

# **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)

Państwowy Moskiewski Uniwersytet Technologiczny „Stankin”

(Rosja)

**Międzynarodowe seminarium naukowe**

## ***OPTIMALIZACJA STRUKTUR PROCESÓW WYTWÓRCZYCH - 2018***

**Materiały**



**OPOLE  
7 grudnia 2018**

---

OPOLE 2018

**KOMITET NAUKOWY**

**PRZEWODNICĄCY:**

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

**CZŁONKOWIE:**

Górecki Cz., Hachkevych O., Kulińska E., Madej-Lachowska M., Mulicka I.,  
Pająk J., Shynkarenko H., Terlecki R., Wołczański T.

**KOMITET ORGANIZACYJNY:**

Bozhenko B., Ginter M., Ivas'ko R., Kmiecik M., Stanik-Besler A.,  
Wołczański T.

**JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE:**

Katedra Matematyki i Zastosowań Informatyki, Katedra Fizyki,  
Katedra Inżynierii i 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  
Instytut Matematyki i Fizyki  
Instytut Organizacji Procesów Wytwórczych  
ul. Sosnkowskiego 31, 45-271Opole  
tel. 077 – 449 87 21

## SPIS TREŚCI

### REFERATY ZAMAWIANE

<b>1. O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER, T. WOŁCZAŃSKI</b> PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2018 .....	9
<b>2. T. WOŁCZAŃSKI</b> AKTUALNE PROBLEMY INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA – 2018 .....	14
<b>3. S. BUDZ, B. DROBENKO, O. HACHKEVYCH, A. STANIK-BESLER</b> DO MODELOWANIA STANU SPRĘŻYSTO-ODKSZTAŁCALNEGO ORAZ OKREŚLENIA EKSPLOATACYNEGO RESURSU WYBRANYCH ELEMENTÓW DZIAŁAJĄCYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH .....	18
<b>4. H. ŚCIEGOSZ</b> ANALIZA SZEREGÓW CZASOWYCH – REKONSTRUKCJA ATRAKTORA .....	22

### I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

<b>1. Cz. GÓRECKI</b> KINETYKA NATURALNEGO FIZYCZNEGO STARZENIA MODYFIKOWANYCH BIZMUTEM SZKIEŁ CHALKOGENIDKOWYCH $As_xSe_{100-x-y}Bi_y$ BADANA METODĄ RÓŻNICOWEJ KALORYMETRII SKANINGOWEJ (DSC) .....	29
<b>2. Z. ŚLÓDERBACH</b> ANALIZA WYBRANYCH EFEKTÓW SPRĘŻEŃ W TERMO-SPRĘŻYSTO- PLASTYCZNOŚCI PRZEDSTAWIONYCH W ZAMKNIĘTYM DIAGRAMIE SPRĘŻEŃ .....	31
<b>3. K. SŁONKA, A. KOZIARSKA, R. PAMPUCH</b> ANALIZA CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA ODCHYLEŃ W POSTAWIE CIAŁA U DZIECI .....	33
<b>4. V. KULYK, D. PAĆZKO</b> DOPEŁNIENIE SŁABO REGULARNYCH LINIOWYCH ROZSZERZEŃ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH DO REGULARNYCH .....	34
<b>5. M. KUBUS</b> ZADANIE APROKSYMACJI FUNKCJI W WARUNKACH INTERAKCJI ORAZ ZMIENNYCH ZAKŁÓCAJĄCYCH .....	36
<b>6. O. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, M. SOLODYAK, A. STANIK-BESLER</b> OPIS ILOŚCIOWY WŁAŚCIWOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNYCH, CIEPLNYCH ORAZ MECHANICZNYCH NIEPOLARYZUJĄCYCH SIĘ FERROMAGNETYCZNYCH CIAŁ PRZEWODZĄCYCH ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH .....	38
<b>7. O. HACHKEVYCH, R. KUSHNIR, N. MELNYK, R. MUSIY</b> PODSTAWY FIZYCZNO – MATEMATYCZNE OPISU ILOŚCIOWEGO PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH, CIEPLNYCH I MECHANICZNYCH W WARSTWIE NIEFERROMAGNETYCZNEJ PRZEWODZĄCEJ ELEKTRY- CZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU IMPULSOWYCH PÓL ELEKTRO- MAGNETYCZNYCH.....	39

<b>8. K. GHAZARYAN, R. IVAS'KO, M. SOLODYAK, A. STANIK-BESLER</b> DO OPISU I ANALIZY POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO I CZYNNIKÓW JEGO ODDZIAŁYWANIA W WARSTWIE NIEFERROMAGNETYCZNEJ PRZY DWUSTRONNYM NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM .....	40
<b>9. A. CHWASTYK</b> NOWE PODEJŚCIE DO OPISU WYNIKÓW BADAŃ MEDYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM SKIEROWANYCH LICZB ROZMYTYCH .....	41
<b>10. O. HACHKEYVYCH, R. MUSIY, A. STANIK-BESLER, H. STASIUK</b> DO CAŁKOWANIA ILOCZYNÓW EKSPONENCJALNYCH I TRYGONOMETRYCZNYCH FUNKCJI .....	43

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

<b>1. V. ASTASHKIN, S. BUDZ, B. DROBENKO, O. HACHKEYVYCH</b> DO MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO PROCESÓW ODKSZTAŁCANIA W ELEMENTACH DZIAŁAJĄCYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH .....	47
<b>2. S. BUDZ, B. DROBENKO, O. HACHKEYVYCH, R. KUSHNIR</b> DO MODELOWANIA NUMERYCZNEGO PROCESÓW ODKSZTAŁCANIA W ELEMENTACH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH .....	48
<b>3. O. BURYK, B. DROBENKO, A. STANIK-BESLER, P. VANKEYVYCH</b> MODELOWANIE KOMPUTEROWE PROCESÓW TERMOMECHANICZNYCH W ELEMENTACH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH .....	49
<b>4. B. BOZHENKO, S. BUDZ, B. DROBENKO, A. RAWSKA-SKOTNICZNY</b> OCENA MOŻLIWOŚCI NASTĘPNEJ EKSPLOATACJI KRÓĆCÓW Z POREMONTOWYMI UBYTKAMI MATERIAŁU .....	50
<b>5. V. ASTASHKIN, B. BOZHENKO, S. BUDZ, B. DROBENKO</b> OPTIMALIZACJA WZGLĘDEM NAPRĘŻEŃ PROCESU ODKSZTAŁCANIA WALCZAKA KOTŁOWEGO ELEKTROWNI CIEPLNEJ, POSIADAJĄCEGO POREMONTOWE UBYTKI MATERIAŁU .....	51
<b>6. V. ASTASHKIN, S. BUDZ, B. DROBENKO, O. HACHKEYVYCH</b> EKSPLOATACYJNY RESURS ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH .....	52
<b>7. S. BUDZ, B. DROBENKO, A. STANIK-BESLER, T. WOŁCZAŃSKI</b> STAN SPRĘŻYSTY ORAZ PRZYDATNOŚĆ DO EKSPLOATACJI KOLEKTORÓW W KOTŁACH ELEKTROWNI CIEPLNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM NABYŁYCH USZKODZEŃ MATERIAŁU .....	53
<b>8. V. ASTASHKIN, S. BUDZ, B. DROBENKO, A. TORS'KYI</b> OCENA PRZYDATNOŚCI DO DALSZEJ EKSPLOATACJI KOTŁOWYCH RUR EKSKRANOWYCH Z NABYTYMI DEFEKTAMI NA PODSTAWIE ANALIZY STANU SPRĘŻYSTO-ODKSZTAŁCALNEGO .....	54
<b>9. O. HACHKEYVYCH, O. HUMENCHUK, A. MARYNOWICZ, R. TERLETSKII</b> CIEPLNE I MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI CZĘŚCIOWO PRZEZROCZYSTEJ WARSTWY PRZY NAPROMIENIOWANIU CIEPLNYM ZA OBECNOŚCI POWIERZCHNI ODBIJAJĄCYCH .....	55
<b>10. O. HACHKEYVYCH, O. HUMENCHUK, A. KOZIARSKA, B. CHORNYI</b> MODELOWANIE I ANALIZA PÓL TEMPERATUR ORAZ MECHANICZNYCH W SKLANEJ WARSTWIE PRZY NAPROMIENIOWANIU CIEPLNYM PRZEZ	

