h(t)$ ograniczonej na \mathbb{R} , gdzie $x = x(t; x)$ jest rozwiązaniem zadania Cauchy'ego

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = f(x), \\ x|_{t=0} = x_0, \end{cases}$$

Przy pomocy odpowiednio zbudowanych funkcji Lapunowa w pracy podane są warunki konieczne regularności, a więc zagadnienie istnienia jedynej funkcji Greena dla układu (1). Podobne badania były prowadzone w pracach [1, 2].

LITERATURA

- [1] MITROPOLSKIJ J, SAMOILENKO A. M., KULYK V. L.: Dichotomies and stability in nonautonomous linear systems. Taylor & Francis Inc, London 2003.
- [2] PĄCZKO D., KULYK V.: Some conditions of regularity of linear extensions of dynamical systems with respect to selected variables. *Nonlinear Analysis: Modelling and Control*, 2014, vol. 19, no. 4, 602–610.

O. TERESHCHUK³, Yu. GOLOVATY², V. FLYUD^{1,2}

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

³ Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy (Ukraine)

ON A HYPERBOLIC SYSTEM OF FIRST-ORDER EQUATIONS WITH A SMALL PARAMETER FOR THE DERIVATIVES

The new problems modelling two types of oscillatory perturbations – “slow” (mechanical) and “rapid” (electromagnetic) – arise in the field of natural science, physics and technology. According to the theory of hyperbolic equation and systems with two independent values it means that some of the characteristics of the certain system aren't orthogonal to the coordinate system, but some of them are orthogonal [6]. The question arises about the correlation between indicated problems and problems with characteristics being orthogonal to each other (perpendicular to the axis of coordinates). Such problems are found in the theory of asymptotic methods of research of the problems with small parameter and the first order derivatives in the hyperbolic systems of the equation [3]. They are also widely applied in practice (see e. g. [4], [5], [8]).

In this report, in contrast to [3], we consider the case of the hyperbolic system which corner characteristics coefficients have different signs. We also used asymptotic methods of research of the singularly perturbed problems from [2] and [7].

In domain $\Omega = \{(t, x): 0 < x < 1, 0 < t < T < +\infty\}$ let us consider the system of two equations (where $\varepsilon > 0$ is a small parameter)

$$\begin{cases} \varepsilon \cdot \partial_t u^\varepsilon + \partial_x u^\varepsilon = a_{11} u^\varepsilon(t, x) + a_{12} v^\varepsilon(t, x) + f(t, x), & (t, x) \in \Omega, \\ \partial_t v^\varepsilon - \varepsilon \cdot \partial_x v^\varepsilon = a_{21} u^\varepsilon(t, x) + a_{22} v^\varepsilon(t, x) + g(t, x), & (t, x) \in \Omega, \end{cases} \quad (1)$$

with the boundary conditions

$$\begin{aligned} u^\varepsilon(0, x) &= \varphi(x), \quad v^\varepsilon(0, x) = \psi(x), \quad \text{for } x \in (0, 1), \\ u^\varepsilon(t, 0) &= \mu(t), \quad v^\varepsilon(t, 1) = \nu(t), \quad \text{for } t \in (0, T). \end{aligned} \quad (2)$$

Let us construct asymptotic expansion of the solution $\{u^\varepsilon, v^\varepsilon\}$ of this problem for sufficiently small value $\varepsilon > 0$. The special feature of this problem lies in parameter ε that stands in the first equation by the time derivative, and in the second equation – by the spatial derivative. Another particularity consists in the difference of the characteristic directions. This results into specific singularity of the solution and it's asymptotic.

We consider classical solution to the problem (1)-(2), i. e. solution that is continuous in domain $\bar{\Omega} = \{(t, x): 0 \leq x \leq 1, 0 \leq t < T < +\infty\}$. The solution has also the first-order continuous derivatives that satisfy system (1), as well as

the boundary conditions (2). For the construction and argumentation of the asymptotic expansion of the solution to the problem (1)-(2) we assume the following conditions must be met:

- i)* the functions f, g in Ω , φ, ψ in $(0,1)$, μ, v in $(0,T)$ are sufficient smoothness (the order of the smoothness depends on the asymptotic order);
- ii)* fulfillment of the matching conditions of the zero and first order:

$$\begin{aligned} \varphi(0) &= \mu(0), \\ \psi(1) &= v(0), \\ \mu'(0) &= 0, \\ \psi'(1) &= 0, \\ \varphi'(0) &= a_{11}(0,0)\varphi(0) + a_{12}(0,0)\psi(0) + f(0,0), \\ v'(0) &= a_{21}(0,1)\varphi(1) + a_{22}(0,1)\psi(1) + g(0,1). \end{aligned}$$

Under the assumptions *i), ii)* for every fixed value of the parameter ε there exists the unique classical solution to the problem (1)-(2) [1]. Let us mark there is no need in supplementary conditions a_{ij} ($i = j$) to construct and argument asymptotic of the solution.

The following theorem holds.

Theorem. *Let us the assumptions **i), ii)** holds. Then the solution of the problem (1)-(2) admits asymptotic expansion of the form:*

$$\begin{aligned} u^\varepsilon(t, x) &= U_0(t, x) + u_0^{(0)}(\tau, x) \\ &\quad + \sum_{k=1}^3 \varepsilon^k \left(U_k(t, x) + u_k^{(0)}(\tau, x) + u_k^{(1)}(t, \xi) + u_k^{(2)}(\tau, \zeta) \right) \\ &\quad + R^u, \\ v^\varepsilon(t, x) &= V_0(t, x) + v_0^{(1)}(t, \xi) \\ &\quad + \sum_{k=1}^3 \varepsilon^k \left(V_k(t, x) + v_k^{(0)}(\tau, x) + v_k^{(1)}(t, \xi) + v_k^{(2)}(\tau, \zeta) \right) \\ &\quad + R^v, \end{aligned}$$

where remainder term of asymptotic expansion satisfy estimation

$$|R^u(t, x; \varepsilon)| \leq C_1 \varepsilon^2, \quad |R^v(t, x; \varepsilon)| \leq C_2 \varepsilon^2.$$

C_1, C_2 are some constants, independent of ε .

REFERENCES

- [1] V Abolinya and A Myshkis. A mixed problem for linear hyperbolic system on the plane. Uchionye Zap. Latviisk. Univ., 20:87–104, 1958.

- [2] V. Butuzov and E. Derkunova. On a singularly perturbed system of first-order partial differential equations with various degrees of a small parameter. *Differential Equations*, 42(6):826–841, 2006.
- [3] V. Butuzov and A. Karashchuk. On a singularly perturbed system of equations in the first partial derivatives. *Math. Notes*, 57, 1995.
- [4] S. Gui X. Chien and A. Friedman. A hyperbolic free boundary problem modeling tumor growth: asymptotic behavior. *Trans. Amer. Math. Soc.*, 357(12), 2005.
- [5] P. Kordulova. Quasilinear hyperbolic equations with hysteresis. *J. of Physics: Conference Series*, 55:135–143, 2006.
- [6] O. Maulenov and A. Myshkis. On the solvability of a mixed problem for degenerate semilinear hyperbolic system on the interval. *Math. Of the Kazakh SSR. Ser.fiz.-mat.*, 5:25–29, 1981.
- [7] A. Vasil'eva and V. Butuzov. *Asymptotic methods in the theory of singular perturbations*. Graduate School, Moscow, Russia, 1990.
- [8] Z. Wang. Exact controllability for nonautonomous first order quasilinear hyperbolic systems. *Chin. Ann. Math.*, 27B(6), 2006.

H. SHYNKARENKO^{1,2}, B. VASYLYSHYN¹

¹ Ivan Franko National University of Lviv (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

**OSZACOWANIE BŁĘDÓW APROKSYMACJI METODY
ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH DLA PROBLEMU
SKRĘCANIA PRĘTA**

Ocena Prager'a-Synge'a jest dokładnym estymatorem błędów aproksymacji metody elementów skończonych (MES) w problemach wariacyjnych minimalizacji funkcjonałów kwadratowych. Podłoże tego podejścia oparte na parowaniu dwoistym rozwiązań zagadnień sprzężonych. W problemie skręcania pręta taką parą występuje funkcja Saint-Venant'a $\psi = \psi(x)$ i funkcja Prandtl'a $u = u(x)$, $x = (x_1, x_2) \in \Omega$, gdzie obszar $\Omega \subset R^2$ jest przekrojem pręta.

Po użyciu słabych sformułowań problemu brzegowego w postaci funkcji Prandtl'a i funkcji Saint-Venant'a dyskretyzujemy te zagadnienia metodą elementów skończonych z częściowo liniowymi lub częściowo kwadratowymi przybliżeniami na siatkach trójkątnych. Po obliczeniu przybliżeń $\psi_h = \psi_h(x)$ i $u_\Delta = u_\Delta(x)$ metodą Prager'a-Synge'a znajdujemy dokładne oszacowanie błędów a posteriori dla sumy obu aproksymacji dualnych w postaci

$$E^2(\nabla \psi_h, \nabla u_\Delta) := \|z\|_\Phi^2 - [\|\nabla \psi_h\|_\Phi^2 + \|u_\Delta\|_V^2] \quad \forall h, \Delta > 0, \quad (1)$$

gdzie $z = (x_2, -x_1)$, Φ i V są przestrzenia funkcji dopuszczalnych.

W tym badaniu aby oszacować błąd każdego przybliżenia osobno, wykorzystujemy powyższe parowanie dualności. Zatem, mając obliczony gradient aproksymacji $\nabla \psi_h$, możemy znaleźć gradient $\nabla \bar{u}_h$ z tego parowania i ocenę błędu przybliżenia funkcji skręcania Saint-Venant'a

$$\eta^2(\psi_h) := E^2(\nabla \psi_h, \nabla \bar{u}_h) = \|z\|_\Phi^2 - [\|\nabla \psi_h\|_\Phi^2 + \|\nabla \bar{u}_h\|_V^2] \quad \forall h > 0. \quad (2)$$

W ten sam sposób, mając u_Δ , znajdujemy oszacowanie błędu przybliżenia funkcji naprężenia Prandtl'a

$$\eta^2(u_\Delta) := E^2(\nabla \bar{\psi}_\Delta, \nabla u_\Delta) = \|z\|_\Phi^2 - [\|\nabla \bar{\psi}_\Delta\|_\Phi^2 + \|\nabla u_\Delta\|_V^2] \quad \forall \Delta > 0. \quad (3)$$

Za pomocą estymatorów (1)-(3) konstruujemy h -adaptacyjne schematy MES, których strategia lokalnego wyrafinowania siatki wymaga osiągnięcia gwarantowanej tolerancji błędy przy równomiernym rozkładzie wskaźników estymatorów między elementami skończonymi.

Ponadto wykazujemy skuteczność i rzetelność tej metodologii wynikami numerycznej symulacji zagadnienia skręcania pręta z L-podobnym przekrojem.

H. ŚCIEGOSZ

Opole University of Technology (Poland)

ZASTOSOWANIE METODY PIERWIASTKÓW KANONICZNYCH DO ANALIZY OSCYLACJI REGULARNYCH I CHAOSU

Celem pracy było sprawdzenie, w jakim stopniu początkowe oscylacje determinują zachowanie systemu w przyszłości, czy taki związek istnieje, a jeśli tak, jaki jest jego zakres i kierunek. W tym celu zastosowano złożoną procedurę wnioskowania statystycznego, zwaną analizą kanoniczną. Jej podstawowe pojęcia i koncepcje zostały opracowane przez H. Hotellinga [1]. Analiza kanoniczna jest uogólnieniem regresji wielokrotnej na dwie grupy zmiennych i umożliwia badanie relacji między nimi. Pozwala sprawdzić, czy zmienne jednej grupy można wykorzystać do wyjaśnienia jak największego zakresu zmienności zmiennych z innej grupy. Jako przykład zachowania oscylacyjnego wykorzystano szeregi czasowe zarejestrowane podczas reakcji B-Z prowadzonej w układzie otwartym ze stałym mieszaniną. Stwierdzono przejście do oscylacji poprzez bifurkację Hopfa. Testowano zewnętrzne okresowe zaburzenie w pobliżu bifurkacji. Znalaziono wiele jakościowo różnych odpowiedzi, od synchronizacji poprzez oscylacje wielokrotne i tzw. bursting do chaosu. Szczegóły przeprowadzonych eksperymentów oraz ich rezultatów zostały przedstawione między innymi w pracach [2-4]. Obliczenia związane z analizą kanoniczną przeprowadzono za pomocą pakietu STATISTICA.

Wartość całkowitej redundancji zbioru objaśnianego (prawego) jest jednym z najważniejszych wskaźników podczas analizy kanonicznej, ponieważ mówi o odsetku całkowitej wariancji tego zbioru, wyjaśnionym w modelu. Jego większa wartość daje większą przewidywalność przy użyciu uzyskanego modelu. Taka sytuacja miała miejsce w przypadku regularnych oscylacji. Wyznaczony model miał postać trzech par pierwiastków kanonicznych:

1. $U_1 = -X_2; V_1 = Y_3;$
2. $U_2 = -5,534X_1 + 5,44X_2 + 0,004X_3; V_2 = -0,019Y_1 - 5,504Y_2 + 5,431Y_3;$
3. $U_3 = -1,506X_1 + 5,456X_2 - 4,107X_3; V_3 = 9,43Y_1 - 12,181Y_2 + 2,866Y_3.$

Dla pierwszej pary pierwiastków kanonicznych największy wpływ ma oscylacja druga na oscylację szóstą. Kolejna para wyjaśnia dodatkową zmienność. Największy wkład do niej mają pierwsza i druga wpływając w znacznym stopniu na oscylacje piątą i szóstą. Kolejna para niestety nie pozwala na wyjaśnienie dalszego wpływu zmiennych ze zbioru lewego (objaśniającego) na zbiór prawy (objaśniany), gdyż nie jest istotna statystycznie. Całkowita redundancja w tym przypadku była bliska 100%, a dokładniej 99,65%.

W przypadku oscylacji chaotycznych utworzono trzy pary pierwiastków kanonicznych:

1. $U_1 = -0,325X_1 + 1,055X_2 - 0,681X_3$; $V_1 = -0,887Y_1 - 1,511Y_2 + 0,727Y_3$;
2. $U_2 = -0,148X_1 - 0,334X_2 - 0,769X_3$; $V_2 = -0,782Y_1 - 0,489Y_2 + 0,428Y_3$;
3. $U_3 = -0,95X_1 - 0,187X_2 + 0,446X_3$; $V_3 = 0,096Y_1 - 0,259Y_2 + 1,148Y_3$.

Dla pierwszej pary największe bezwzględne wartości wag mają oscylacja druga i oscylacja piąta, natomiast dla drugiej pary oscylacja trzecia i czwarta, z kolei dla trzeciej pary są to pierwsza i szósta oscylacja. Całkowita redundancja wyniosła jedynie 16,6%. Model nie pozwoliłby na wiarygodne przewidywanie dalszego zachowania systemu.

Kanoniczny współczynnik korelacji R jest również bardzo ważnym parametrem. Oznacza korelację między pierwszą i najbardziej znaczącą zmienną kanoniczną w obu zestawach (odpowiadającą pierwszym kanonicznym wartościom własnym). W przypadku regularnych oscylacji kanoniczny współczynnik korelacji R był istotny statystycznie ($p \approx 0,0$ dla testu χ^2) i równy 1,0. W przypadku chaosu współczynnik korelacji kanonicznej R okazał się również istotny statystycznie ($p \approx 0,0$ dla testu χ^2), ale mniejszy niż poprzedni i równy 0,72444.

Oprócz parametrów przedstawionych powyżej ważną informację dostarczyły kanoniczne ładunki czynnikowe, tj. korelacje między zmiennymi kanonicznymi i zmiennymi w każdym zbiorze danych. Kwadraty obciążenia czynnikowego pozwoliły na określenie udziału wariancji każdej zmiennej wyjaśnionej zmienną kanoniczną.

Reasumując, analiza kanoniczna, na podstawie wielu syntetycznych wskaźników, daje doskonały obraz wzajemnych zależności w przypadku złożonej struktury danych, które mogą być trudne do wychwycenia przy dużej liczbie zmiennych. Jest doskonałym narzędziem dostarczającym informacji o powiązaniu dwóch zbiorów danych, co pozwala na przewidywanie wartości uzyskanych w drugim zbiorze zmiennych, gdy dany jest jedynie zbiór pierwszy, a także na ustalenie, które parametry na te wartości wpływają w sposób najbardziej istotny.

LITERATURA

- [1] Hotelling, H., Y., Relations between two sets of variants, *Biometrika*, 28, 321_377 (1936).
- [2] Ściegosz H., Pokrzywnicki S., *Acta Chem. Scandinavica* Vol.43, No 10, 1989, pp. 926-931.
- [3] Sciegosz H.: Frequency and Correlation Characteristic of the Hopf Bifurcation Chemical Oscillatory Patterns, *J. Chem. and Chem. Eng.* 6, 2012, p. 284-291.
- [4] Ściegosz H.: Coupled oscillators – the isocline method and the method of circle maps, *Manufacturing processes. Actual problems - 2017, Vol I, Basic science applications in manufacturing processes, Studia i monografie z. 472 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-93-0), Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Opole 2017, Chapter 2. pp. 31-43.*

B. BOZHENKO^{1,2}, O. HACHKEYVYCH^{1,3}, A. STANIK-BESLER¹,
J. SZYMCZAK¹

¹Opole University of Technology (Poland)

²Center for Mathematical Modelling within Pidstryhach Institute
for Applied Problems of Mechanics and Mathematics NASU (Ukraine)

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

NIESTACJONARNE POLA ELEKTROMAGNETYCZNE W TYM QUAS-USTALONE W TERMOMECHANICE JEDNOSPÓJNYCH CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ

Zagadnienia na wyznaczanie parametrów pól elektromagnetycznych (PEM) są ważną podstawową składową częścią ogólnych zagadnień termomechaniki ciał przewodzących i sprowadzają się do odpowiednich zadań elektrodynamiki. Mają one też samodzielne znaczenie przy rozwiązywaniu różnych problemów teorii PEM oraz technicznych zastosowań takich pól.

W pracy prowadzone są rozważania dla wewnętrznych względem ciała zagadnień elektrodynamiki, kiedy parametrów PEM poszukuje się w jednorodnym obszarze Ω , który jest ograniczony zamkniętą powierzchnią S .

Sformułowane zostały zagadnienia wyjściowe na wyznaczanie amplitud zespolonych opisujących QUPEM w liniowych względem własności elektrycznych i magnetycznych ciałach przewodzących, z uwzględnieniem ich wewnętrznej struktury i otoczenia zewnętrznego, a również rozkładu prądów quasi-ustalonych, powodujących powstanie takich PEM. Dla rozważanych układów środowisk zagadnienia określające parametry QUPEM są sformułowane względem zespolonych amplitud natężenia pola elektrycznego jak również pola magnetycznego.

Wyjściowe zależności zapisano także w ujęciu przybliżonym, gdy pomija się prądy przesunięcia w obszarze przewodzącym (co ma nieznaczny wpływ na dokładność obliczeń parametrów QUPEM dla ciał o dobrej przewodności elektrycznej).

Na podstawie znanych warunków brzegowych na powierzchniach rozdziału środowisk, sformułowanych dla zagadnień niestacjonarnych, zapisano dla tych powierzchni dodatkowe warunki na zespolone amplitudy, przy których składowe podstawowe równania $\text{div } \vec{E} = 0$ lub $\text{div } \vec{H} = 0$ w zależnościach wyjściowych, opisujących amplitudy zespolone, spełnione są tożsamościowo w rozważanych obszarach.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, R. IVAS'KO², S. MORYŃ¹, D. TARLAKOVSKII³

¹ Opole University of Technology (Poland)

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

³ Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies),
Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State University (Russia)

DO MODELOWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO W NIEJEDNOSPÓJNYM CIELE STAŁYM PRZEWODZĄCYM ELEKTRYCZNOŚĆ

Rozpatrywane są spotykane w praktyce ciała stałe przewodzące elektryczność, które modelowane są niejednostajnymi obszarami Ω , ograniczonymi zamkniętymi powierzchniami S^+ (o równaniu $\vec{r} = \vec{r}_0^+$) i S^- (o równaniu $\vec{r} = \vec{r}_0^-$). Przy tym PEM jest wytwarzane przez układ rozłożonych w zewnętrznych względem obszaru przewodzącego Ω środowiskach dielektrycznych V^+ i V^- (w przybliżeniu próżnia ze względu na własności elektryczne i magnetyczne) zadanych quasi-ustalonych prądów elektrycznych zamkniętych (nie występujących na powierzchniach S^+ i S^- ciała) o wektorach gęstości odpowiednio $\vec{j}^{(0)+}(\vec{r}, t)$, $\vec{r} \in V^+$, $t \in [0; \infty)$ i $\vec{j}^{(0)-}(\vec{r}, t)$, $\vec{r} \in V^-$. Każdy z tych wektorów ma odpowiednią postać:

$$\begin{aligned} \vec{j}^{(0)}(\vec{r}, t) &= \vec{j}_0^*(\vec{r}, t) \cos(\omega t + \psi_0) \equiv \operatorname{Re} \vec{j}_*^{(0)}(\vec{r}, t), \\ \operatorname{div} \vec{j}_0^*(\vec{r}, t) &= 0, \quad \vec{r} \in V, \quad t \in [0; \infty), \\ (\text{lub } \vec{j}^{(0)}(\vec{r}, t) &= \vec{j}_0^*(\vec{r}, t) \sin(\omega t + \psi_0) \equiv \operatorname{Im} \vec{j}_*^{(0)}(\vec{r}, t)), \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie: ω – częstość kołowa; ψ_0 – faza początkowa; $\vec{j}_0^*(\vec{r}, t)$ – amplituda, bezwymiarowa względem czasu wektorowa funkcja, mało zmieniająca się w okresie $U = \frac{2\pi}{\omega}$ drgań elektromagnetycznych; $\vec{j}_*^{(0)}(\vec{r}, t) = \vec{j}_0^*(\vec{r}, t) e^{i(\omega t + \psi_0)} \equiv \underline{\vec{j}}^{(0)}(\vec{r}, t) e^{i\omega t}$ – zadany zespolony wektor gęstości prądów elektrycznych; $\underline{\vec{j}}^{(0)}(\vec{r}, t) = \vec{j}_0^*(\vec{r}, t) e^{i\psi_0}$ – wektorowa funkcja zespolona zadanej gęstości prądu elektrycznego. Przy tym spełniony jest formalny warunek

$$\left| \frac{\partial \vec{j}_0^* (\vec{r}, t)}{\partial t} \right| \ll \omega |\vec{j}_0^* (\vec{r}, t)|, \quad t > 0; \quad (2)$$

W powyższych zależnościach i dalej w istniejących wielkościach są opuszczone obecne tam wskaźniki (\pm).

W zastosowaniach technicznych często wykorzystywane są prądy o bardzo zróżnicowanej zmienności w czasie, przy której wzór dla modulowanej amplitudy \vec{j}_0^* przyjmuje postać:

$$\vec{j}_0^* (\vec{r}, t) = j(t) \underline{\underline{j}}_0 (\vec{r}), \quad 0 \leq |j(t)| \leq 1, \quad (3)$$

gdzie $\underline{\underline{j}}_0 (\vec{r})$ jest amplitudą sygnału nośnego, $j(t)$ jest bezwymiarową względem czasu, mało zmieniającą się w okresie drgań elektromagnetycznych funkcją, opisującą zmiany w czasie sygnału, który moduluje amplitudę sygnału nośnego. Przy tym warunek (2) przybiera postać

$$\left| \frac{dj(t)}{dt} \right| \ll \omega |j(t)|, \quad t > 0 \quad (4)$$

(ω jest częstością sygnału nośnego).

W praktyce inżynierskiej warunek (2) (lub (4)) prawie zawsze jest spełniony, poza być może momentami włączania, przełączania i wyłączania urządzeń wytwarzających pole. Takie warunki pracy urządzeń elektrotechnicznych nazywane są quasi-ustalonymi, a odpowiednie PEM – quasi-ustalonym PEM (QUPEM).

JPEM może być również określone przez wartości natężeń pola elektrycznego $\vec{E}(\vec{r}_0, t)$ lub magnetycznego $\vec{H}(\vec{r}_0, t)$ na każdej powierzchni S (S^+ lub S^- o równaniu $\vec{r} = \vec{r}_0^\pm$). Wtedy na S powyższe wektory wyrażone są wzorami:

$$\vec{E}(\vec{r}_0, t) = \vec{E}_0(\vec{r}_0, t) \quad \text{lub} \quad \vec{H}(\vec{r}_0, t) = \vec{H}_0(\vec{r}_0, t), \quad (5)$$

gdzie w przybliżeniu quasi-ustalonym funkcje $\vec{E}_0(\vec{r}_0, t)$ lub $\vec{H}_0(\vec{r}_0, t)$ mają postaci podobne do (1) (lub (1), (3)) i są wielkościami znanymi.

Zapisane zostały dla rozważanego przypadku zależności na wyznaczenie parametrów określających PEM oraz QUPEM, wybierając jako podstawę formalizm zespolonych amplitud.

K. GHAZARYAN¹, O. HACHKEVYCH^{2,3}, R. IVAS'KO²,
A. STANIK-BESLER³

¹Institute of Mechanics NAS of Armenia (Armenia)

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

³Opole University of Technology (Poland)

DO OPISU ODDZIAŁYWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA CONTINUUM MATERIALNY W TERMOMECHANICE CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ

Przyjmuje się, że pole elektromagnetyczne (PEM) jest oddziaływaniem zewnętrznym względem ciała, które wywołuje w nim czynniki: produkcję ciepłą oraz siły i momenty ponderomotoryczne. Skutkiem tych czynników są powstające w ciele pola temperatur, przemieszczeń, odkształceń i naprężeń, które mogą mieć istotny wpływ na funkcjonalne i ekologiczne charakterystyki odpowiednich elementów maszyn i urządzeń przy ich budowie czy eksploatacji.