DWA TYPOWE PRZEMYSŁOWE ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA .....	57
<b>11. O. HACHKEVYCH, V. MYKHAILYSHYN, T. KOZAKEVYCH, S. MORYŃ</b>	
MODELOWANIE TERMOSPREŻYSTOPLASTYCZNYCH PROCESÓW PRZY TECHNOLOGICZNYM SPAWANIU .....	59
<b>12. O. HACHKEVYCH, T. KOZAKEVYCH, R. KUSHNIR, T. WOŁCZAŃSKI</b>	
SZCZĄTKOWY STRUKTURALNY I SPREŻYSTY STAN STALOWYCH MAŁOWĘGLOWYCH NISKOSTOPOWYCH TARCZ PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ROZŁOŻONE ŹRÓDŁA CIEPŁA W OBECNOŚCI WYBRANYCH DODATKOWYCH CZYNNIKÓW .....	60
<b>13. I. MAHORKIN, M. MAHORKIN, T. SKRYPOCHKA, A. STANIK-BESLER</b>	
OKREŚLENIE STANU SPREŻYSTO-ODKSZTALCALNEGO W STRUKTURACH Z WIELOKLINOWYMI POŁĄCZENIAMI .....	61
<b>14. O. HACHKEVYCH, M. HACHKEVYCH, E. IRZA, V. MOZHAROVSKY</b>	
OPTIMALIZACJA PRZEBIEGÓW SPAWANIA SZKLANYCH CIAŁ .....	62
<b>15. B. BOZHENKO, R. IVAS'KO, O. ONYSHKO, A. STANIK-BESLER</b>	
MODELOWANIE STANU SPREŻYSTEGO ORAZ FAZOWEGO CIAŁ Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU PRZY ODDZIAŁYWANIU POŁA ELEKTRYCZNEGO .	63
<b>16. N. MELNYK, R. MUSIY, D. TARLAKOVSKII, A. ŻURAWSKA</b>	
CIEPLNE I MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI METALOWYCH WALCA Z CIENKIM POKRYCIEM PRZY NIESTACJONARNYM ELEKTROMAGNETYCZNYM ODDZIAŁYWANIU .....	64
<b>17. Ch. DRAGOMYRECKA, O. HACHKEVYCH, R. IVAS'KO, R. MUSIY</b>	
MODELOWANIE TERMOSPREŻYSTEGO ZACHOWANIA WALCA WYDROŻONEGO PRZY NIESTACJONARNYM CIEPLNYM I SIŁOWYM ODDZIAŁYWANIU, Z UWZGLĘDNIENIEM PROCESU TERMOSPREŻYSTEGO ROZPROSZENIA ENERGII .....	65

### III. INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA W PROCESACH WYTWÓRCZYCH

<b>1. A. ROTKEGEL, Z. ZIOBROWSKI</b>	
CIECZ JONOWA ZAMIENNIKIEM TOKSYCZNYCH AMIN W PROCESIE USUWANIA CO <sub>2</sub> Z GAZÓW SPALINOWYCH .....	69
<b>2. I. MULICKA</b>	
BEZPIECZEŃSTWO JAKO POTRZEBA CZŁOWIEKA NA KAŻDYM ETAPIE ŻYCIA .....	70
<b>3. J. RUT</b>	
TECHNOLOGIA IT - NARZĘDZIE OPTIMALIZACJI ZŁOŻONYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH .....	72
<b>4. J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI</b>	
ZAAWANSOWANA TECHNOLOGIA INFORMATYCZNA W NADZOROWANIU I STEROWANIU PROCESAMI I PRODUKCJĄ .....	73
<b>5. J. TREMBACZ, S. MORYŃ, L. ŁUCKI</b>	
MODERNIZACJA CEMENTOWNI W ASPEKCIE BEZPIECZEŃSTWA PRACY I ŚRODOWISKA .....	74
<b>6. D. KOZOK, R. ŁUSZCZYNA</b>	
ANALIZA ZAGROZEŃ WYSTĘPUJĄCYCH NA STACJACH PALIW	75

Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA ALOHA 5.4.7.....	
<b>7. J. RUT</b>	
OPTIMALIZACJA SKOMPLIKOWANYCH PROCESÓW WYTWARZANIA PRODUKTÓW .....	76
<b>8. J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI</b>	
WORLD CLASS MANUFACTURING - EFEKTYWNE NARZĘDZIE KSZTAŁTOWANIA I CIĄGŁEGO DOSKONALENIA PRODUKCJI .....	77
<b>9. J. TREMBACZ, P. MAĆKÓW</b>	
OCENA STANU BEZPIECZEŃSTWA WYBRANEGO PRZEDSIĘBIORSTWA BRANŻY GASTRONOMICZNEJ .....	78
<b>10. J. TREMBACZ, J. CIEŚLA</b>	
ANALIZA I OCENA BEZPIECZEŃSTWA PRACY AUTOMATYCZNEJ LINII PRODUKCYJNEJ W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE BRANŻY MOTORYZACYJNEJ .....	79

## **REFERATY ZAMAWIANE**







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

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

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

## PROCESY WYTWÓRCZE. OSIĄGNIĘCIA I ROZWÓJ – 2018

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 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, szczególności inżynierii bezpieczeństwa, przy powszechnym wykorzystaniu współczesnego komputerowego inżynieringu (Computer-Aided Engineering (CAE)), dla którego charakterystycznymi cechami są multidyscyplinarność i wielobranżowość.

Badania we wspomnianych kierunkach prowadzone są przez działający od dziesięciu lat w Politechnice Opolskiej zespół pracowników naukowych, zajmujący się rozbudową teoretycznych podstaw organizacji i realizacji procesów wytwórczych oraz koordynacją badań w tej dziedzinie. Badania te dotyczą następujących trzech uściślonych obszarów omawianej tematyki:

- 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 obszarach 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 odpowiednich modeli matematycznych opisujących rozważane procesy i zjawiska, ich optymalizację i dostosowanie do wymogów wykazanych czynników społecznych, ekonomicznych, ekologicznych i inżynierii produkcji, w tym inżynierii bezpieczeństwa, zarówno w obszarze ogólnie rozumianego bezpieczeństwa pracy jak i bezpieczeń-

stwa technicznego, powiązanych z efektywnym wytwarzaniem i kolejną eksploatacją wyrobów przy powszechnym zastosowaniu na wszystkich etapach symulacji komputerowej.

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

1. Modelowanie i inżynieria produkcji w ekorozwoju, Red. nauk. S. Szymura, OWPO SIM z. 236 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-42-7), Opole 2008.  
Экологические аспекты производства и среды, Науч. ред. А. Гачкевич, OWPO SIM z. 237 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-43-4), Opole 2008.  
Optimization of manufacturing processes, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 238 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-44-1), Opole 2008.
2. Optimization of the structures of manufacturing processes, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 256 (ISSN 1429-6063; ISBN 83-6691-69-4), Opole 2009.
3. Optimization of manufacturing processes and more environment, Ed. by M. Gajek, OWPO SIM z. 276 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-96-0), Opole 2010.
4. Modelowanie procesów wytwórczych / Моделирование производственных процессов, Red. nauk.: M. Gajek, O. Hachkevych, OWPO SIM z. 277 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-60691-99-1), Opole 2010.
5. Manufacturing processes. Some problems, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:
  - v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 330 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-62736-85-0), Opole 2012.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 331 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-62736-86-7), Opole 2012.
  - v. 3: Safety engineering in manufacturing processes, OWPO SIM z. 332 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-62736-87-4), Opole 2012.
6. Manufacturing processes. Actual problems – 2013, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:
  - v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 364 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-37-6), Opole 2013.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов,

- OWPO SIM z. 365 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-38-3), Opole 2013.
- v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 366 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-39-0), Opole 2013.
7. Manufacturing processes. Actual problems – 2014, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:
- v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 399 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-87-1), Opole 2014.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 400 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-88-8), Opole 2014.
  - v. 3: Inżynieria bezpieczeństwa w procesach wytwórczych, OWPO SIM z. 401 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-64056-89-5), Opole 2014.
8. Manufacturing processes. Actual problems – 2015, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler:
- v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 426 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-24-4), Opole 2015.
  - v. 2: Моделирование производственных процессов, OWPO SIM z. 427 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-25-1), Opole 2015.
  - v. 3: Критериальная оптимизация в производственных процессах, OWPO SIM z. 428 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-26-8), Opole 2015.
9. Manufacturing processes. Actual problems – 2016, Ed. by: M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:
- v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 453 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-66-4), Opole 2016.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 454 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-67-1), Opole 2016.
  - v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 455 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-68-8), Opole 2016.
10. Manufacturing processes. Actual problems – 2017, Ed. by: O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański:
- v. 1: Basic science applications in manufacturing processes, OWPO SIM z. 472 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-93-0), Opole 2017.
  - v. 2: Моделирование и оптимизация производственных процессов, OWPO SIM z. 473 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-94-7), Opole 2017.
  - v. 3: Safety engineering in production processes, OWPO SIM z. 474 (ISSN 1429-6063; ISBN 978-83-65235-95-4), Opole 2017.

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

Niniejsze tematy oraz zagadnienia omawiane na seminarium przedstawiają nowe rezultaty przeprowadzonych w latach 2017-2018 badań w tych 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 (10 referatów) powiązanych kolejno z opisem ilościowym i analizą: procesu fizycznego starzenia pewnych szkieł chalkogenidkowych oraz termosprężystych efektów w ciałach stałych z wykorzystaniem podejścia termodynamicznego (2 referaty); fizyczno-matematycznych podstaw teorii połączenia wzajemnego pola elektromagnetycznego i środowiska materialnego w zależności od właściwości materiału i parametrów pola (3 referaty); osobliwości wpływu środowiska przebywania, właściwości układów dynamicznych oraz aproksymacji funkcji, powstających przy określeniu matematycznym jakościowych wskaźników i liczb rozmytych, na przebieg procesów produkcyjnych (5 referatów).