Przy ustaleniu wyrażeń na produkcję ciepłą w ciele przewodzącym wykorzystuje się zasadę zachowania energii PEM (twierdzenie Poyntinga) w postaci lokalnej, wypływającą z równań Maxwella. Dla ciał liniowych z tej zasady otrzymujemy, że produkcją ciepłą dla takich ciał jest tylko ciepło Joule'a.

Znane określenia czynników ponderomotorycznych oparte są na pewnych modelach elektromagnetycznej budowy ciała i podejściach statystycznych. Przyjmuje się jako wyjściowe statystyczne podejście, przy którym wyrażenia na te czynniki ponderomotoryczne są sumą siły działające na ładunki (siły Coulomba), prądy (siły Ampere'a), dipole elektryczne (siły Kelvina), dipole magnetyczne (prądy molekularne) oraz momenty skręcające elektryczne i magnetyczne oddziaływujące na dipole.

Dla ciał liniowych (przy równoległości odpowiednich wektorów przesunięcia i natężeń pól) otrzymuje się, że ponderomotoryczne momenty skręcające oddziaływania PEM w ciele przewodzącym są równe zero w każdej chwili czasu.

W konsekwencji wpływ PEM na procesy przewodnictwa ciepła i odkształcenia w ciele liniowym (zarówno dla niestacjonarnego jak i quasi-ustalonego PEM QUPEM)), sprowadza się do uwzględniania produkcji ciepłej (ciepło Joule'a) i sił ponderomotorycznych.

Zapisano również wyrażenia czynników oddziaływania QUPEM przy pomocy składowych amplitud zespolonych natężeń pola elektrycznego i magnetycznego. Rozważano twierdzenie Poyntinga dla QUPEM oraz omówiono osobliwości przedstawić względem czasu energii elektromagnetycznej oraz czynników oddziaływania QUPEM: ciepła Joule'a i siły ponderomotorycznej.

M. KUBUS

Opole University of Technology (Poland)

**STATYSTYCZNY SYSTEM WCZESNEGO OSTRZEGANIA PRZED
ZAJŚCIEM PRZYPADKU WSKUTEK WYŁADOWANIA
NAGROMADZONEJ ENERGII**

W warunkach polskiego górnictwa podziemnego występują wszystkie zagrożenia naturalne jakie można spotkać w górnictwie światowym. Wyższy Urząd Górniczy (WUG) w Katowicach zalicza do nich: tąpnięcia, pożary endogeniczne i egzogeniczne, zawały, zagrożenia metanowe, wybuchy pyłu węglowego, wyrzuty gazów i skał, zagrożenia wodne, klimatyczne i w nieco mniejszym stopniu radiacyjne. Ze względu na relatywnie dużą liczbę wypadków w wyniku tąpnięć, dalej koncentrować będziemy się na prognozowaniu tego zdarzenia. Przez tąpnięcie rozumie się „zjawisko dynamiczne spowodowane wstrząsem górotworu, w wyniku którego wyrobisko lub jego odcinek uległo gwałtownemu zniszczeniu lub uszkodzeniu, w następstwie czego nastąpiła całkowita lub częściowa utrata jego funkcjonalności lub bezpieczeństwa jego użytkowania”. Z kolei wstrząs górotworu to „wyładowanie energii nagromadzonej w górotworze, objawiające się drganiem górotworu i zjawiskami akustycznymi niepowodujące pogorszenia funkcjonalności wyrobisk i bezpieczeństwa ich użytkowania”.

W pracy zaproponowano statystyczny system wczesnego ostrzegania budowany na danych historycznych, zgromadzonych przez układy monitorowania sejsmicznego i seismoakustycznego. Wykorzystano w tym celu regularyzowaną regresję logistyczną, która daje możliwość automatycznego doboru najważniejszych predyktorów. Zwrócono szczególną uwagę na problem próby niezbilansowanej oraz ocenę jakości modelu. Wykorzystano miary uwzględniające rodzaj błędnej decyzji wskazywanej przez model. Wszystkie obliczenia przeprowadzono w programie R. Klasyfikator rozpoznający zagrożenie powinien przyczynić się do zmniejszenia ryzyka zajścia wypadku.

W ten sposób w pracy wykazano efektywność zastosowania regularyzowanej regresji logistycznej. Odnotowano jej przewagę nad klasyczną estymacją parametrów modelu metodą największej wiarygodności ze względu na wielkość miar AUC oraz TPR. Zaletą zaproponowanych modeli jest niewątpliwie ich prostota, gdyż ograniczają się do trzech zmiennych objaśniających. Najważniejszymi predyktorami, a zarazem jedynymi wprowadzonymi do modelu, okazały się: informacja o typie zmiany, liczba impulsów zarejestrowanych w poprzedniej zmianie przez najbardziej aktywny spośród geofonów monitorujących ścianę oraz łączna liczba wstrząsów sejsmicznych zarejestrowanych w poprzedniej zmianie.

A. KOZIARSKA, M. ZBADYŃSKI

Opole University of Technology (Poland)

STATYSTYCZA ANALIZA WPLYWU MODERNIZACJI LINII KOLEJOWYCH NA PUNKTUALNOŚĆ POCIĄGÓW OSOBOWYCH

Do analizy wykorzystano dane zebrane na dwóch stacjach kolejowych znajdujących się w Byczynie oraz Wołczynie. Przez Byczynę przebiega linia kolejowa nr 272 relacji Kluczbork – Poznań Główny [1-3]. Przez Wołczyn przebiega linia kolejowa nr 143 Kalety – Wrocław Mikołajów. Miasto posiada stację kolejową, która według kategorii PKP ma charakter dworca lokalnego. Modernizacja linii nr 272 pomiędzy Kluczborkiem a Ostrzeszowem przeprowadzona była w okresie 04.2014 – 09.2015 i była główną inwestycją na całej linii kolejowej. Głównym celem modernizacji było usprawnienie i przywrócenie na tym 60-kilometrowym odcinku, rozkładowej prędkości 120 km/h dla pociągów osobowych oraz 80 km/h dla pociągów towarowych. Dzięki modernizacji tego odcinka, czas podróży pomiędzy Kluczborkiem a Ostrzeszowem zmniejszył się o 20 minut. Modernizacja torów w przypadku linii nr 143 na odcinku Kluczbork – Wrocław Mikołajów planowana jest na lata 2021-2023 i ma połączyć północną część Śląska i północą Opolszczyznę z Wrocławiem. Przebudowana ma zostać cała linia łącząca Wrocław z Kluczborkiem, by móc ją przystosować do prędkości 120 km/h dla pociągów osobowych oraz 80 km/h dla pociągów towarowych. Analizie podlegały dane wyrażone w minutach z dwóch stacji kolejowych znajdujących się w Byczynie oraz Wołczynie. Dane pochodziły z posterunków dyżurnych ruchu znajdujących się na stacji kolejowej we wskazanych miejscowościach z lat 2012 – 2017.

Do wstępnej analizy danych, zastosowano metody statystyki opisowej: miary położenia i rozproszenia oraz ich graficzną interpretację [4]. Spośród metod statystyki matematycznej wykorzystano testy zgodności (test Lillieforsa) i nieparametryczne testy istotności (test Kruskala-Wallisa). Obliczenia wykonano w programie STATISTICA. Przeprowadzona analiza dowodzi, że modernizacja nie wpływa istotnie na punktualność przyjazdu na stację, ale skraca czas przejazdu i poprawia komfort podróży.

LITERATURA:

- [1] Krok ku szybszej kolei z Wrocławia do Kluczborka. <https://www.plk-sa.pl/biuro-prasowe/informacje-prasowe/krok-ku-szybszej-kolei-z-wroclawia-do-kluczborka-3600/> [02.01.2019]
- [2] Nowe tory i perony na linii Kluczbork – Ostrzeszów. [02.01.2019] <https://www.plk-sa.pl/biuro-prasowe/informacje-prasowe/nowe-tory-i->

- [perony-na-linii-kluczbork-ostrzeszow-2377/](#)
- [3] PLK Poprawia stan odcinka Kluczbork – Bierutów przed modernizacją. [02.01.2019] <https://www.rynek-kolejowy.pl/wiadomosci/plk-poprawia-stan-odcinka-kluczborkbierutow-przed-modernizacja-88284.html>
- [4] Douglas C. Montgomery, George C. Runger: Applied Statistics and Probability for Engineers, John Wiley & Sons, Inc., New York 2003.

Z. SZYLICKA, K. WOJTECZEK-LASZCZAK

Opole University of Technology (Poland)

WSPÓLCZEŚNI STUDENCI POLITECHNIKI OPOLSKIEJ

Nauczyciele akademicki prowadzący zajęcia z przedmiotów matematycznych, które nie są łatwe dla studentów, ale są ważne jako przedmioty podstawowe, starają się osiągnąć jak najlepszą jakość kształcenia. Aby lepiej poznać studentów uczących się na różnych kierunkach studiów Politechniki Opolskiej w czerwcu 2019 roku przeprowadzono ankietę, którą wypełniło 417 studentów z 13 kierunków studiów stacjonarnych 1-go stopnia naszej uczelni. Autorzy korzystali z opracowania: A. Koziarska „Analiza ankiet studentów studiów stacjonarnych PO”, dotyczącego oceny zajęć z przedmiotów matematycznych prowadzonych przez pracowników Katedry Matematyki i Zastosowań Informatyki oraz opracowania własnego autorów (Opole 2015). Dlatego porównano wyniki z lat 2015 i 2019, co pozwala zauważyć jak zmieniają się nasi studenci. Pytania, które wówczas spotkały się ze słabą lub błędną odpowiedzią ze strony studentów zostały sformułowane bardziej precyzyjnie. Postawiono także zupełnie nowe zagadnienia.

W pierwszej części ankiety autorzy chcieli więcej dowiedzieć się o studentach, którzy rozpoczynają naukę na Politechnice Opolskiej. Zapytano ich o rodzaj szkoły średniej, którą kończyli, z jakim wynikiem zaliczyli maturę podstawową, a także, czy oraz z jakim rezultatem, zdawali maturę rozszerzoną z przedmiotu matematyka.

Dalsze pytania dotyczyły udziału studentów w wykładach, aktywności na zajęciach, systematyczności w nauce i ilości czasu potrzebnego na przygotowanie się do zajęć. Ankietowani podawali też przyczyny, które utrudniały naukę (np. braki związane z wcześniejszą edukacją, zobowiązania takie jak praca, czy zajęcia pozauczelniane oraz inne przedmioty). Elementem zaskoczenia dla autorów był fakt, że ponad 21% studentów wskazało lenistwo, czy brak chęci jako przyczynę braku systematycznego przygotowywania się do zajęć.

Przeprowadzono także analizę korzystania przez studentów z literatury przedmiotowej i zbiorów zadań, oraz notatek z wykładów. Niewielkie zainteresowanie literaturą przedmiotową wśród studentów wykazane w badaniach w 2015 roku zainspirowało autorów ankiety do zbadania w jakim stopniu studenci korzystają z portali i programów matematycznych dostępnych on-line zarówno we wcześniejszej edukacji, jak i w czasie studiów. Choć prawie 42% studentów nie знаło jeszcze wyniku końcowego zaliczenia z ćwiczeń, to ponad 70% ankietowanych podało przewidywaną ocenę. Efekty kształcenia w postaci uzyskanych ocen końcowych zostały omówione przez autorów.

Na zakończenie poddano analizie odpowiedzi studentów dotyczące ewentu-

alnych zmian, które pozwoliłyby na podniesienie jakości kształcenia przedmiotów matematycznych. Należy tutaj zauważyć, że prawie 73% ankietowanych uznało, że żadne zmiany nie są potrzebne.

A. METELSKI

Opole University of Technology (Poland)

**OCENA WYKORZYSTYWANYCH NARZĘDZI
DYDAKTYCZNYCH W NAUCZANIU STATYSTYKI
NA KIERUNKU LOGISTYKA**

Referat dotyczy dydaktyki przedmiotu statystyka, prowadzonego dla studentów kierunku Logistyka na Wydziale Inżynierii Produkcji i Logistyki Politechniki Opolskiej. Przedstawiono analizę omawianych treści kształcenia, wykorzystanych metod i narzędzi dydaktycznych. Wykorzystano dane zebrane w latach akademickich 2018/2019 (rok badany) oraz 2016/2017 (rok porównawczy).

Zbadano wpływ wprowadzonych innowacji w nauczaniu, tj. wykorzystaniu instruktaży do list zadań i elementów pracy własnej na zajęciach, na oceny końcowe oraz na opinie uczestników kursu.

Zaprezentowano wyniki ankiety ewaluacyjnej przeprowadzonej na koniec toku kształcenia.

Poddano analizie stopień korzystania z: kanału edukacyjnego w serwisie YouTube, materiałów udostępnionych na platformie e-learningowej oraz programu STATISTICA, w ramach pracy własnej domu.

Przedstawiono propozycje kolejnych innowacji oraz kierunków rozwoju metod nauczania przedmiotu statystyka, w celu kształtowania konkretnych kompetencji słuchaczy.

II. MODELOWANIE I OPTYMALIZACJA PROCESÓW WYTWÓRCZYCH



R. IVAS'KO¹, R. MUSII², O. ORYSZCZYN², A. STANIK-BESLER³

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

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

³ Opole University of Technology (Poland)

MODEL MATEMATYCZNY ZACHOWANIA TERMOSPREŻYSTEGO BIMETALICZNYCH PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ WYROBÓW O KSZTAŁCIE KULISTYM PRZY ODDZIAŁYWANIU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

W wielu mechanizmach i urządzeniach często stosowane są kawałkami jednorodnie przewodzące elektryczność elementy strukturalne, w szczególności o kształcie kulistym. Takie elementy powszechnie stosowane są w różnych elektromagnetycznych przejściach, które poddane wpływu pola elektromagnetycznego (PEM) [1, 2]. Na skutek oddziaływania PEM w tych elementach powstają objętościowe rozłożone źródła ciepła Joule'a oraz siły ponderomotoryczne [3]. Te dwa fizyczne czynniki wytwarzają w kulistych bimetalicznych elementach odpowiedni stan termosprężysty, który potrzebuje analizy dla prognozy niezawodności i rezerwu rozważanych elementów.

Zaproponowano model matematyczny opisujący zachowanie termomechaniczne, nośność i właściwości połączenia kontaktowego bimetalicznej kuli wydłużonej przy oddziaływaniu niestacjonarnego PEM. Jako wyjściowy wybrano układ równań zagadnienia symetrycznego termomechaniki dla dwuwarstwowej kuli przewodzącej elektryczność [4]. Za funkcje kluczowe wybrano azymutalną składową wektora natężenia pola magnetycznego, temperaturę oraz promieniową składową wektora przemieszczeń. Dla wyznaczania tych funkcji sformułowano odpowiednie początkowo-brzegowe zagadnienia. Zapisano początkowe i brzegowe warunki, uwzględniające wartości kluczowych funkcji na zewnętrznych powierzchniach bimetalicznej kuli jak i na powierzchni połączenia jej składowych warstw. Materiały składowych warstw są nieferromagnetyczne, jednorodne i izotropowe, a ich fizyczno-mechaniczne charakterystyki przyjmowane są jako stałe. Zewnętrzne powierzchni kuli przebywają w warunkach konwekcyjnej wymiany ciepłem z otoczeniem i są nieobciążone. Na powierzchni połączenia składowych warstw (spaju) spełnione są warunki idealnego kontaktu elektromagnetycznego, cieplnego i mechanicznego.

Opracowany model matematyczny może wystąpić naukową podstawą przy analizie termosprężystego zachowania bimetalicznych wyrobów o kształcie kulistym przy ich obróbce z wykorzystaniem niestacjonarnych PEM charakterystycznych typów, które stosowane są w obecnych technologiach obróbki elektromagnetycznej elementów konstrukcji [5].

LITERATURA:

- [1] БАТЫГИН Ю.В., ЛАВИНСКИЙ В.И., ХИМЕНКО Л.Т.: Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Харьков: МОСТ-Торнадо, 2003. – 285 с.
- [2] МЭТТЮЗ Ф., РОЛИНГС Ф.: Композитные материалы. Механика и технология.– М.: Техносфера, 2004. – 408 с.
- [3] МУСІЙ Р.С.: Динамічні задачі термомеханіки електропровідних тіл канонічної форми: монографія. – Львів: Растр-7, 2010. – 216 с.
- [4] MUSII R.S.: Stressed State of a Hollow Conducting Sphere under the Electromagnetic Action in the Decaying Sinusoid Mode // Materials Science. – 2013. – Vol. 49, № 2. – P. 243–251.
- [5] НАСНКЕВУСН О., MUSIJ R.: Mathematical modeling in thermo-mechanics of electroconductive bodies under the action of the pulsed electromagnetic fields with modulation of amplitude // Mathematical Modeling and Computing. – 2019. – Vol. 6, № 1. – P. 30–36.

O. MOKRYK¹, S. MORYŃ², R. MUSII^{1,3}, V. SHYNDER¹

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

²Opole University of Technology (Poland)

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

METODA WYZNACZANIA PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH, CIEPLNYCH I MECHANICZNYCH W BIMETALICZNEJ KULI PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO

Rozwinięto metodykę rozwiązywania sformułowanych składowych początkowo-brzegowych zagadnień elektrodynamiki, przewodności cieplnej i dynamicznej termosprężystości (powstających w modelu matematycznym opisującym zachowanie termosprężyste bimetalicznych wyrobów) o kulistym kształcie przy oddziaływaniu pola elektromagnetycznego (PEM)). Metodyka ta oparta jest o kwadratową aproksymację rozkładów kluczowych funkcji (azymutalnej składowej wektora natężenia pola magnetycznego, temperatury i promieniowej składowej wektora przemieszczeń) w każdej ze składowych warstw względem promieniowej współrzędnej [1-3]. Współczynniki wielomianów, aproksymujących kluczowe funkcję, wyrażane są przez zadane wartości brzegowe tych funkcji na powierzchniach kuli oraz całkowite (sumaryczne względem ogólnej grubości składowych warstw) charakterystyki tych funkcji. Sformułowane są zagadnienia Cauche'go na całkowite charakterystyki kluczowych funkcji oraz otrzymane ich ogólne rozwiązania z wykorzystaniem przekształcenia Laplace'a względem czasu. Dane rozwiązania zapisane są w postaci splotów funkcji, opisujących zadane elektromagnetyczne, cieplne i mechaniczne brzegowe wartości funkcji kluczowych oraz jednorodne rozwiązania odpowiednich zagadnień Cauche'go na charakterystyki całkowite.

LITERATURA:

- [1] МУСІЙ Р.С.: Динамічні задачі термомеханіки електропровідних тіл канонічної форми: монографія. – Львів: Растр-7, 2010. – 216 с.
- [2] MUSII R.S.: Stressed State of a Hollow Conducting Sphere under the Electromagnetic Action in the Decaying Sinusoid Mode // Materials Science. – 2013. – Vol. 49, № 2. – P. 243–251.
- [3] НАЧКЕВУЧ О., МУСИЙ Р.: Mathematical modeling in thermo-mechanics of electroconductive bodies under the action of the pulsed electromagnetic fields with modulation of amplitude // Mathematical Modeling and Computing. – 2019. – Vol. 6, № 1. – P. 30–36.

Kh. DROHOMYRETS'KA¹, A. MARYNOWICZ², N. MELNYK¹, R. MUSII^{1,3}

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

² Opole University of Technology (Poland)

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

STAN SPRĘŻYSTY ORAZ NOŚNOŚĆ GRANICZNA BIMETALICZNEJ KULI PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU ELEKTROMAGNETYCZNYM W PRZEBIEGU O IMPULSOWYM SYGNALE MODULUJĄCYM

Bimetaliczne kuliste elementy (wydrożone jak i niewydrożone) występują składowymi elementami wielu urządzeń, które w procesie produkcji i eksploatacji poddane są impulsowym oddziaływaniom elektromagnetycznym różnych typów [1]. Jednym z rozpowszechnionych i często wykorzystywanych jest elektromagnetyczne oddziaływanie w przebiegu o impulsowym sygnale modulującym (PISM) [2].

W oparciu o zaproponowany wiadomy model matematyczny oraz metodę rozwiązywania sformułowanych w ramach tego modelu zagadnień termomechaniki dla bimetalicznej kuli przy jednorodnym oddziaływaniu elektromagnetycznym [3, 4] otrzymano rozwiązanie (dla parametrów opisujących pole elektromagnetyczne, temperaturę, naprężenia oraz nośność) dla kuli przy oddziaływaniu w PISM. Przeanalizowano stan termosprężysty i graniczną nośność kuli w zależności od amplitudowo-częstotliwościowych parametrów rozważanego oddziaływania.

LITERATURA:

- [1] БАТЫГИН Ю.В., ЛАВИНСКИЙ В.И., ХИМЕНКО Л.Т.: Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. – Харьков: МОСТ-Торнадо, 2003. – 285 с.
- [2] МУСІЙ Р.С.: Динамічні задачі термомеханіки електропровідних тіл канонічної форми. – Львів: Растр-7, 2010. – 216 с.
- [3] MUSII R.S.: Stressed State of a Hollow Conducting Sphere under the Electromagnetic Action in the Decaying Sinusoid Mode // Materials Science. – 2013. – Vol. 49, № 2. – P. 243–251.
- [4] НАЧКЕВУЧ О., МУСИЙ Р.: Mathematical modeling in thermo-mechanics of electroconductive bodies under the action of the pulsed electromagnetic fields with modulation of amplitude // Mathematical Modeling and Computing. – 2019. – Vol. 6, № 1. – P. 30–36.

R. IVAS'KO¹, R. KUSHNIR¹, A. STANIK-BESLER², R. TERLETS'KYI¹

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

² Opole University of Technology (Poland)

CIEPLNE ORAZ MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI POWŁOK PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM

W technologicznych procesach wytwarzania i obróbki przewodzących elementów konstrukcji i urządzeń, w szczególności typu powłokowego, wykorzystywana jest powszechnie termooobrobka wzmacniająca przy pomocy pól elektromagnetycznych (termooobrobka indukcyjna).

W ciałach przewodzących liniowych względem własności elektrycznych i magnetycznych przy oddziaływaniu pola elektromagnetycznego (PEM) powstają prądy elektryczne. Prowadzi to do wyrzarczenia ciepła w elementarnych objętościach rozważanych ciał przewodzących (ciepła Joule'a) i działania na te objętości sił ponderomotorycznych. Moc, która wydziela się w liniowym względem własności elektromagnetycznych ciele stałym przewodzącym przy nagrzewaniu indukcyjnym, jest proporcjonalną do częstotliwości.

Dla uwzględnienia skutków oddziaływań elektromagnetycznych i określenia racjonalnych przebiegów indukcyjnym o zróżnicowanych własnościach elektrycznych i magnetycznych konieczne jest opracowanie metody wznaczenia pól temperatury i naprężeń mechanicznych w zależności od amplitudowo-częstotliwościowych parametrów PEM, w szczególności quasi-ustalonych PEM (QUPEM).

W pracy sformułowane jest zagadnienie fizyki matematycznej dotyczące wznaczenia parametrów opisujących pola elektromagnetyczne, temperaturowe i mechaniczne w liniowych względem własności elektrycznych i magnetycznych ciałach stałych przewodzących w szczególności powłokach i tarczach, w procesie technologicznego oddziaływania zewnętrznych QUPEM. Pole to jest wytworzone przez prądy elektryczne rozłożone w środowisku zewnętrznym. W wykorzystywanym modelu matematycznym wpływ PEM na procesy przewodnictwa ciepła i odkształcenia powiazany jest z wytwarzanym przez nie ciepłem Joule'a uśrednionym w okresie drgań elektromagnetycznych.

B. CHORNYI¹, O. HACHKEVYCH^{2,3}, R. IVAS'KO², A. STANIK-BESLER³

¹L'viv branch of Dnipro National University of Railway Transport (Ukraine)

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

³Opole University of Technology (Poland)

DO OKREŚLENIA METODY WYZNACZANIA I BADANIA STANU TERMOSPĘŻYSTEGO POWŁOK PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM W WARUNKACH NASKÓRKOWOŚCI

Wiadomo, że przy zwiększeniu częstotliwości pola elektromagnetycznego (PEM) wzrasta produkcja ciepła która wytwarza się w elementarnych objętościach ciała. Z tym związane jest szerokie zastosowanie PEM o dużych częstotliwościach w elektromagnetycznych technologiach termoobrobki wyrobów. Jednakże przy takich częstotliwościach rozkład prądów indukcyjnych jest nierównomierny w przekrojach przewodnika elektrycznego. Największa gęstość prądu powstaje w otoczeniu powierzchni i w konsekwencji ciepło Joule'a i siły ponderomotoryczne koncentrują się w przypowierzchniowych warstwach rozpatrywanych ciał (zjawisko naskórkowości elektromagnetycznej).

Spowodany ciepłem Joule'a pole temperatury o dużym gradiencie w otoczeniu powierzchni oraz siły ponderomotoryczne prowadzi do znacznych naprężeń które mogą być większe od dopuszczalnych.