W drugim rozdziale zakresu tematycznego, dotyczącym modelowania matematycznego oraz optymalizacji przy opracowaniu procesów wytwórczych, w 17-tu referatach omawiane zostały zagadnienia powiązane z wykorzystaniem i optymalizacją: wtrąceń remontowych w energetyce cieplnej (8 referatów); napromieniowania cieplnego przy nagrzewaniu technologicznym (2 referaty); oddziaływania elektromagnetycznego (2 referaty); klinowo podobnych połączeń detali (1 referat); procesów wspawania, fazowych przekształceń w ciałach wyprodukowanych ze szkieł, stali oraz materiałów o właściwościach z efektem pamięci kształtu (4 referaty). Ważną osobliwością drugiego rozdziału zakresu tematycznego jest pierwsza część poświęcona określeniu i rozwiązaniu wybranych matematycznych problemów celowych remontowych oddziaływań w energetyce (8 referatów).

W trzecim rozdziale zakresu tematycznego niniejszego seminarium dokonano kolejnej próby przeanalizowania wybranych zagadnień problematyki bezpieczeństwa, higieny i kultury pracy (6 referatów) i próby opracowania sposobów zarządzania realizowanymi procesami oraz ich prowadzenia w celu ograniczania ryzyka na stanowisku pracy, w tym liniach produkcyjnych, oraz wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw (4 referaty).

Z przedstawionych referatów z zakresu tematycznego seminarium - dziesięciolecie których mija w tym roku, 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 2018 r. w pierwszym rozdziale

zakresu tematycznego mieszczą się takie pytania w referatach poświęconych badaniom medycznym, jak również w dziedzinie z zakresu bezpieczeństwa warunków nauczania i logistycznych rozwiązań, zaś w trzecim – referatach, w których omawiane są problemy szeroko rozumianej inżynierii bezpieczeństwa przy uwzględnieniu społecznych, logistycznych, odrębnych technologicznych, inżynierskich oraz dydaktycznych czynników, a również stosowanie elementów komputerowego inżynieringu. 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. Prezentowane rezultaty na seminarium w 2018 r. są owocem kontynuacji wspólnych badań pracowników naukowych 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 Zielonogóskim, 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.

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. WOŁCZAŃSKI

Opole University of Technology (Poland)

## **AKTUALNE PROBLEMY INŻYNIERII BEZPIECZEŃSTWA – 2018**

W działalności przedsiębiorstw, jak i zróżnicowanym środowisku pracy niezwykle wielką, a często niedocenianą rolę odgrywają problemy bezpieczeństwa. Wszelkie działania związane z wykonywaną pracą i procesami generują całkiem sporą liczbę zagrożeń w środowisku pracy. Zachowanie prawidłowych warunków pracy i zapewnienie właściwych warunków bezpieczeństwa jest jednym z najważniejszych działań i wymaga od uczestników maksymalnego ograniczenia zagrożeń, jakie mogą wystąpić podczas ich realizacji.

Zagadnienia zawarte w referatach obejmują kwestie zarówno praktyczne, jak i teoretyczne, jednocześnie stwarzając przyczynek do dyskusji na temat aktualnych problemów bezpieczeństwa, higieny i kultury w zróżnicowanym środowisku pracy wraz z czynnikami ryzyka w miejscach roboczych i skutecznymi sposobami zarządzania związanymi z ich procesem. W każdej gałęzi gospodarki czy przemysłu kwestie bezpieczeństwa są bardzo istotne i stanowią ważny czynnik w rozwoju przedsiębiorstw.

Referaty stanowią kolejną inicjatywę naukową obejmującą aktualne zagadnienia mieszczące się w obszarze bezpieczeństwa i zarządzania nim w każdym miejscu i środowisku pracy. Nadrzędnym celem referatów jest wskazanie istotnych obszarów poruszanych przez autorów referatów, odnoszących się do wybranych branż podatnych na liczne zagrożenia. Przedstawiając jednocześnie wyniki badań i analiz prowadzonych prac naukowych, zwracając jednocześnie uwagę na efekty działań związane z wprowadzaniem zmian w obszarze bezpieczeństwa w środowisku pracy, w realizacji procesów wytwórczych, wdrażaniu rozwiązań optymalizujących technologie produkcyjne czy działań związanych z ogólną poprawą funkcjonowania przedsiębiorstw dążących do ciągłego doskonalenia swojego funkcjonowania.

Jednym z wielu tematów poruszanych w referatach z przestrzeni gospodarki, podatną na liczne zagrożenia jest branża gastronomiczna. Podstawowym zadaniem w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy w tej gałęzi jest dokonanie oceny stanu bezpieczeństwa danego przedsiębiorstwa branży gastronomicznej. W referacie „Ocena stanu bezpieczeństwa wybranego przedsiębiorstwa branży gastronomicznej” przeanalizowano stan bezpieczeństwa prac, wykonano również analizę ryzyka określającego wydatek energetyczny pracowników na poszczególnych stanowiskach pracy. Zaproponowano szereg rozwiązań oraz zmian, które znacząco zmniejszają ryzyko podczas pracy. Postęp technologiczny i automatyzacja minimalizują, a nawet często zupełnie zapobiegają ewentualnym sytuacjom zagrożenia w różnych branżach. W referacie „Analiza i ocena bezpieczeństwa pracy automatycznej linii produkcyjnej w przedsiębiorstwie branży moto-

ryzacyjnej” przedstawiono wyniki badań stanu bezpieczeństwa. W tym celu przeprowadzono inwentaryzację linii produkcyjnej, wykonano analizę wypadkowości, a także przedstawiono wyniki badania na temat świadomości pracowników linii produkcyjnej w zakresie BHP. Zaproponowano ulepszenia, które zmniejszą prawdopodobieństwo wypadku podczas pracy.

Kolejnym obszarem poruszonym w referatach jest temat wdrażania nowych i udoskonalanie aktualnych procesów produkcyjnych spowodowane chęcią posiadania przez firmy produktów najwyższej jakości oraz coraz wyższe wymagania klientów generują potrzebę wprowadzania zmian i modernizacji. W referacie „Modernizacja cementowni w aspekcie bezpieczeństwa pracy i środowiska” przedstawiono wprowadzoną modernizację polegającą na zmianie metody produkcji cementu z „mokrej” na „suchą”. Przedstawiono również jaki wpływ modernizacja miała na bezpieczeństwo pracy oraz na środowisko naturalne. Przystudiowano również analizę wyników danych pomiarowych emisji gazów i pyłów do otoczenia. Wykazano, iż wyniki badań jednoznacznie wskazują na pozytywne skutki przeprowadzonej modernizacji zarówno dla środowiska naturalnego jak i bezpieczeństwa pracy. Ponadto nadaje to zakładowi status konkurencyjności na rynku.

Następnym tematem zawartym w referatach jest środowisko pracy, które jest bardzo specyficzne i indywidualne narażone na liczne zagrożenia to branża paliwowa. Niewątpliwie stacja paliw to bezpośrednie zagrożenie życia zarówno dla pracownika, jak i klienta, a szkodliwy wpływ systematycznie wdychanych oparów paliwowych przynosi szkody zdrowiu, na skutek czego taki pracownik ma kłopoty ze zdrowiem i bardzo szybko zapada na choroby zawodowe. Większość pracowników stacji paliwowych podało, że źle przygotowane stanowisko robocze oraz brak kompetencji pracownika to najczęstszy czynnik powodujący uszczerbki na zdrowiu bądź utratę życia. W opracowaniu przedstawiono wybrane scenariusze zagrożeni występujących na stacjach paliw. Zidentyfikowano typowe zagrożenia występujące na stacjach oraz wymieniono zabezpieczenia techniczne przeciwdziałające danym zagrożeniom przedstawiono również modelowanie zagrożeń typu: wybuch, pożar z wykorzystaniem programu ALOHA. Określono efektywność rozpatrywanych systemów zabezpieczeń, analizę wyników poszczególnych scenariuszy zagrożeń oraz przedstawiono wnioski dotyczące rozpatrywanych przypadków.

Kolejny obszar w referatów obejmuje tematykę istoty funkcjonowania zakładu pracy który zależny jest od sprawnego przepływu informacji i dokumentów. Coraz więcej przedsiębiorstw dąży do optymalizacji swojej działalności poprzez wdrażanie zaawansowanych systemów informatycznych. Ich wdrażanie ma na celu usprawnienie a ich rolą jest wspomaganie. System informatyczny oraz technologie informacyjne mają wpływ na kulturę pracy i pracownika.

Referat „Systemy IT jako skuteczne narzędzie nadzorowania i sterowania procesami i produkcją” przedstawia zagadnienia dotyczące znaczenia i możliwości komputerowych systemów nadzorowania i sterowania produkcją oraz prezentuje potencjalne korzyści wynikające z ich zastosowania. Dzięki wdrożeniu

narzędzi w postaci komputerowych systemów nadzorowania i sterowania produkcji, należy spodziewać się produkcji przebiegającej w warunkach pełnej kontroli oraz możliwości ingerowania w procesy produkcyjne już w początkowych fazach realizacji.