W pracy przedstawiona jest metoda rozwiązywania kompleksowego zagadnienia na wyznaczenie stanu termosprężystego cienkiej powłoki przewodzącej o stałej grubości przy powierzchniowym nagrzewaniu indukcyjnym za pomocą quasi-ustalonych prądów elektrycznych, rozłożonych w środowisku zewnętrznym. Przy tym dla obliczania parametrów opisujących quasi-ustalone PEM wykorzystują się asymptotyczne rozwinięcia (według potęg małego parametru zastępczej głębokości wnikania prądów indukcyjnych w powłokę) rozwiązań singularnie zaburzonych równań elektrodynamiki. Dla określenia pola temperatury stosuje się metodę rozwinięć widmowym względem grubości powłoki, a naprężeń – znane zależności quasi-statycznej termosprężystości cienkich powłok. Rozważane są kontaktowe i brzegowe zagadnienia opisujące powstające PEM w cienkiej przewodzącej elektryczność nieferromagnetycznej niepolaryzującej się powłoce przy nagrzewaniu indukcyjnym zewnętrznymi prądami quasi-ustalonymi w warunkach naskórkowości.

M. HACHKEVYCH¹, O. HACHKEVYCH^{1,2}, Yu. SOSNOVYI¹,
R. TERLETS'KYI¹

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

² Opole University of Technology (Poland)

TEORETYCZNE I EKSPERYMENTALNE ASPEKTY PRZY NAGRZEWANIU SZKLANYCH ELEMENTÓW PROMIENIOWANIEM ELEKTROMAGNETYCZNYM W PODCZERWIENI

Przy produkcji urządzeń o różnym celowym przyznaczeniu często wykorzystywane są szklane elementy, konieczne właściwości których otrzymywane są drogą odgazowywania materiału lub odpowiedniego wyrznięcia, realizowanych przy pomocy termoobróbki wykonywanej zazwyczaj z wykorzystaniem konwekcyjnego sposobu nagrzewania. Jednakże przy tym jest wyznaczalną niską termowyttrzymałość szklanych wyrobów (maksymalnie dopuszczalna w elementach różnica temperatur na jednostce charakterystycznego wymiaru (gradient temperatury), nie przywodząca do zniszczenia takich wyrobów na skutek naprężeń temperaturowych) istotnie zmniejszająca prędkości nagrzewania.

Dla zwiększenia wydajności urządzeń na technologicznych operacjach termopróżniowej obróbki (odgazowywania), a również obróbki powiązanej ze zmniejszeniem naprężeń szczątkowych (wyrznięcia) powłok i tarcz (płyty) oraz ulepszenia ich jakości (drogą zabezpieczenia koniecznych temperatur dla odgazowywania lub wyrznięcia szkła) powstaje konieczność wykorzystania nowych sposobów termoobrobek, zmniejszających gradientowość nagrzewania szklanych elementów w porównaniu z obecnie stosowanym konwekcyjnym nagrzewaniem. Jednym z takich sposobów, który prowadzi do objętościowego nagrzewania częściowo przezroczystych materiałów (szkło tarczowych i powłokowych elementów), jest nagrzewanie elektromagnetycznym promieniowaniem posiadającym widmo, należące do obszaru tej przezroczystości. Taki sposób wyróżnia się tym, że duża część energii promieniowania jest pochłaniana przez całą objętość materiału, powodując w niej ciągle rozłożone źródła ciepła. To powoduje zmniejszenie gradientu temperatury i, jako wynik – temperaturowych naprężeń, co daje możliwość realizować nagrzewanie materiałów o niskiej termowyttrzymałości (do których należą szkła) z większą prędkością.

Rozważane są teoretyczne oraz eksperymentalne problemy dotyczące modelowania procesu nagrzewania szklanych powłok i płyt przy pomocy promieniowania elektromagnetycznego zakresu podczerwieni (wytwarzanego przez przemysłowe źródła promieniowania) i spowodowanych nim pól cieplnych i mechanicznych.

M. HACHKEVYCH¹, R. IVAS'KO¹, L. KIT², V. MOZHAROV'S'KYI³,
A. RAWSKA-SKOTNICZNY⁴

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

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

³ Gomel State University (Belarus)

⁴ Opole University of Technology (Poland)

METODA OPTIMALIZACJI WZGLĘDEM POZIOMU NAPRĘŻEŃ KOMBINOWANEGO (Z WYKORZYSTANIEM PROMIENIOWO- KONWEKCYJNEGO ODDZIAŁYWANIA) PRZEBIEGU TERMOPRÓŻNIOWEJ OBRÓBKI KAWALKAMI JEDNORODNEJ SZKLANEJ POWŁOKI

Termopróżniowa obróbka szklanych elementów techniki próżniowej, w szczególności szklanych powłok elektropróżniowych urządzeń (lamp elektronowych, lamp-reflektorów itp.) i ich funkcjonalnych pokryć, obecnie realizowana jest drogą nagrzewania konwekcyjnego do pewnej wysokiej temperatury (temperatury odgazowywania, przy której szkło występuje jeszcze w fazie stałej) oraz podtrzymywania tej temperatury pewny okres czasu przy jednoczesnym odpompowywaniu gazów, wydzielających się ze szkła i pokryć. Taki sposób spowodowany istotną intensyfikacją dyfuzyjnych procesów w powierzchniowych warstwach szkła przy wzroście temperatury w moc zwiększenia wartości współczynnika dyfuzji gazów zgromadzonych w szkło i pokryciach. Przy tym prędkość nagrzewania i jak wynik maksymalną temperaturę ogranicza termowyttrzymałość szkła, która dla kruchich materiałów jest niską przy powstających dużych gradientach temperatury przy konwekcyjnym nagrzewaniu.

Niskotemperaturowe nagrzewanie szkła na początkowym etapie przy pomocy opromieniowania elektromagnetycznego w podczerwieni jest praktycznie bezgradientowym i może być efektywnie wykorzystane jako poprzednie (wstępne) nagrzewanie do pewnych temperatur z następującym nagrzewaniem przez konwekcję.

Opracowana została metoda optymalizacji względem poziomu naprężeń przebiegów promieniowo-konwekcyjnego nagrzewania przy termopróżniowej obróbce (odgazowaniu) szklanych powłokowych kawałkami jednorodnych elementów techniki próżniowej. Przy tym w znanym algorytmie optymalizacji uściśla się zagadnienie proste. Ono formułowane jest w trzy etapy. W pierwszym etapie zapisane są odpowiednie zagadnienia określające intensywność promieniowania elektromagnetycznego na podstawie prawa Bougere'a, a dalej – wyz-

nacza się produkcja ciepła w szklanej powłoce. W drugim etapie formułowane są zagadnienia opisujące pole temperatur, w których otrzymana produkcja ciepła występuje właściwą gęstością ciągle rozłożonych źródeł ciepła w równaniu przewodności cieplnej.

Dla dotrzymania warunków wytrzymałości powłoki w procesie nagrzewania wartości powstających składowych tensora naprężeń na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchniach powłok przyjmowane są mniejszymi od dopuszczalnych. Zagadnienie optymalizacji sprowadza się do poszukiwania ekstremum funkcjonału maksymalnych normalnych naprężeń. Dla realizacji etapu poszukiwania warunkowego minimum funkcjonału wykorzystano metodę lokalnych wariacji w przestrzeni stanów funkcji sterowania przy znanym rozwiązaniu zagadnienia prostego. Przy tym wartości temperatury i naprężeń w chwili zakończenia opromienienia elektromagnetycznego w podczerwieni przyjmowane są za początkowe na etapie kolejnego nagrzewania przez konwekcję.

L. HAYEVSKA¹, M. HACHKEVYCH¹, A. KOZIARSKA²,
A. TORS'KYI³, B. TRISHCH⁴

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

² Opole University of Technology (Poland)

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

⁴ Ivan Franko National University of L'viv (Ukraine)

**MODELOWANIE I OPTIMALIZACJA WZGLĘDEM STANU
NAPRĘŻEŃ PRZEBIEGÓW WYRZAŻANIA TERMOCZUŁYCH
SZKLANYCH ELEMENTÓW KONSTRUKCJI PRZY
JEDNOCZEŚNYM NAGRZEWANIU PRZEZ KONWEKCJĘ
I ŹRÓDŁA CIEPŁA**

Sklany element, w którym przy produkcji (z wykorzystaniem spawania, ceramiczno-cementowego połączenia itp.) powstały szczątkowe naprężenia temperaturowe (mogące razem z eksploatacyjnymi prowadzić do zniszczenia elementa), wyrządzają w celu ponizenia poziomu tych naprężeń drogą relaksacji. Przy tym element nagrzewany jest od początkowej temperatury do zadanej (podwyższonej), przy której odbywa się maksymalna relaksacja naprężeń (zazwyczaj mniejszej od temperatury rozmięśnienia szkła, kiedy mogą powstawać deformacji większe od dopuszczalnych).

W celu ponizenia poziomu naprężeń szczątkowych drogą relaksacji element przebywa pewny czas przy wykazanej temperaturze, a następnie jego ciągle chłodzą do znanej końcowej temperatury (naturalnej temperatury zewnętrznego środowiska). Trwanie przebiegu wyrzażania zależy od poziomu naprężeń szczątkowych, powstających w wyrobach w trakcie ich produkcji, a również od poziomu obecnych naprężeń temperaturowych w procesie obróbki.

Przy wyrzażaniu szklanych wyrobów wartość dopuszczalnych naprężeń wyznaczana jest przez termowyttrzymałość rozważanego gatunku szkła. Ona ustala się dla strefy nagrzewania od początkowej temperatury do temperatury wyrzażania (maksymalnej na przedziale nagrzewania), a dalej dla strefy chłodzenia – od osiągniętej maksymalnej do temperatury zewnętrznego środowiska.

W pracy rozważano zagadnicie modelowania oraz optymalizacji względem stanu naprężeń przebiegów wyrzażania szklanych elementów konstrukcji przy uwzględnieniu termoczulości współczynników liniowego rozszerzenia temperaturowego, w celu znizenia poziomu naprężeń szczątkowych drogą ich relaksacji przy podwyższonych temperaturach osiągniętych jednoczesnym nagrzewaniem przez konwekcję i źródła ciepła.

Rozważane są szklane elementy urządzeń o małej krzywiznie, które modelowane są tarczą o stałej grubości. Stosowany model optymalizacji oparty jest o znany model optymalizacji względem stanu naprężeń szklanych kawałkami jednorodnych powłok przy technologicznym konwekcyjnym nagrzewaniu w obecności ograniczeń konstrukcyjnych, technologicznych, cieplnych oraz wytrzymałościowych.

Zaproponowany wariant matematycznego formułowania oraz numeryczno-analitycznej metody rozwiązywania zagadnienia optymalizacji względem poziomu naprężeń przebiegów nagrzewania technologicznego przy wyrażaniu termoczułych szklanych kawałkami jednorodnych elementów urządzeń pozwala na efektywne opracowanie optymalnych przebiegów ich wyrażania przy różnych typach szkieł oraz układach złożonych z powłokowych i tarczowych elementów.

B. BOZHENKO^{1,4}, O. HUMENCHUK², L. ONYSHKO³, O. ONYSHKO²,
A. STANIK-BESLER⁴

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

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

³ Karpenko Physico-Mechanical Institute NASU (Ukraine)

⁴ Opole University of Technology (Poland)

SKŁAD FAZOWY ORAZ STAN SPRĘŻYSTY WSPORNIKA, WYKONANEGO Z MATERIAŁU O WŁAŚCIWOŚCI PAMIĘCI KSZTAŁTU, PRZY ZGINANIU

Wcześniej przez autorów rozbudowany został model matematyczny opisu ilościowego składu fazowego oraz zachowania termomechanicznego ciał wykonanych ze stopów o właściwościach pamięci kształtu (podstawą którego zostały metody mechaniki ośrodka ciągłego, fizyki ciała stałego, termodynamiki procesów nierównowagowych oraz fizycznego materiałoznawstwa). W oparciu o ten model, adaptowany na przypadek sprężystych elementów przy mechanicznych obciążeniach, badany jest skład fazowy oraz stan sprężysty wspornika z takiego materiału przy siłowym obciążeniu – zginaniu na skutek oddziaływania na swobodny koniec tego wspornika poprzecznej siły.

Ustalono, że w takich warunkach we wsporniku powstaje niejednorodny szczytkowy stan sprężysto-odkształcalny wywołowany zmianą (po grubości jak i w podłużnym kierunku) składu fazowego. Obliczenia wykonano dla najczęściej stosowanych stopów o właściwości pamięci kształtu.

W istniejących warunkach w części wspornika powstaje mieszanina austenitu oraz martenzytu, a w części – skład fazowy nie ulega zmianie. Po ściągnięciu przyłożonej siły we wsporniku powstają naprężenia szczytkowe oraz przemieszczenia, spowodowane zmianą składu fazowego. Dla materiałów o właściwości pamięci kształtu obecny różny charakter fazowego przekształcenia przy prostym i zwrotnym przekształceniu. W moc tego po zakończeniu oddziaływania siły skład fazowy pozostaje takim który powstał przy obciążeniu.

V. ASTASHKIN¹, B. BOZHENKO^{2,3}, I. CHUPYK¹,
L. ONYSHKO⁴, O. ONYSHKO¹

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

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

³ Opole University of Technology (Poland)

⁴ Karpenko Physico-Mechanical Institute NASU (Ukraine)

STAN SPRĘŻYSTY PŁYTY DWUWARSTWOWEJ, MATERIAL JEDNEJ Z WARSTW KTÓREJ WYKONANA Z MATERIAŁU O WŁAŚCIWOŚCI PAMIĘCI KSZTAŁTU, PRZY OBCIĄŻENIU TERMOMECHANICZNYM

Obecnie w technice szeroko stosowane są detali maszyn i mechanizmów wykonane na podstawie stopów, w których w pewnych przedziałach temperatur zachodzą fazowe martenzytyczne przekształcenia. Taki materiał w literaturze przyjęto nazywać „materiałami o właściwości pamięci kształtu”. Raniej przez autorów rozbudowany został model matematyczny opisu ilościowego procesów termomechanicznych w ciałach, wyprodukowanych z omawianych materiałów. Model opracowano w oparciu o metody mechaniki ciała stałego i termodynamiki procesów nierównonagowych przy wykorzystaniu wyników eksperymentalnych badań materiałoznawczych. W obecnej pracy dany model adaptowany został na przypadek dwuwarstwowej płyty, jedna ze składowych warstw której posiada właściwość pamięci kształtu. Na tej podstawie zbadano stan sprężysty oraz skład fazowy takiej płyty przy zginaniu i nagrzewaniu – chłodzeniu.

Otrzymano, że przy oddziaływaniu obciążenia w warstwie posiadającej właściwość pamięci kształtu (lub w jej części) powstaje zmienny względem grubości skład martenzytu, który powoduje niejednorodny sprężysto-odkształcalny stan płyty. Po zdejmowaniu obciążenia w płycie pozostaje niejednorodny względem grubości rozkład naprężeń szczątkowych.

Na podstawie otrzymanych rozwiązań spełnione numeryczne obliczenia rozkładów naprężeń szczątkowych w płycie, jedna z warstw której wykonana ze stali 60H, a druga – z nikelidu tytanu. Otrzymane wyniki mogą być wykorzystane przy opracowaniu racjonalnych względem poziomu naprężeń szczątkowych przebiegów eksploatacji dwuwarstwowych funkcjonalnych elementów maszyn i mechanizmów, warstwy których wykonane są z materiałów o właściwości pamięci kształtu.

III. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH



A. ROTKEGEL¹, Z. ZIOBROWSKI²

¹ Opole University of Technology (Poland)

² Institute of Chemical Engineering, Polish Academy of Sciences (Poland)

**USUWANIE CO₂ Z POWIETRZA W CIECZACH JONOWYCH
PRZYJAZNYCH DLA ŚRODOWISKA ZAMIENNIKACH
ROZTWORÓW AMIN**

W pracy przedstawiono wyniki eksperymentalne zdolności równowagowej absorpcji dwutlenku węgla w cieczach jonowych [Bmim][Ac] i [Emim][Ac]. Badania przeprowadzono w aparacie barbotażowym.

Zmierzone zdolności absorpcji równowagi dwutlenku węgla (absorpcja czystego dwutlenku węgla w temperaturze 40° C) są porównywalne z wielkościami uzyskanymi dla 15% wodnych roztworów MEA (monoetanolamina) stosowanych w przemyśle. Równowagowa zdolność do pochłaniania dwutlenku węgla wzrasta wraz ze stężeniem dwutlenku węgla w mieszaninie gazowej dla obu cieczy jonowych, natomiast zmierzona szybkość absorpcji wzrasta, a pojemność równowagi maleje wraz z temperaturą w zakresie temperatur 20–60° C.

Wpływ zawartości wody w [Emim][Ac] na szybkość absorpcji CO₂ jest znaczący. Stwierdzono, że mała zawartość wody w cieczy jonowej (do 5%) zwiększa znacząco szybkość absorpcji; większa ilość wody (10% i więcej) zmniejsza zdolność absorpcji równowagowej CO₂. Przyczyną tego zjawiska jest prawdopodobnie fakt, że już niska zawartość wody znacząco obniża lepkość układu cieczy jonowej – wody, co skutkuje zwiększeniem współczynników dyfuzji i w rezultacie zwiększa szybkość absorpcji przy niewielkim zmniejszeniu pojemności sorpcyjnej spowodowanej obecnością wody. Zwiększenie udziału wody ponad 10% nie wpływa znacząco na dalsze obniżenie lepkości układu, natomiast zmniejsza pojemność sorpcyjną mieszaniny.

Wysokie zdolności absorpcyjne, stabilność termiczna i znikoma lotność badanych cieczy jonowych mogą być alternatywą dla powszechnie stosowanych wodnych roztworów amin pomimo znacznie niższej szybkości absorpcji dwutlenku węgla w cieczach jonowych. Potrzebne są dalsze badania nad nowymi cieczami jonowymi o niższej lepkości i niższej cenie, aby wykorzystać je w skali technicznej do usuwania CO₂ z gazów.

J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI

Opole University of Technology (Poland)

**ZARZĄDZANIE PROCESEM UTRZYMANIA RUCHU –
ZWIĘKSZENIA EFEKTYWNOŚCI FUNKCJONALNYCH
PRZEDSIĘBIORSTW**

Sprawne zarządzanie serwisem maszyn i urządzeń oraz utrzymanie w gotowości eksploatacyjnej parku maszynowego, w sposób znaczący wpływa na poziom jakości uzyskiwanego wyrobu. Utrzymanie ruchu to proces skomplikowany i bardzo złożony, to także jeden z najważniejszych działów w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Doskonalenie utrzymania ruchu stanowi istotny element rozwoju organizacji, a sprawne zarządzanie procesem utrzymania ruchu przyczynia się do zwiększenia efektywności i konkurencyjności przedsiębiorstwa. Wzrost automatyzacji procesów wytwórczych sektorze produkcyjnym, potężny postęp technologiczny, optymalizacja procesów zachodzących w przedsiębiorstwach oraz nowe możliwości rozwiązań, przyczyniają się do wykorzystania przez przedsiębiorstwa coraz to nowocześniejszych narzędzi wspierających zarządzanie organizacją.

Podstawą sprawnego i skutecznego zarządzania utrzymaniem ruchu jest właściwy system przetwarzania informacji. Prawidłowe zarządzanie utrzymaniem ruchu w przedsiębiorstwie obejmuje całość działań prowadzonych w obszarze utrzymania ruchu infrastruktury technicznej (parku maszynowego) oraz prawidłowy przepływ i wymiana informacji wewnątrz organizacji.

W celu szybkiego i dokładnego przetwarzania informacji obecnie wiele przedsiębiorstw stosuje komputerowe systemy wspomagające proces gromadzenia danych produkcyjnych z maszyn, realizujących poszczególne etapy produkcji. Dostęp w czasie rzeczywistym do kompletnej informacji na temat procesów produkcyjnych, jakości produkcji czy efektywności wykorzystania posiadanych zasobów, umożliwia pozyskanie i przetwarzanie danych produkcyjnych, bezpośrednio z linii produkcyjnych w sposób niezależny od samego procesu.

Utrzymanie ruchu jest postrzegane także jako element łańcucha wartości operacyjnych, natomiast jego zadaniem jest tworzenie wartości dodanej dla klienta i zapewnienie niezawodności infrastruktury technicznej.

J. RUT

Opole University of Technology (Poland)

METODA FMEA W DOSKONALENIU PROCESÓW ZARZĄDZANIA PRZEDSIĘBIORSTWEM

W sektorze produkcyjnym najważniejszym aspektem, jest dostarczenie klientowi zamówionego produktu o najwyższej jakości. Istotnym elementem i jednocześnie bardzo ważnym wyzwaniem dla przedsiębiorstw jest sprostać wymaganiom jakości stawianym przez klienta oraz wytwarzać produkty jak najwyższej jakości chcąc uzyskać satysfakcjonującą pozycję na rynku.

Doskonalenie produkcji i zarządzanie produkcją stanowi dziś wielkie wyzwanie dla wielu przedsiębiorstw. Zarządzanie produkcją jest zadaniem bardzo odpowiedzialnym i wszechstronnym, ze względu na fakt obejmujący znalezienie odpowiedzi na pytania: co?, gdzie?, kiedy?, ile? i jak wyprodukować?, aby pozwolić przedsiębiorstwu utrzymać się na konkurencyjnym rynku, pracować rentownie, przynosić zyski, czy wreszcie rozwijać się w dalszym horyzoncie czasowym.

Zarządzanie przedsiębiorstwem w obecnych czasach stanowi ogromne wyzwanie i jest sztuką podejmowania trafnych decyzji. Współcześnie, trafność i dokładność wykonywania podjętych decyzji może wpływać na rozwój całego przedsiębiorstwa i jego pozycję na rynku. Natomiast umiejętność błyskawicznej reakcji na zmiany zachodzące na rynku, często definiuje dzisiejsze „być albo nie być” przedsiębiorstwa.

Jedną z najlepszych technik analitycznych pozwalających na przejrzyste ustalenie związków między przyczynami i skutkami jest metoda FMEA, która pozwala uzyskać pewność, że w projektowaniu wyrobów i realizacji produkcji wszystkie możliwości zostały wzięte pod uwagę. Metoda FMEA może być stosowana do analizy różnych zjawisk i problemów w przedsiębiorstwie. Umożliwia rozpoznawanie niezgodności wraz z ryzykiem ich powstania, które może mieć miejsce w elementach produktu finalnego. FMEA umożliwia prześledzenie struktury i przebiegu procesu produkcyjnego, wspomagając zarządzanie produkcją.

M. SPALIK

Opole University of Technology (Poland)

WPLYW Al I Si W KSZTAŁTOWANIU SKŁADU FAZOWEGO POWŁOK PVD ZE STALI CHROMOWO-NIKLOWEJ

Metoda rozpylania magnetronowego jest postrzegana jako jedna z najpopularniejszych stosowanych sposobów PVD do osadzania powłok. Zaletą metody jest wykonanie cienkich warstw na stosunkowo dużych powierzchniach różnych materiałów, które mogą być również wieloskładnikowe. W układzie magnetronowym wykorzystuje się taką konfigurację pola magnetycznego i elektrycznego, aby ich wektory były do siebie prostopadłe. To wzbudza działanie dwóch sił: elektrostatycznej i elektromagnetycznej (która prostopadła jest do kierunku pola magnetycznego i wektora prędkości).

W pracy zajmowano się powłokami osadzonymi metodą rozpylania magnetronowego. Do osadzenia powłok wykorzystano targety ze stali chromowo-niklowej. Powłoki osadzono na podłożach z monokrystalicznego krzemu. W trakcie procesu osadzania do stali chromowo-niklowej wprowadzono kolejno dodatki aluminium i krzemu w odpowiednich ilościach (1-2,5% at.). W badaniach metodą XRD (z ang. X-ray Diffraction) dokonano oceny składu fazowego powłok. Stwierdzono, że powłoki posiadają dwufazową strukturę ferrytu i austenitu. Wykazano, że dodatek aluminium zwiększa rozmiar krystalitów, natomiast dodatek krzemu nie ma wpływu na wielkość krystalitów w powłokach. Wyniki pomiarów dyfraktometrycznych potwierdziły obserwacje powierzchni powłok na mikroskopie skaningowym elektronowym.

Od początku opracowania tej technologii PVD (z ang. Physical Vapour Deposition) powłoki miały zastosowanie w elektronice i optyce.

J. TREMBACZ, P. WÓJCIK

Opole University of Technology (Poland)

ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE NA WYBRANYCH STANOWISKACH PRACY W HUCIE SZKŁA

W pracy podjęto się identyfikacji oraz analizy zagrożeń występujących na stanowisku operatora automatu szklarskiego, operatora linii oraz topiarza w hucie szkła.

Przedstawiono zagrożenia prowadzące do urazów, schorzeń i osłabienia organizmu. Po scharakteryzowaniu stanowisk, wykonano pomiary hałasu, oświetlenia, zapylenia, wilgotności i temperatury.

Uzyskane wyniki pomiarów dla każdego stanowiska odniesiono do wartości dopuszczalnych przez Normy. Przeanalizowano również dokumentację BHP i sporządzono analizę wypadkowości.

W podsumowaniu dokonanej analizy przedstawiono słabe punkty huty w zakresie bezpieczeństwa oraz zaproponowano możliwości poprawy warunków bezpiecznej pracy.

S. ZATOR

Opole University of Technology (Poland)

ASPEKTY TECHNICZNE BUDOWY, FUNKCJONOWANIA I ZABEZPIECZENIA ELEKTROWNI WIATROWYCH

Elektrownia wiatrowa rodzaj elektrowni, która przetwarza energię kinetyczną wiatru na energię elektryczną. Z punktu widzenia prawa budowlanego jest to budowla, w której na fundamencie umieszczona jest wieża na, szczycie której znajduje się gondola wyposażona w generator prądu, do którego energia wiatru przekazywana jest za pośrednictwem wirnika.