W referacie „Kształtowanie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem systemu zarządzania World Class Manufacturing” przedstawiono możliwości kształtowania procesów produkcyjnych, wykorzystując system World Class Manufacturing oraz prezentację istotnych możliwości do uzyskania korzyści, wynikających z zastosowania systemu w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Kształtowanie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem systemu zarządzania World Class Manufacturing umożliwia zwiększenie zysków przedsiębiorstwa poprzez ograniczenie strat i wzrost wydajności, jakości i bezpieczeństwa produkcji. World Class Manufacturing pozwala na osiągnięcie najwyższego, możliwego poziomu organizacji i kształtowania produkcji poprzez wdrażanie nowoczesnych koncepcji, metod i narzędzi zarządzania.

Referat „Optymalizacja procesów wytwarzania produktów w przedsiębiorstwach produkcyjnych” ma na celu przybliżenie możliwości optymalizacji wytwarzania produktów w przedsiębiorstwach produkcyjnych poprzez wykorzystanie rozwiązań doskonalących działania w ramach produkcji oraz prezentację istotnych korzyści wynikających z ich zastosowania. Współczesne przedsiębiorstwa chcąc utrzymać się na konkurencyjnym rynku, z reguły decydują się na wdrażanie różnego rodzaju rozwiązań optymalizujących procesy produkcyjne. Optymalizacja procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwach to ogromne wyzwanie, jednak niesie za sobą wiele korzyści, jak również sytuacje i zdarzenia, które mogą wymagać większego nakładu pracy czy dłuższego czasu wdrożenia. Optymalizacja procesów wytwarzania produktów ma przełożenie na całość funkcjonowania przedsiębiorstwa i przyczynia się do uzyskania wielu istotnych korzyści. Ponadto umożliwia polepszenie produktywności i efektywności oraz zwiększa sprawność funkcjonowania przedsiębiorstw w wielu obszarach jednocześnie. Obecny nacisk na innowacyjność i konkurencyjność przedsiębiorstw musi odbywać się równolegle wraz z wprowadzaniem nowych systemów IT wspierających procesy produkcyjne.

Referat „Systemy IT - wsparcie procesów produkcyjnych na wszystkich etapach realizacji przedstawia wybrane zalety i możliwości systemów IT wspierających procesy produkcyjne oraz prezentację potencjalnych korzyści wynikających z zastosowania systemów IT w przedsiębiorstwach produkcyjnych. Efektywne zarządzanie procesami produkcyjnym jak i całym przedsiębiorstwem, wymaga kompleksowych rozwiązań w postaci zaawansowanych systemów IT. Systemy IT wspierające zarządzanie produkcją obejmują całościowo wszystkie procesy realizowane w ramach działalności produkcyjnej przedsiębiorstwa. Zastosowanie odpowiednich systemów IT, dopasowanych do indywidualnych potrzeb przedsiębiorstw wniesie wiele istotnych korzyści, które będą miały przełożenie na działalność i przyszły rozwój przedsiębiorstwa.



Kolejny referat obejmuje zagadnienia realizacji procesów gdzie szczególną uwagę zwraca się na bezpieczeństwo pracy w specyficznym środowisku pracy. Jednym z rozpatrywanych przykładów jest bezpieczne zastosowanie zamiennika toksycznych roztworów amin w procesie absorpcji CO<sub>2</sub> z gazów spalinowych. W referacie przeprowadzono badania nad cieczami jonowymi jako zamiennikiem obecnie stosowanych wodnych roztworów amin w absorpcyjnym procesie usuwania ditlenku węgla z gazów spalinowych. Obecnie stosowane wodne roztwory amin obok zalet takich jak: dużą pojemnością sorpcyjną, niską ceną, stosunkowo dużą szybkością reakcji posiadają też szereg poważnych wad takich jak: znacząca lotność, degradacja termiczna w wyższych temperaturach, degradacja chemiczna, silna korozyjność, ekotoksyczność w środowisku naturalnym, a także potencjalne długotrwałe efekty toksyczne w stosunku do żywych organizmów. Prowadzone obecnie badania nad cieczami jonowymi wskazują na ich potencjalnie znaczne możliwości absorpcji ditlenku węgla, porównywalne do roztworów amin. Ciecze jonowe charakteryzują się następującymi właściwościami, korzystnymi w przemysłowych procesach absorpcji CO<sub>2</sub> z gazów: bardzo mała prężność par, niepalność, duża stabilność termiczna, szeroki zakres występowania w stanie ciekłym. Ze względu na znikomą lotność są uważane za bezpieczne dla środowiska naturalnego. W pracy zbadano możliwość zastosowania cieczy jonowej [Bmim][Ac] jako absorbenta CO<sub>2</sub> z gazów. Przeprowadzone badania dowiodły, że ciecz jonowa może być stosowana w procesie usuwania CO<sub>2</sub> z gazów, a jej pojemność sorpcyjna jest porównywalna z pojemnością sorpcyjną stosowanych roztworów amin.

Potrzeba bezpieczeństwa należy do jednej z najważniejszych potrzeb człowieka zaraz po potrzebach fizjologicznych. W odniesieniu do sytuacji zatrudnienia i pracy, potrzeba ta związana jest miedzy innymi z regularnym zatrudnieniem, poczuciem, stałości na zajmowanym stanowisku oraz bezpiecznym i ergonomicznym miejscem pracy.

S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>

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

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

## **DO MODELOWANIA STANU SPRĘŻYSTO-ODKSZTAŁCALNEGO ORAZ OKREŚLENIA EKSPLOATACYJNEGO RESURSU WYBRANYCH ELEMENTÓW DZIAŁAJĄCYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

Problemy przedłużenia terminów eksploatacji elementów i węzłów urządzeń energetycznych należą do najważniejszych obecnych problemów w tej dziedzinie, ponieważ znaczna część z nich już wyczerpała swój roboczy reśurs lub przybliży się do tej granicy [1]. Niesprawność potężnych urządzeń energetycznych powiązana jest ze znacznymi zratatami na ich odnowienie. W odrębnych przypadkach w takich warunkach możliwe są nawet zniszczenia konstrukcji i traumowania, a nawet zginięcie obsługującego personelu. Oprócz tego przystanek pracy urządzeń energetycznych prowadzi do ubytków odbiorców i wytwórców energii elektrycznej.

W ten sposób aktualnym jest rozwiązywanie problemów ubiespeczenia niezawodności urządzeń energetycznych przy odpracowanym ustalonym na moment instalacji terminie roboty oraz zwiększenia terminu eksploatacji (eksploatacyjnego resursu, pod którym rozumieją czas roboty obiektu od początku eksploatacji lub jego remontu do osiągnięcia stanu granicznego reglamentowanego normatywno-techniczną dokumentacją).

Przy obecności licznych eksploatacyjnych uszkodzeń również powstaje potrzeba w opracowaniu racjonalnych technologii działań remontowych oraz odnawialnych dla elementów urządzeń energetycznych w celu przedłużenia terminów ich eksploatacji na okres sprognozowany.

Przy wyczerpaniu gwarancyjnego na chwilę instalacji resursu prowadzą pogłębione diagnozę konkretnych węzłów oraz elementów urządzeń, przeanalizowują warunki ich eksploatacji. Ustalane są również rzeczywiste wymiary odrębnych detali oraz przeprowadzane badania ich stanu sprężysto-odkształcalnego, struktury i właściwości metalu, a także oceniany poziom nagromadzonych uszkodzeń w metalu. Uwzględniając wyniki badań wyznaczany jest indywidualny reśurs rozważanego elementa urządzenia energetycznego.

Ogółem dla zapewnienia niezawodności działania konkretnych urządzeń energetycznych konieczne jest rozwiązanie szeregu różnych zagadnień, pośród których na pierwszym miejscu występują badania stanu sprężysto-odkształcalnego elementów takich urządzeń przy warunkach odpowiadających eksploatacyjnym.

Głównym czynnikiem wyczerpania rezerwy węzłów oraz detali kotłoaгрегатów jest nagromadzenie uszkodzeń i rozwinięcie szczelin w procesie korozyjnego zmęczenia konstruktywnych koncentratorów naprężeń na skutek cyklicznych obciążeń podwyższonej temperatury, wpływu korozyjnie aktywnego środowiska roboczego, zmiany wytrzymałościowych charakterystyk metalu w trakcie długotrwałej eksploatacji. Oceny rezerwy takich elementów prowadzą drogą wyznaczenia ich stanu względem poziomu nagromadzonych uszkodzeń metalu [2], który występuje podstawą dla ustalenia dodatkowego rezerwy, możliwości oraz warunków dalszej eksploatacji urządzeń energetycznych. A ilościowa ocena nagromadzonych uszkodzeń metalu bezpośrednio zależy od amplitudy drgań naprężeń w trakcie różnych cyklicznych reżimów przemysłowej eksploatacji rozważanych instalacji. Pożądanym przy tym jest otrzymanie jaknajdokładniejszej informacji o maksymalnych naprężeniach oraz strefy ich powstania w elementach urządzeń energetycznych w trakcie eksploatacji.