Turbina wiatrowa ze względu na to, że wyposażona jest w szereg instalacji elektrycznych od instalacji zasilającej, instalacji generatora, instalacji układów sterowania i kontroli oraz sygnalizacji po instalację odgromową. Pod względem elektrycznym istnieje kilka typowych rozwiązań generatorów i ich połączeń z siecią elektroenergetyczną. Większość elektrowni wiatrowych zainstalowanych w systemach elektroenergetycznych jest wyposażona w generator asynchroniczny. Należy mieć na uwadze, że nie można zatrzymać pracującej turbiny odcinając ją od zasilania.

Pożary turbin wiatrowych to wielki problem, ze względu na ich wysokość jak i zakres pożaru i gwałtowność, gdyż obejmuje całą gondolę i nierzadko łopaty wirnika. Interesujące jest jak wygląda statystyka tzw. incydentów związanych z turbinami wiatrowymi, w tym z pożarami. Wg tychże statystyk w sumie 15% wypadków to pożary i zajmują one drugie miejsce po awarii łopat. Dodatkowo stwierdzono, że 90% pożarów kończy się całkowitym zniszczeniem turbiny. Liczba zdarzeń utrzymuje się w pewnych granicach. Na świecie rocznie w ostatnich latach liczba raportowanych pożarów nie przekracza 30. Jednak szacuje się, że raportowane jest jedynie około 10% incydentów. Aby uwzględnić dynamikę zdarzeń lepiej odnieść je do mocy turbin. Tutaj następuję znacząca poprawa bezpieczeństwa pracy turbin, a spadek liczby incydentów wynika z coraz to większej mocy instalowanych jednostek wytwórczych.

Kolejny problem to stwarzanie zagrożenia dla otoczenia przez turbiny wiatrowe podczas ich pożaru. Straty finansowe oraz negatywne wpływ na środowisko mogą być równie poważne jak straty w infrastrukturze. Poważne zagrożenie stanowią płonące elementy gondoli i łopat, które z wiatrem przenoszone są na duże odległości i mogą stanowić źródło pożarów wtórnych. Znane są przypadki, w których znaleziono fragmenty turbiny wiatrowej w znacznej odległości od miejsca, w którym ona pracowała.

Na jednej z konferencji, dla wyjaśnienie istoty problemu związanego z powstawaniem pożarów elektrowni wiatrowych, przedstawiono dwa slajdy. Pierwszy przedstawiał przekrój gondoli turbiny, tak jak widzi ją projektant, wykonaw-

ca bądź użytkownik, a na drugim widzianą oczami strażaka. Oba slajdy w zasadzie nie wymagały komentarza, odnośnie tego jak łatwo o powstanie pożaru zwłaszcza w gondoli turbiny.

Podsumowując, realia są niestety takie, że w przypadku pożaru turbiny wiatrowej można go jedynie nadzorować, nie dopuszczając do jego rozprzestrzenienia się. Podstawowym problemem jest wysokość budowli. Przedstawiono jednak propozycje kilku rozwiązań, które mogą przyczynić się zmniejszenia rozprzestrzenienia się ognisk pożaru.

J. TREMBACZ, M. LASOŃCZYK

Opole University of Technology (Poland)

**ANALIZA WYBRANYCH WÓZKÓW DZIECIĘCYCH
SPACEROWYCH I INWALIDZKICH Z UWZGLĘDNIENIEM
ASPEKTÓW ARGONOMII I BEZPIECZEŃSTWA UŻYTKOWANIA**

W pracy przedstawiono podstawowe zagadnienia dotyczące wymogów stawianych dla wózków dziecięcych.

Wykonano szereg badań terenowych, których wyniki przedstawiono w części badawczej. Przeprowadzono również badania ankietowe wśród wybranej grupy (rodziców). Badania wykonano dla wybranych modeli wózków dziecięcych spacerowych i wózków inwalidzkich. Celem tych badań było określenie wad i zalet mających wpływ na funkcjonalność i bezpieczeństwo użytkowania poszczególnych modeli wózków.

Dzięki uzyskanym wynikom badań możliwe było porównanie oczekiwań rodziców w stosunku do poszczególnych cech wózków. Szczególnie zwrócono uwagę na te główne cechy wózków, które powinny one posiadać, aby zyskać status w pełni ergonomicznych i bezpiecznych dla dzieci i rodziców.

J. TREMBACZ, P. KAŁUŻA, A. NOSOL

Opole University of Technology (Poland)

RYZIKO W PRACY STRAŻAKÓW OSP ANALIZOWANE METODĄ RISK SCORE

W pracy podjęto się wykonania analizy ryzyka zawodowego strażaków z Ochotniczej Straży Pożarnej.

Przedstawiono zakres działań ratowniczo-gaśniczych podejmowanych przez jednostkę OSP.

Porównano akcje ratunkowo-gaśnicze przeprowadzone w latach 2014-2018 na terenie województwa Opolskiego oraz przedstawiono przypuszczalne przyczyny powstawania pożarów i miejscowych zagrożeń.

W dalszej części pracy przedstawiono karty oceny ryzyka zawodowego dla trzech wybranych stanowisk pracy w jednostce OSP. Opisano zagrożenia występujące podczas pracy i oszacowano ryzyko za pomocą metody Risk Score.

J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI, K. MANKIEWICZ

Opole University of Technology (Poland)

ZARZĄDZANIE NIEBEZPIECZNĄ ENERGIĄ LockOut TagOut (LOTO) W PRZEDSIĘBIORSTWACH PRODUKCYJNYCH

Rosnąca konkurencja na rynku wymusza zmianę podejścia do bezpieczeństwa pracy w przedsiębiorstwach. Wraz z rozwojem techniki i technologii szczególnego znaczenia nabiera bezpieczeństwo techniczne maszyn i urządzeń.

Ogromne znaczenie i wpływ na podejmowane decyzje w obszarze bezpieczeństwa ma też rozwój techniki i technologii, w szczególności bezpieczeństwo techniczne maszyn i urządzeń. Zmiana modelu zarządzania bezpieczeństwem w realizacji procesów zachodzących w przedsiębiorstwie i podejścia do występujących zagrożeń w toku prac produkcyjnych, wymusza na przedsiębiorstwach stosowanie coraz to nowszych rozwiązań.

Zapewnienie bezpiecznej pracy podczas czynności naprawczych, remontowych, przeglądowych, czyszczeń oraz konserwacji maszyn i urządzeń stanowi podstawę zapobieganiu występującego ryzyka obejmującego straty ludzkie jak i materialne, które mogą być skorelowane z wypadkami przy pracy.

Zarządzanie niebezpieczną energią w przedsiębiorstwach produkcyjnych jest bardzo istotne, ponieważ przypadkowe uruchomienie maszyny lub niezamierzone uwolnienie zmagazynowanej energii może spowodować katastrofalne zagrożenia dla życia i zdrowia ludzi, jak i maszyn i urządzeń.

Wszystkie niepożądane zdarzenia zagrożenia pracowników powstałe na terenie przedsiębiorstwa, zarówno te poważne, jak i drobne, negatywnie wpływają na działalność każdego przedsiębiorstwa. LOTO to system różnego rodzaju zabezpieczeń, który podwyższa poziom bezpieczeństwa pracowników konserwujących maszyny i urządzenia. LOTO pozwala na tymczasowe odcięcie źródeł energii do maszyn i urządzeń, w skuteczny sposób unieruchamiając je na czas prowadzenia prac serwisowych parku maszynowego w przedsiębiorstwie.

Zastosowanie systemu LOTO może zmniejszyć dużą ilość zagrożeń. Zalecenia LOTO dotyczą m.in. uniemożliwienia dostępu do stref niebezpiecznych, w których aktywnie pracują maszyny i urządzenia, a ich elementy mogą potencjalnie zagrażać operatorom.

J. TREMBACZ, K. POKA

Opole University of Technology (Poland)

**ANALIZA STANU BEZPIECZEŃSTWA PRACY W ZAKŁADZIE
WYTWARZAJĄCYM ARMATURĘ SANITARNA**

W pracy wykonano ocenę ryzyka zawodowego na wybranych stanowiskach pracy, zidentyfikowano istniejące zagrożenia oraz opracowano plan poprawy bezpieczeństwa warunków pracy na wybranych stanowiskach pracy.

Zastosowano metodę Risk Score do wykonania analizy i oceny ryzyka zawodowego.

Ocena ryzyka zawodowego została wykonana dla wybranych stanowisk pracy oraz w całym zakładzie produkcyjnym (analiza poziomu bezpieczeństwa w zakładzie, analiza wypadkowości oraz spełnienie wymogów BHP: badania lekarskie, szkolenia, stosowane środki ochrony zbiorowej i indywidualnej, kwalifikacje pracowników, itd.).

W podsumowaniu uzyskanych wyników, przedstawiono plan poprawy warunków bezpieczeństwa w zakładzie pracy (działania techniczne i organizacyjne, aby usunąć stwierdzone nieprawidłowości).

J. TREMBACZ, S. MORYŃ, A. TRELA

Opole University of Technology (Poland)

**BEZPIECZEŃSTWO PODCZAS PRAC
WYKONYWANYCH W ROLNICTWIE NA TERENIE
WOJEWÓDZTWA DOLNOŚLĄSKIEGO**

W pracy wykonano analizę przestrzegania zasad bezpiecznej i higienicznej pracy w gospodarstwach rolnych w województwie dolnośląskim i porównano uzyskane dane z danymi dla całego kraju.

Szczegółowo przedstawiono czynniki zagrażające podczas prac w gospodarstwach rolnych.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że prace w rolnictwie są bardzo niebezpieczne, szczególnie dla dzieci i młodocianych. Wskazano również przyczyny wypadków podczas prac rolniczych. Rolnictwo Dolnego Śląska w porównaniu do rolnictwa całego kraju jest na stosunkowo wysokim poziomie bezpieczeństwa.

A. HACHKEVYCH¹, T. WOŁCZAŃSKI²

¹ National University «Lvivs'ka Politechnika» (Ukraine)

² Opole University of Technology (Poland)

INFORMATION SECURITY MANAGEMENT IN MANUFACTURING PROCESSES

Currently, a security of a company faces a large number of challenges that pose in information sphere. Most of them have strong impacts on the successfulness of manufacturing processes leading to dangerous ramifications. That is the reason for raising the matter of managing the information security of a company.

There are several courses of actions to undertake aiming at protecting a company from information threats. In this research they are explained regarding their targets. Physical measures are targeted at the information which is accumulated in the form of documents. They are as effective as keeping a thing in a secret place to avoid its stealing. It nevertheless does not make inevitable any possible threat caused by the necessity of accessing such information by anyone who exploits information for the purposes of manufacturing processes. Networking measures address information systems and resources and prevent harmful interferences. In the circumstances of rapid technical progress these measures are expected to provide a good balance between the robustness to changes and the availability to operate over networks. Legal ones are related to the obligatory rules governing the relations within an organization, including different types of them distinguished by subjects participating. Signing a non-disclosure agreement (or including relevant provisions into an employment contract) is widespread practice, which lays the foundation for information security management in general. It is possible to underline organizational measures in addition to legal. Additional corporate rules are established at the internal level such as conducting a personal search when a person is leaving a working place. Personal measures make an impact on the personality of an individual somehow being connected to an organization. They affect consciousness as a result of educational and awareness-rising efforts.

Thus, one might conclude that the matter of information security management requires the preparation of special policy by an organization. Its consistent and systematic realization involving the support of legal advisors, security officers, information technology experts might be very helpful in making manufacturing processes more predictable.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, V. MISHCHENKO¹, S. MORYŃ², R. TERLETS'KYI¹

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

² Opole University of Technology (Poland)

WYBRANE PROBLEMY BEZPIECZEŃSTWA PRACY I ŚRODOWISKA PRZY OBRÓBCE Z WYKORZYSTANIEM PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Obecnie w procesach technologicznych powiązanych z obróbką mechaniczną istotną uwagą zwracana jest na problem zmniejszenia szkodliwego wpływu takiej obróbki i zjawisk towarzyszących na szeroko rozumianą inżynierię bezpieczeństwa – powiązany zespół: człowiek, produkcja (detali wytwarzanych maszyn), warunki pracy, ekologiczne charakterystyki otoczenia i in. Zwiększane są wymogi do zmniejszenia poziomów hałasu, wibracji, podwyższonych temperatur, zużycia i produkcji ciepła i in. Osobliwie znaczny ujemny wpływ na warunki pracy i czynniki towarzyszące wykazują procesy końcowej obróbki, w szczególności szlifowanie, toczenia, frezowanie. Warto zaznaczyć, że przy tym często osiągnęte są korzystne właściwości: mała chropowatość powierzchni, ściskające naprężenia szczątkowe, stopień zużycia, mikrotwardość i in. przy niekorzystnych charakterystykach: znacznej produkcji ciepła i dodatkowej masy, złożonych warunkach pracy, bardzo dynamicznych przebiegach procesów i in.