Naprężenia te, z reguły, wyznaczają w branżowej praktyce z wykorzystaniem uproszczonych wzorów, otrzymanych dla ciał o postaci kanonicznej, najczęściej dla powłok walcowych, prętów oraz belek, przy założeniu o sprężystym odkształcaniu w odpowiednich warunkach brzegowych [2-4]. Jednakże detali oraz węzły urządzeń energetycznych są ciałami przestrzennymi o złożonej geometrycznej konfiguracji i w trakcie eksploatacji przebywają w nieodnorodnym sprężysto-odkształcalnym stanie. W otoczeniu pewnych obszarów tych konstrukcyjnych elementów, zwłaszcza przy powstaniu uszkodzeń oraz porównawczych wtrąceń wynikają strefy o plastycznym odkształcaniu. Ocena ich wytrzymałości na podstawie istniejących uproszczonych inżynierskich zależności może powodować istotny błąd ilościowy jak i jakościowy.

W ten sposób konieczne jest prowadzenie badań sprężysto-odkształcalnego stanu elementów i węzłów urządzeń energetycznych w warunkach odpowiadających eksploatacyjnym z wykorzystaniem obecnych środków modalowania matematycznego na podstawie uściślonych (w porównaniu z istniejącymi inżynierskimi) modeli matematycznych. Uściślenie obliczeniowych modeli posiada dwa aspekty – geometryczny oraz fizyczny. Aspekt geometryczny przewiduje wykonania obliczeń dla ciał o realnym kształcie. Fizyczny aspekt modelowania powiązany z zastosowaniem poszerzonych modeli opisu zachowania mechanicznego elementów instalacji energetycznych uwzględniających możliwość powstania nieliniowego odkształcania. Przy tym obecność efektywnego oprogramowania dla modelowania komputerowego procesów odkształcania, opracowanego na podstawie takich uściślonych modeli matematycznych pozwala w ścisłych terminach wykonać i przeanalizować cały proces w wirtualnej przestrzeni

W referacie tym zaprezentowano wyniki badań stanu sprężysto-odkształcalnego konkretnych elementów działających kotłów o wysokim ciśnieniu elektrowni cieplnej przy uwzględnieniu degradacji materiałów, eksploatacyjnych uszkodzeń oraz remontowych ingerencji, otrzymanie na tej

podstawie ilościowej oceny ich pozostałego rezerwu eksploatacyjnego, a również opracowania rekomendacji względem prowadzenia prac remontowych dla przedłużenia okresu ich eksploatacji.

Badania te wykonano w oparciu na zależności trójwymiarowej nieizotermicznej termo-sprężysto-plastyczności z wykorzystaniem metody elementów skończonych (dla aproksymacji pól temperatury i mechanicznych względem przestrzennych zmiennych) i jednokrotowych wieloparametrycznych algorytmów różnicowych (dla aproksymacji tych pól względem czasu) [5-9]. Odpowiednie środki matematycznego, numerycznego oraz komputerowego modelowania detalicznie opisane w [10].

Zbadano sprężysto-odkształcalny stan czterech działających walczków kotłów o wysokim ciśnieniu elektrowni ciepłych (EC) w warunkach modelujących różne cykliczne rejimy ich przemysłowej eksploatacji (paszportowy rezerwu wszystkich rozpatrywanych walczków został wyczerpany). Wyjaśniono przyczyny powstania eksploatacyjnych uszkodzeń w walczkach. Ustalono ich pozostały rzeczywisty eksploatacyjny rezerwu. Zrobiono ocenę wniosku każdego z istniejących cyklicznych rejimów eksploatacji w maksymalny zgromadzony ubytek metalu walczków. Zaproponowano optymalne, względem powstających naprężeń, parametry remontowych ingerencji oraz ustalono możliwość przedłużenia terminu eksploatacji na poromontowym stadium przy ściśle określonych warunkach.

Analogiczne badania wykonano dla króćców, rur ekranowych i kolektorów wyjściowego przegrzewacza pary w kotłach elektrowni ciepłych. Wyniki badań mogą być wykorzystane również przy opracowaniu technologii prowadzenia zabiegów remontowych w elementach innych urządzeń elektrowni ciepłych, a również podobnych elementów i węzłów urządzeń elektrowni drugiego typu, w szczególności, atomowych.

## LITERATURA

- [1] Fracture Mechanics and Strength of Materials / Ed. by V.V. PANASYUK. Academiperiodica, Kyiv, 2005, vol. 8, 542 p. (in Ukrainian).
- [2] The Instruction SOU 40.1-21677681-02: 2009. The order of prolongation of the operation time of high pressure boiler drums / Association of Energy Enterprises "Sectoral Reserve Investment Fund for Energy Development", Kyiv, 2009, 56 p.
- [3] Stationary boilers and steam and hot water pipelines. Standards for strength calculation / OST 108.031.08-85 - OST 108.031.10-85. Ministry of Energy Engineering, Moscow, 1987, 118 p.
- [4] PNAE G-7-002-87. Standards for the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants. Energoatomizdat, Moscow, 1989, 528 p. (in Russian).
- [5] ДРОБЕНКО Б.Д. Комп'ютерне моделювання деформування елементів енергетичного обладнання з пошкодженнями за експлуатаційних термосилових навантажень. Фізико-хімічна механіка матеріалів, 2010,

- № 6, с. 13-17.
- [6] ДРОБЕНКО Б. Обчислювальний експеримент з визначення циклічної довговічності барабана котла теплоелектростанції. Фізико – хімічна механіка матеріалів, 2012, №1, с. 55-60.
- [7] ДРОБЕНКО Б.Д. Численное моделирование процессов деформирования элементов энергетического оборудования с эксплуатационными дефектами. Теоретическая и прикладная механика, 2010, вып. 1 (47), с. 27-34.
- [8] ДРОБЕНКО Б.Д., БУДЗ С.Ф., АСТАШКІН В.І. Моделювання термо-механічних процесів в елементах діючого енергообладнання та оцінка їх експлуатаційного ресурсу з урахуванням деградації матеріалу, пошкоджень та ремонтних втручань. Наука та інновації. 2013, Т.9, № 1, с. 21 – 32.
- [9] ДРОБЕНКО Б.Д., БУДЗ С.Ф., АСТАШКІН В.І. Оцінка придатності елементів енергетичного обладнання до експлуатації понад парковий ресурс. Наука та інновації. 2014, Т.10, № 4, с. 5 – 17.
- [10] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief Ya.Yo. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R HACHKEVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).

H. ŚCIEGOSZ

Opole University of Technology (Poland)

**ANALIZA SZEREGÓW CZASOWYCH – REKONSTRUKCJA  
ATRAKTORA**

Rekonstrukcja atraktora w przestrzeni  $m$ -wymiarowej wydaje się być skomplikowanym zadaniem, ponieważ na podstawie jednowymiarowego sygnału wyjściowego - szeregu czasowego należy zbudować wielowymiarowy model [1]. W pracy poddano analizie rejestry potencjałowe reakcji Bielousowa-Żabotyńskiego, prowadzonej w otwartym układzie z ciągłym mieszaniem (tzw. CSTR). Szczegóły doświadczalne systemów eksperymentalnych przedstawionych w poniższej prezentacji zawarto między innymi w pracach [2, 3]. Potencjały wyjściowe  $U_{output}$  uzyskiwano w postaci sekwencji czasowych  $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ , gdzie  $x_i$  oznacza wartość potencjału wyjściowego w chwili  $i$ . Według Takensa [4] zrekonstruowany atraktor pierwotnego układu może być przedstawiony w postaci sekwencji wektorowej

$$p(i) = (x_i, x_i + \tau, x_i + 2\tau, \dots, x_i + (m-1)\tau), \quad (1)$$

gdzie  $\tau$  i  $m$  to odpowiednio opóźnienie i wymiar zanurzenia. Twierdzenie Takensa [4] stwierdza, że dla wystarczająco dużego  $m$ , ta procedura, znana jako zanurzenie poprzez współrzędne opóźnione, zapewnia wzajemnie jednoznaczne odwzorowanie oryginalnego układu i układu  $m$  wymiarowego. Innymi słowy, atraktor skonstruowany zgodnie z równaniem (1) będzie miał te same właściwości matematyczne, np. wymiar, wykładniki Lapunowa itp. jak oryginalny układ. Chociaż koncepcja zanurzenia poprzez współrzędne opóźnione może wydawać się nieco heurystyczna, a w szczególności fakt, że można zrekonstruować całą przestrzeń fazową układu korzystając wyłącznie z pomiaru skalarne, to jednak istnieje dość intuicyjne wyjaśnienie, dlaczego taka rekonstrukcja jest możliwa. Według Abarbanela [5] kluczem do zrozumienia jest fakt, że wszystkie zmienne są nieliniowe. Ogólnie, każdy proces jest samo-sprzężony, tj. wpływa na siebie nawzajem. Tak więc każdy kolejny punkt danego pomiaru  $x_i$  jest wynikiem kombinacji wpływów wszystkich pozostałych zmiennych systemowych. Odpowiednio,  $x_i + \tau$  może być postrzegany jako zastępcza druga zmienna układu, która przenosi informację o wpływie wszystkich innych zmiennych w czasie  $\tau$ . Stosując to samo rozumowanie, można wprowadzić trzecią ( $x_i + 2\tau$ ), czwartą ( $x_i + 3\tau$ ), . . . ,  $m$ -tą ( $x_i + (m-1)\tau$ ) zmienną zastępczą, a tym samym uzyskać całą  $m$  wymiarową przestrzeń fazową, w której występują substytuty zmiennych zawierające

wszystkie wpływy oryginalnych zmiennych systemowych, pod warunkiem, że  $m$  we wzorze (1) jest wystarczająco duże.