W ciągu ostatnich lat wzrasta zainteresowanie zastosowaniami pola elektromagnetycznego (PEM) w technologicznych procesach produkcji i obróbki wyrobów z tradycyjnych i nowych materiałów w różnych dziedzinach przemysłu. Takimi procesami, w szczególności są procesy hartowania, wyżarzania (ujednorodniającego, normalizującego, zmięszającego, odprężającego, odpuszczającego), spawania, wytwarzania próżni w powłokowych układach, nanoszenia wzmacniających pokryć i stopów, odgazowania wyrobów itp, które obecnie schematycznie polegają w nagrzewaniu elementa z wykorzystaniem stosowanych (tradycyjnych) sposobów nagrzewania do odpowiedniej temperatury, wygrzania w tej temperaturze i studzenia do temperatury otoczenia.

Przy oddziaływaniu PEM w elementach przewodzących elektryczność indukowane są prądy elektryczne, których przyplýwowi towarzyszy powstanie w każdej podobiećności elementa produkcji cieplnej oraz sił i momentów ponderomotorycznych. Wynikiem działania tych czynników są powstające procesy cieplne i mechaniczne, a również spowodowane nimi inne zjawiska i procesy o różnej przyrodzie fizycznej.

Przy zastosowaniu PEM w technologiach obróbki często niepowstaje konieczność w procesach końcowej obróbki, powiązanych z szlifowaniem, toczeniem, frezowaniem. Otrzymywane są w takiej obróbce również konieczne hartowalne parametry, przy tym istotnie zmniejszają się wspomniane poprzednio czynniki szkodliwego wpływu obróbki. W ten sposób zastosowanie PEM przy różnego rodzaju obróbkach pozwala na sterowanie właściwościami materiału oraz charakterystykami powierzchniowej warstwy, w szczególności hartowalnymi, w zależności od wymogów eksploatacji detali maszyn i może być wykorzystane dla zmniejszenia stopnia zużycia materiału powierzchni przy minimalnym szkodliwym cieplnym wpływie na środowisko otaczające.

O. HACHKEVYCH^{1,2}, R. IVAS'KO¹, S. MORYŃ², R. MUSII³

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

² Opole University of Technology (Poland)

³ National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

**POŁĄCZONE ZAGADNIENIA TERMOMECHANIKI CIAŁ
PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ I INŻYNIERII
BEZPIECZEŃSTWA PRZY ODDZIAŁYWANIU IMPULSOWYCH PÓL
ELEKTROMAGNETYCZNYCH Z MODULACJĄ AMPLITUDY**

Elementy obecnych konstrukcji i urządzeń w procesie produkcji i eksploatacji często poddane są oddziaływaniu niestacjonarnego, w szczególności impulsowego, pola elektromagnetycznego (stosowanego przy wytwarzaniu czynnika technologicznego również jak czynnika istniejącego w środowisku pracy). Przy tym elementy otrzymują pewne fizyczno-mechaniczne właściwości które konieczne są dla właściwego funkcyjnego przeznaczenia lub są niekorzystne. Te właściwości określone są przez parametry pola elektromagnetycznego (PEM) które powinny odpowiadać również istniejącym standardom bezpieczeństwa pracy przy oddziaływaniu promieniowania elektromagnetycznego.

W wielu dziedzinach przy oddziaływaniu PEM o zakresie radioczęstotliwościowym o częstościach 300 GHz ÷ 60 kHz w standardach bezpieczeństwa pracy przyjęte są takie dopuszczalne poziomy charakterystyk PEM na stanowisku pracy – E_d : od $E_d \leq 500$ do $E_d \leq 80$ V/m; H_d : od $H_d \leq 50$ do $H_d \leq 0,3$ A/m (gdzie E_d i H_d – graniczne dopuszczalne wartości natężenia pola elektrycznego i magnetycznego na stanowisku pracy personelu) przy koniecznych odpowiednich wartościach natężeń pola elektrycznego i magnetycznego w wyrobie dla przebiegu procesu technologicznego.

Dla oszacowania odpowiednich własności oraz granicznych względem bezpieczeństwa pracy wartości parametrów PEM, konieczne jest uogólnienie znanych matematycznych modeli opisu PEM w wyrobach i otaczającym środowisku, a również spowodowanego im termomechanicznego zachowania przy rozważanych obciążeniach.

Opracowany został wariant modelu matematycznego określający właściwości cieplne i mechaniczne przewodzących ciał przy oddziaływaniu zewnętrznych impulsowych PEM, które mają charakter stosowanych w praktyce inżynierskiej przebiegów z modulacją amplitudy o impulsowym sygnale modulującym. On oparty jest na uwzględnieniu eksperymentalnie ustalonego w fizyce nadsilnych PEM i termomechanice dynamicznych

układów adiabatycznego charakteru procesów nagrzewania oraz odkształcania przy takim oddziaływaniu, a również nieistotności wpływu ruchu środowiska na parametry PEM dla pól należących do klasy impulsowych “nieniszczących”.

Rozwinięta wielomianowo-aproksymacyjna metoda rozwiązywania sformułowanych składowych zagadnień elektromagnetotermomechaniki ciał przewodzących elektryczność o kanonicznej geometrii z wykorzystaniem aproksymacji wszystkich występujących kluczowych funkcji wielomianem trzeciego stopnia względem grubościowej współrzędnej. Uściślono wyniki przy oddziaływaniu dwóch szeroko wykorzystywanych w praktyce inżynierskiej typów PEM o modulacji amplitudy charakteryzujących się odpowiednio przebiegiem o impulsowym sygnale modulującym i przebiegiem sinusoidy tłumionej. Określono również istotne względem zastosowań takich pól kierunki badań w tej problematyce.

Zaproponowana metoda pozwala na powiązanie dopuszczalnych względem standardów bezpieczeństwa pracy wartości parametrów elektrycznych i magnetycznych w środowisku pracy z wartościami w wyrobach koniecznymi w technologiach impulsowej elektromagnetycznej obróbki.

R. IVAS'KO¹, O. MLYNKO², O. MOKRYK², R. MUSII²

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

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

WYBRANE PROBLEMY MODELOWANIA TEMPERATUROWO-SIŁOWYCH PRZEBIEGÓW W POŁĄCZENIU Z ZAGADNIENIAMI INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA W IMPLANTATACH PRZY ODDZIAŁYWANIU PROMIENIOWANIA ELEKTROMAGNETYCZNEGO ZAKRESU RADIOWEGO

Otoczające człowieka środowisko obecnie pozostaje powszechnie poddane oddziaływaniu pól elektromagnetycznych (PEM), spowodowanych naturalnymi jak i technicznymi czynnikami. Charakterystyki tych pól mogą być istotnie większymi od parametrów naturalnego fonowego promieniowania, przekształcając się obecnie w niebezpieczny ekologiczny jak i zdrowotny czynnik. Źródłem promieniowania elektromagnetycznego są generatory, linii prądu, anteny, bloki energetycznych urządzeń o różnym celowym przeznaczeniu i in. Wpływ PEM o różnych częstotliwościowych zakresach wzrasta przy zwiększeniu częstotliwości i wykazuje istotne oddziaływanie na organizm człowieka w zakresie wysokich i nadwysokich częstotliwości. W tych zakresach pracują wielu tele- i radiostacji, a również prawie wszystkie radioliniowe stacje oraz układy komórkowego związku telefonicznego w tym bezprzewodowego komputerowego.

W praktyce licowo-szczękowej chirurgii i ortopedii wykorzystywane są terazniejsze technologie połączenia urażonych części ciała (przy przełamach kości i in.) z pomocą implantatów odpowiedniej konfiguracji. Takie implantaty często są wyprodukowane z nieferromagnetycznych materiałów przewodzących elektryczność.

Przy obecności człowieka posiadającego odpowiedni implantat w warunkach oddziaływania zewnętrznych promieniowań elektromagnetycznych, takie implantaty w jego ciele zaznają oddziaływania PEM. Na skutek tego w implantatach indukowane są prądy przewodzenia, powodujące powstania w nich ciepła Joule'a i sił ponderomotorycznych. Wykazane czynniki przewodzą do powstania temperaturowo-siłowych przebiegów funkcjonowania implantatów, które przy odpowiednich granicznych parametrach wpływają na samopoczucie człowieka tak i jego zdrowie.

Zaproponowany model matematyczny wyznaczania parametrów temperaturowo-siłowego przebiegu funkcjonowania implantatów tarczowej i walcowej konfiguracji przy oddziaływaniu PEM zakresu radioczęstotliwościowego. Dany model posiada dwa etapy. W pierwszym

etapie wyznaczane są w implantacji indukowane zewnętrznym promieniowaniem niestacjonarne PEM oraz spowodowane nim ciepło Joule'a i siły ponderomotoryczne oddziaływania wzajemnego zaindukowanych prądów i zewnętrznych PEM. W drugim etapie z równania przewodzenia cieplnego, w którym źródłem ciepła występuje ciepło Joule'a obecne w implantacji, znajdują się rozkłady temperatury spowodowane tym ciepłem. Maksymalna wartość wyznaczonej temperatury porównywana jest z wartością odpowiadającą progu bolowego wycucia człowieka (wiadomego z eksperymentalnych klinicznych badań).

Ustalono, że przy pewnych częstościach zewnętrznego promieniowania elektromagnetycznego, które odpowiadają własnym częstościom drgań mechanicznych implantata, oprócz wpływu temperaturowego czynnika na przebieg jego funkcjonowania istotny wpływ może mieć siłowe obciążenie (dodatkowy czynnik oddziaływania elektromagnetycznego – siła ponderomotoryczna).

Wyniki przeprowadzonych w oparciu o zaproponowany model matematyczny badań dla tarczowych i walcowych implantatów mogą być teoretyczną podstawą dla prognozy niezawodności ich funkcjonowania oraz zabezpieczenia komfortowych warunków dla człowieka posiadającego implantatowe włączenia.

I. CHUPYK¹, O. HACHKEYVYCH^{1,2},
T. KOZAKEVYCH¹, T. WOŁCZAŃSKI²

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

² Opole University of Technology (Poland)

ZAGADNIENIA PRODUKCJI I INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA PRZY RÓŻNYCH SPOSOBACH NAGRZEWANIA TECHNOLOGICZNEGO

Przy produkcji szeregu elementów obecnych konstrukcji i maszyn często wykorzystują lokalne wysokotemperaturowe nagrzewanie, które praktycznie realizowane jest przy pomocy konkretnych sposobów nagrzewania (gazowych, elektrycznych, elektromagnetycznych, laserowych, opromieniowania w podczerwieni i in.).

Wysokie temperatury nagrzewania i przebiegi kolejnego chłodzenia mogą zmieniać strukturalny stan materiałów w szczególności stali. To prowadzi do zmiany ich mechanicznych właściwości (trwałości (sztywności), wytrzymałości, plastyczności, lepkości i in.), a również do powstania w odpowiednich elementach plastycznych jak i strukturalnych szczątkowych deformacji i naprężeń, poziomy których mogą być większymi od dopuszczalnych.

Dla prognozy mechanicznych właściwości konstrukcyjnych elementów i poziomu naprężeń szczątkowych powstających w nich przy wykorzystywanych sposobach nagrzewania-chłodzenia jest ważnym i aktualnym opracowanie metodyk badania i optymalizacji względem różnych kryteriów (funkcyjnych, wytrzymałościowych, ekologicznych, inżynierii bezpieczeństwa i in.) stanu fazowego i sprężystego takich elementów w procesie nagrzewania-chłodzenia jak i po jego zakończeniu. Wyjściowym przy tym jest modelowanie źródeł ciepła przy stosowanych sposobach nagrzewania oraz uwzględnienie odsobliwości inżynierskiej realizacji tych sposobów i towarzyszących im czynników ekologicznych i inżynierii bezpieczeństwa (w szczególności czynników oddziaływania na człowieka i środowisko pracy tak i otoczenie).

Sposobom tym odpowiadają rozkłady w elementach źródeł ciepła lub osobliwości wprowadzenia energii w objętość rozważanych elementów (powierzchniowymi strumieniami ciepła lub źródłami, które mogą mieć rozkład od przypowierzchniowego do objętościowego w tym prawie równomiernego w szczególności dla gazowych, laserowych, opromieniowania w podczerwieni – prawie powierzchniowego). W tym konieczne jest wydzielenie nagrzewania elektromagnetycznego (indukcyjnego), przy którym w zależności od częstości rozkład źródeł względem grubości zmienia się od powierzchniowego (efekt

naskórkowości) do prawie stałego. Każdemu z zastosowanych sposobów nagrzewania właściwe również swoje techniczne osobliwości w realizacji i czynniki oddziaływania na środowisku pracy i otoczenia. Warto podkreślić również że każdemu z omówionych sposobów nagrzewania odpowiadają na ogół korzystne czynniki oddziaływania (technologiczne, ekologiczne, inżynierii bezpieczeństwa i in.) jak i negatywne (temperaturowe, hałasowe, zdrowotne i in.). Wybór sposobów celowego nagrzewania musi być realizowany w oparciu o kompromisową ocenę osiągniętych koniecznych efektów wpływu istniejących czynników (technicznych, ekologicznych, inżynierii bezpieczeństwa, warunków pracy i środowiska, zdrowotnych) tak i uwzględnienia występujących inżynierskich osobliwości realizacji sposobów nagrzewania w każdym rozważanym przypadku.