Aby pomyślnie zrekonstruować atraktor za pomocą równania (1), muszą zostać dobrane odpowiednie wartości dla  $\tau$  i  $m$ . W celu estymacji  $\tau$  istotne są dwa kryteria. Po pierwsze,  $\tau$  musi być wystarczająco duże, aby uzyskane informacje z pomiaru wartości  $x$  w czasie  $i + \tau$  znacząco różniły się od informacji, które uzyskano już na podstawie znajomości wartości  $x$  czasie  $i$ . Tylko wtedy będzie można zebrać wystarczającą ilość informacji o wszystkich innych zmiennych układu, które wpływają na wartość  $x_i$ , aby poprawnie zrekonstruować cały atraktor. Po drugie,  $\tau$  nie powinno być większe niż typowy czas, w którym system traci pamięć o stanie początkowym. Jest to szczególnie ważne dla układów chaotycznych, które są z natury nieprzewidywalne, a co za tym idzie tracą pamięć początkowego stanu wraz z upływem czasu.

Zgodnie z tym rozumowaniem Fraser i Swinney [6] wprowadzili pojęcie tzw. wzajemnej informacji pomiędzy  $x_i$  i  $x_i + \tau$  jako wielkość służącą do określenia wartości  $\tau$ .

Wzajemna informacja między  $x_i$  i  $x_i + \tau$  określa ilościowo zakres posiadanych informacji o stanie  $x_i + \tau$  na podstawie znanego stanu  $x_i$ . Biorąc pod uwagę szereg czasowy postaci  $\{x_0, x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ , należy znaleźć jego minimum ( $x_{min}$ ) i maksimum ( $x_{max}$ ). Następnie bezwzględną wartość ich różnicy  $|x_{max} - x_{min}|$  dzieli się na  $j$  równych przedziałów, gdzie  $j$  jest wystarczająco dużą liczbą naturalną. Następnie oblicza się wartość wyrażenia:

$$I(\tau) = - \sum_{h=1}^j \sum_{k=1}^j P_{h,k}(\tau) \ln \frac{P_{h,k}(\tau)}{P_h P_k} \quad (2)$$

gdzie  $P_h$  i  $P_k$  oznaczają prawdopodobieństwa brzegowe tego, że zmienna przyjmuje wartość wewnątrz przedziałów odpowiednio  $h$  i  $k$ , natomiast  $P_{h,k}(\tau)$  jest prawdopodobieństwem łącznym tego, że  $x_i$  jest w przedziale  $h$ , a  $x_i + \tau$  jest w przedziale  $k$ . W przypadku zachowania chaotycznego  $I(\tau) \rightarrow 0$ , gdy  $\tau \rightarrow \infty$ , ponieważ  $x_i$  i  $x_i + \tau$  stają się nie skorelowane z upływem czasu. Wówczas  $P_{h,k}(\tau)$  jest równe  $P_h P_k$ , co daje zero w równaniu (2). Z tego powodu interesujące są minima funkcji  $I(\tau)$ . Przy pierwszym minimum funkcji  $I(\tau)$  współrzędna  $x_i + \tau$  dostarcza największą ilość informacji do tych, które są już znane na podstawie współrzędnej  $x_i$ , bez utraty korelacji między nimi [6, 7]. Dlatego pierwsze minimum funkcji  $I(\tau)$  oznacza optymalny wybór dla opóźnienia zanurzenia. W przypadku bifurkacji Hopfa i chaosu „jedna pętla” na podstawie położenia pierwszego minimum funkcji  $I(\tau)$  otrzymano  $\tau = 10$  kroków czasowych, natomiast dla chaosu „dwie pętle” pojawiającego się w pobliżu bifurkacji Hopfa położenie pierwszego minimum funkcji  $I(\tau)$  sugerowało przyjęcie opóźnienia  $\tau = 22$  kroki czasowe.

Dla określenia prawidłowego wymiaru zanurzenia  $m$ , używana jest metoda najbliższych fałszywych sąsiadów (false nearest neighbour method) [8]. Metoda opiera się na założeniu, że punkty znajdujące się blisko siebie w

zrekonstruowanej przestrzeni zanurzenia muszą pozostawać dostatecznie blisko również podczas kolejnych iteracji. Kryterium to jest spełnione, jeśli podczas wystarczająco małej ilości iteracji odległość między dwoma punktami  $p(i)$  i  $p(j)$  zrekonstruowanego atraktora początkowo mała, wynosząca  $\varepsilon$ , nie wzrasta ponad  $R_{tr}\varepsilon$ , gdzie  $R_{tr}$  jest ustaloną stałą progową. Jeśli jednak punkt  $p(i)$  ma bliskiego sąsiada, który nie spełnia tego kryterium, to punkt ten oznaczony jest jako punkt posiadający fałszywego najbliższego sąsiada. Częstość występowania punktów mających fałszywego najbliższego sąsiada zostaje zminimalizowana, poprzez wybranie wystarczająco dużego  $m$ . Jeśli  $m$  jest za małe, dwa punkty atraktora mogą wydawać się bliskie, podczas gdy w dalszej iteracji są rozrzucone losowo jako efekt projekcji, ponieważ atraktor jest rzutowany na hiperpłaszczyznę, która ma mniejszy wymiar niż aktualna przestrzeń fazowa, a więc odległości między punktami ulegają zniekształceniu.

W celu obliczenia ułamka fałszywych najbliższych sąsiadów, stosuje się następujący algorytm. Dla punktu  $p(i)$  w  $m$ -wymiarowej przestrzeni zanurzenia, należy znaleźć sąsiada  $p(j)$ , tak aby  $\|p(i) - p(j)\| < \varepsilon$ , gdzie symbol  $\|\dots\|$  oznacza normą euklidesową, a  $\varepsilon$  jest małą stałą, zwykle nie większą niż odchylenie standardowe policzone dla danych eksperymentalnych. Następnie oblicza się znormalizowaną odległość  $R_i$  pomiędzy współrzędnymi zanurzenia  $(m + 1)$  punktów  $p(i)$  i  $p(j)$  zgodnie z równaniem:

$$R_i = \frac{|x_{i+m\tau} - x_{j+m\tau}|}{\|p(i) - p(j)\|} \quad (3)$$

Jeśli  $R_i$  jest większe niż dana wartość progowa  $R_{tr}$ , to  $p(i)$  jest oznaczony jako mający fałszywego najbliższego sąsiada. Równanie (3) musi być stosowane dla całej serii czasowej i dla różnych  $m = 1, 2, \dots$ , dopóki ułamek punktów, dla których  $R_i > R_{tr}$  jest nieistotny. Według Kennel i wsp. [8],  $R_{tr} = 10$  okazał się dobrym wyborem dla większości zestawów danych.

W przypadku bifurkacji Hopfa i chaosu „jedna pętla” na podstawie metody najbliższych sąsiadów ustalono wymiar zanurzenia jako  $d=7$ . Dla chaosu „dwie pętle” pojawiającego się w pobliżu bifurkacji Hopfa procent fałszywych sąsiadów wynosi zero dopiero przy wartości zanurzenia równej 20. Innymi słowy, uzasadnione byłoby modelowanie zachowania pierwszego systemu za pomocą układu nie mniejszego niż siedmiu, a drugiego nie mniejszego niż dwudziestu autonomicznych równań różniczkowych zwyczajnych pierwszego rzędu.

Po obliczeniu optymalnego czasu opóźnienia i wymiaru zanurzenia jesteśmy w stanie z powodzeniem zrekonstruować atraktor. Prawidłowa rekonstrukcja atraktora jest kluczowym krokiem w kierunku ustalenia, czy zachowanie obserwowane eksperymentalnie pochodzi z deterministycznego systemu chaotycznego, ponieważ pozwala przeprowadzić test determinizmu, oraz



obliczyć np. największy wykładnik Lagunowa lub inne parametry charakteryzujące system chaotyczny.

#### LITERATURA

- [1] KODBA S., MATJAŽ PERC M., MARHL M.: Detecting chaos from a time series, *Eur. J. Phys.* 26 (2005) pp. 205–215.
- [2] ŚCIEGOSZ H., POKRZYWNICKI S.: *Acta Chem. Scandinavica* Vol.43, No. 10 (1989) pp. 926-931.
- [3] ŚCIEGOSZ H.: Frequency and Correlation Characteristic of the Hopf Bifurcation Chemical Oscillatory Patterns, *J. Chem. and Chem. Eng.* 6 (2012) pp. 284-291.
- [4] TAKENS F.: Detecting Strange Attractor in Turbulence (Lecture Notes in Mathematics vol 898) ed D A Rand and L S Young (Berlin: Springer 1981) p 366.
- [5] ABARBANEL H. D. I.: *Analysis of Observed Chaotic Data* (New York: Springer 1996).
- [6] FRASER A. M., SWINNEY H. L.: Independent coordinates for strange attractors from mutual information *Phys. Rev. A* 33 (1986) pp. 1134–40.
- [7] SHAW R.: Strange attractors, chaotic behavior, and information flow *Z. Naturforsch.* 36a (1981) pp. 80–112.
- [8] KENNEL M. B., BROWN R., ABARBANEL H. D. I.: Determining embedding dimension for phase space reconstruction using a geometrical construction *Phys. Rev. A* 45 (1992) pp. 3403–11



# I. NAUKI PODSTAWOWE W PROCESACH WYTWÓRCZYCH





Cz. GÓRECKI

Opole University of Technology (Poland)

**KINETYKA NATURALNEGO FIZYCZNEGO STARZENIA  
MODYFIKOWANYCH BIZMUTEM SZKIEŁ  
CHALKOGENIDKOWYCH  $As_xSe_{100-x-y}Bi_y$  BADANA METODĄ  
RÓŻNICOWEJ KALORYMETRII**

Badano kinetykę przemian fazowych towarzyszących procesowi naturalnego fizycznego starzenia modyfikowanych bizmutem szkieł chalkogenidkowych  $As_xSe_{100-x-y}Bi_y$  ( $x = 10,2, 9, 8, 6$  i  $y = 0, 1, 2, 4$ ). Procesowi starzenia towarzyszy pik endotermiczny na krzywej DSC. Analiza sygnału DSC pozwala na określenie charakterystycznych dla procesu zeszklenia badanych szkieł parametrów termodynamicznych, takich jak temperatura zeszklenia ( $T_g$ ), energia aktywacji ( $E$ ) i entalpia ( $A$ ) [1].

Energie aktywacji procesu zeszklenia wyznaczono z zależności Ozawy [2]:

$$\ln V = A - E/kT$$

gdzie:  $V$  – prędkość ogrzewania próbki,  $A$  - stała,  $E$  – energia aktywacji,  $k$  – stała Boltzmanna,  $T$  – temperatura zeszklenia.

Metoda DSC pozwala określić wpływ dodatku bizmutu i procesu naturalnego fizycznego starzenia na kinetykę procesu zeszklenia, stanowiąc przydatne narzędzie w badaniach stabilności termicznej materiałów amorficznych. Uzyskane wyniki wskazują, że zarówno domieszkowanie bizmutem, jak i proces starzenia mają istotny wpływ na wartości wyżej wymienionych parametrów termodynamicznych. Domieszka bizmutu powoduje wyraźne obniżenie wartości wyznaczonych parametrów termodynamicznych (temperatura zeszklenia, entalpia), podczas gdy proces starzenia fizycznego prowadzi do wyraźnego wzrostu temperatury zeszklenia i entalpii oraz do zmniejszenia energii aktywacji (w początkowym stadium starzenia).

Szybkość zmian wyżej wymienionych parametrów termodynamicznych maleje wraz ze wzrostem czasu starzenia. Największe zmiany wymienionych wyżej parametrów obserwuje się w pierwszym miesiącu procesu starzenia fizycznego. Wartości zmian temperatury zeszklenia, entalpii i energii aktywacji podczas pierwszego miesiąca procesu starzenia są porównywalne z wartościami zmian w przedziale od 1 miesiąca do 5 lat. Zmiany te są prawdopodobnie związane z występowaniem w próbce procesu relaksacji, co prowadzi do kurczenia się sieci [3].

LITERATURA:

- [1] GÓRECKI Cz., GÓRECKI T.: The kinetics of phase transitions in vitreous chalcogenide semiconductors  $As_{10,2}Se_{89,8}$  and  $As_9Se_{90}Bi$  in early stage of

- physical ageing process, *J. Therm. Anal. Calorim.*, 114 (2013) 725.
- [2] OZAWA T.: Kinetic analysis of derivative curves in thermal analysis, *J. Thermal Anal.* 2, 1970, 301-324.
- [3] GOLOVCHAK R., SHPOTYUK O., KOZDRAŚ A., BUREAU B., VLCEK M., GANJOO A., JAIN H.: Atomistic model of physical ageing in Se-rich As-Se glasses, *Philosophical Magazine*. 87, (2007) 4323.

Z. ŚLODERBACH

Opole University of Technology (Poland)

**ANALIZA WYBRANYCH EFEKTÓW SPRZEŻEŃ W TERMO-  
SPRĘŻYSTO-PLASTYCZNOŚCI PRZEDSTAWIONYCH  
W ZAMKNIĘTYM DIAGRAMIE SPRZEŻEŃ**

W artykule wyprowadza się równania pola sprężonej uogólnionej termo-sprężysto-plastyczności wykorzystując postulaty klasycznej termodynamiki procesów nieodwracalnych. Do opisu termodynamicznego stanu ciała termo-sprężysto-plastycznego wykorzystuje się koncepcję makroskopowych parametrów wewnętrznych. Przy wyprowadzaniu podstawowych zależności wzorowano się na wielu wcześniejszych pracach dotyczących tej dziedziny nauki, por. np. [1].

Uogólnienie to w stosunku do istniejących już prac, np. [1,2] polega na formalnym wyprowadzeniu dwóch nowych potencjałów termodynamicznych  $P$  i  $S$  zależnych od wewnętrznych sił termodynamicznych  $\Pi$ , używając przekształceń Legendre'a. Dzięki temu możliwe stało się pełne zamknięcie układu fizycznych sprzężeń występujących w termo-sprężysto-plastycznych materiałach (sprzężeń termo-mechanicznych i sprężysto-plastycznych).

Odpowiednie sprzężenia przedstawiono w postaci zamkniętego diagramu sprzężeń. Pierwsze niezamknięte diagramy sprzężeń termo-sprężysto-plastyczności można znaleźć w pracach np. [1, 2]. Natomiast pierwsze niezamknięte diagramy sprzężeń i równań termo-sprężystości można znaleźć, np. w pracy [2], a dla zjawisk sprężonej termo-sprężysto-elektromagnetyczności w pracy np. [3].

Wyprowadzenie nowego potencjału termodynamicznego  $P$  umożliwiło z bardzo dobrą dokładnością opisać wielkości zmagazynowanej energii deformacji plastycznej (ZEDP) uzyskane w przeprowadzonych badaniach doświadczalnych i wyspecyfikować na podstawie tych doświadczeń postacie równań ewolucji dla wewnętrznych sił (bodźców, impulsów) termodynamicznych  $\pi$  oraz określić ich wartości początkowe.

W pracy przyjęto podstawowe założenia dotyczące równania stanu (równanie Gibbsa) i źródła entropii. Przeprowadzono dyskusję ogólnych termostatycznych własności ciał termo-sprężysto-plastycznych, przedstawiono podstawowe tożsamości termodynamiczne, uwzględniające efekty występujących sprzężeń termo-mechanicznych.

LITERATURA:

- [1] ŚLODERBACH Z., Generalized coupled thermoplasticity. Part I. Fundamental equations and identities, Archives of Mechanics, No. 35, vol. 3, Warszawa, 1983, 337-349.
- [2] RANIECKI B., SAWCZUK A.: Thermal Effects in Plasticity. Part I: Coupled Theory, Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik - ZAMM, 55, 6, 1973, 232-241.
- [3] NEWNHAM R.E., Properties of Materials, Oxford University Press Incorporation, New York, 2005.



K. SŁONKA, A. KOZIARSKA, R. PAMPUCH

Opole University of Technology (Poland)

## **ANALIZA CZĘSTOŚCI WYSTĘPOWANIA ODCHYLEŃ W POSTAWIE CIAŁA U DZIECI**

Zmiana trybu życia oraz szybki wzrost kości u dzieci, który wydłuża i osłabia mięśnie, ma niekorzystny wpływ na kształtującą się postawę ciała. Badania wskazują, że w pierwszych latach nauki szkolnej nasilają się nieprawidłowości i wady w postawie ciała. Celem niniejszej pracy była analiza zmian w postawie ciała u dzieci przedszkolnych oraz po pierwszym roku nauki w szkole.

Badania oceniające postawę ciała wykonano dwukrotnie na grupie 81 dzieci. Pierwsze przeprowadzono u dzieci, które ukończyły 5 lat natomiast powtórna ocenę wykonano w tej samej grupie dwa lata później.

Do oceny postawy ciała wykorzystano metodę punktowania wg Kasperczyka, analizując ustawienie 10 elementów postawy ciała. Za każde nieprawidłowe ustawienie elementu przyznawano punkty karne.

Przeprowadzone badania wykazały pogorszenie się postawy ciała po dwóch latach. Do analizy statystycznej zastosowano testy Shapiro-Wilka, t-Studenta oraz znaków. Statystycznie istotne zmiany zaobserwowano w ustawieniu głowy, barków, kręgosłupa, a także stóp. Stwierdzone liczne nieprawidłowości postawy ciała u dzieci szkolnych, a także u dzieci przedszkolnych wskazują na potrzebę objęcia ich działaniami profilaktyczno- korekcyjnymi.

### LITERATURA:

- [1] CHROMIK K., ROHAN-FUGIEL A., ŚLIWA D., FUGIEL J.: The incidence of postural types in early school-age boys and girls [in Polish: Częstość występowania typów postawy ciała chłopców i dziewcząt w młodszym wieku szkolnym. *Acta-Optica et Informatica Medica* 4/2009, Vol. 15:346-347.
- [2] DOUGLAS C. MONTGOMERY, GEORGE C. RUNGER: *Applied Statistics and Probability for Engineers*, John Wiley & Sons, Inc., New York 2003.
- [3] HAGNER W., BĄK D., HAGNER-DERENGOWSKA M.: Changes in body posture in children in the first three years of schooling [in Polish: Zmiany w postawie ciała u dzieci w pierwszych trzech latach nauki]. *Forum Medycyny Rodzinnej* 2010, Vol.4, no.4: 287-290
- [4] KASPERCZYK T.: *Faulty posture, diagnosis and treatment* [in Polish: Wady postawy ciała, diagnostyka i leczenie]. Kasper. Kraków 2004.

V. KULYK<sup>1</sup>, D. PĄCZKO<sup>2</sup><sup>1</sup> Silesian University of Technology (Poland)<sup>2</sup> Opole University of Technology (Poland)

## DOPEŁNIENIE SŁABO REGULARNYCH LINIOWYCH ROZSZERZEŃ UKŁADÓW DYNAMICZNYCH DO REGULARNYCH

Przy badaniu liniowych rozszerzeń układów dynamicznych niezwykle ważne jest pojęcie funkcji Greena. W wielu pracach (patrz [1-4]) podawane są warunki jej istnienia, badana jest jej gładkość, określone są równoważne warunki, które musi ona spełniać. Funkcja Greena pozwala także na zapisanie w postaci całkowej inwariantnej rozmaitości układu niejednorodnego. Jednym z ważniejszych problemów jest stwierdzenie, czy dla liniowego rozszerzenia układu dynamicznego istnieje jedna funkcja Greena, czy jest ich nieskończenie wiele. W pierwszym przypadku mówimy o układzie regularnym, zaś w drugim o układzie słabo regularnym.

Przypomnijmy, że liniowym rozszerzeniem układu dynamicznego przyjęto nazywać układ równań w postaci:

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

gdzie  $x \in \mathbb{R}^m, y \in \mathbb{R}^n, f(x) = (f_1(x), \dots, f_m(x))$  jest funkcją wektorową, określoną dla wszystkich  $x \in \mathbb{R}^m$  i taką że problem Cauchy'ego

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

ma jedyne rozwiązanie  $x = x(t; x_0)$  dla każdego ustalonego  $x_0 \in \mathbb{R}^m$ , które jest określone dla każdego  $t \in \mathbb{R}$ . Dodatkowo zakładamy, że macierz  $A(x)$  jest kwadratowa o wymiarach  $n \times n$ , której elementami są funkcje skalarne, ciągłe i ograniczone na  $\mathbb{R}^m$ , czyli z przestrzeni  $C^0(\mathbb{R}^m)$ . Funkcja wektorowa  $h(x)$  jest także z  $C^0(\mathbb{R}^m)$ .

Razem z liniowym rozszerzeniem układu dynamicznego rozpatrujemy odpowiadający mu układ jednorodny w postaci:

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

Układ taki nazywamy słabo regularnym, jeśli istnieje dla niego przynajmniej jedna funkcja Greena:

$$G_0(\tau, x) = \begin{cases} \Omega_\tau^0(x)C(x(\tau; x)), & \tau \leq 0, \\ \Omega_\tau^0(x)[C(x(\tau; x)) - I_n], & \tau > 0, \end{cases} \quad (3)$$

z oszacowaniem

$$\|G_0(\tau, x)\| \leq Ke^{-\gamma|\tau|}, K, \gamma = \text{const} > 0, \quad (4)$$

gdzie  $C(x) \in C^0(\mathbb{R}^m)$  jest  $n \times n$ -wymiarową macierzą, zaś macierz  $\Omega_\tau^0(x_0)$  jest macierzą fundamentalnych rozwiązań liniowego układu równań:

$$\frac{dy}{dt} = A(x(t; x_0))y,$$

normalizowaną w punkcie  $t = \tau$ , tj,  $\Omega_\tau^0(x_0)|_{t=\tau} = I_n$ , gdzie  $I_n$  jest  $n$ -wymiarową macierzą jednostkową.

W pracy zaproponowano metodę, przy pomocy której można doprowadzić układ słabo regularny do regularnego. Przy tej okazji udało się wyznaczyć wszystkie rozwiązania pewnych liniowych układów algebraicznych o zmiennych współczynnikach.

#### LITERATURA:

- [1] BOICHUK A. A.: A condition for the existence of a unique Green-Samoilenko function for the problem of invariant torus. Ukr. Mat. Zh., 2001, vol. 53, no. 4, p. 556–559.
- [2] MITROPOLSKIJ J, SAMOILENKO A. M., KULYK V. L.: Dichotomies and stability in nonautonomous linear systems. Taylor & Francis Inc, London 2003.
- [3] SAMOILENKO A. M.: On the existence of a unique Green function for the linear extension of a dynamical system on a torus. Ukrainian Mathematical Journal, 2001, vol. 53, no. 4, 584–594.
- [4] 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.

M. KUBUS

Opole University of Technology (Poland)

## **ZADANIE APROKSYMACJI FUNKCJI W WARUNKACH INTERAKCJI ORAZ ZMIENNYCH ZAKŁÓCAJĄCYCH**

Modelowanie predykcyjne zakłada wpływ predyktorów na zmienną odpowiedzi, lecz w wielu zastosowaniach brak wystarczającej wiedzy o postaci tych związków. Dotyczy to zarówno wyboru zmiennych jak i specyfikacji modelu. Do estymacji parametrów modelu wykorzystuje się nieraz duże zbiory, czemu sprzyjają obecne technologie gromadzenia i przechowywania danych. Wydawać by się mogło, że posiadanie dużego zasobu informacji wpłynie na zbudowanie modelu o dobrych właściwościach predykcyjnych. Znany jest jednak fakt, że modele złożone (z wieloma parametrami) mogą dobrze odtwarzać strukturę posiadanego zbioru danych, ale niezbyt dobrze przewidują wartości zmiennej odpowiedzi dla nowych pomiarów zmiennych objaśniających [1]. Na złożoność modelu wpływa liczba uwzględnianych predyktorów. Wiele z nich (oznaczymy je przez  $S$ ) może okazać się nieistotna, to znaczy warunkowa gęstość rozkładu  $f(Y|S)$  nie będzie się istotnie różniła od gęstości rozkładu zmiennej odpowiedzi  $f(Y)$ . Ponieważ zmienne takie mogą obniżać dokładność predykcji modelu, ich automatyczna eliminacja pełni ważną rolę w eksploracyjnej analizie danych. Dodatkowym problemem – dotyczącym zwłaszcza modele liniowe – jest współliniowość predyktorów.

Choć w ostatnich latach duże uznanie zyskały metody nieparametryczne (takie jak POLYMARS czy MART) ze względu na dokładność predykcji i automatyczną selekcję zmiennych, modele liniowe są nadal atrakcyjne, gdyż dają możliwość interpretacji. Zauważmy też, że można je rozszerzyć do modeli liniowych względem parametrów, co daje możliwości uchwycenia bardziej skomplikowanych zależności funkcyjnych.

W pracy poświęcono uwagę zależnościom interakcyjnym w problemach wielowymiarowych, gdzie występuje problem współliniowości oraz problem zmiennych nieistotnych. Dokonano przeglądu technik selekcji zmiennych ze szczególnym akcentem na regularyzację modeli liniowych [2,3]. Zbadano pewną hybrydową, trzyetapową metodę selekcji zmiennych dla modelu liniowego, która wstępnie redukuje przestrzeń zmiennych objaśniających a następnie wykrywa interakcje. W przeprowadzonym eksperymencie symulacyjnym uzyskano modele liniowe względem parametrów o większej dokładności przewidywań niż MART oraz nie gorszej niż POLYMARS. Należy podkreślić, że otrzymane modele cechuje walor interpretacyjny w przeciwieństwie do wspomnianych metod nieparametrycznych, które mają charakter „czarnej skrzynki”. Wyniki badań wykorzystać można w modelowaniu inżynierskim po sformułowaniu problemu badawczego jako zadanie aproksymacji funkcji, przy założeniu, że dysponujemy danymi

pomiarowymi z przeszłości, które wykorzystamy do estymacji parametrów modelu.

LITERATURA:

- [1] HASTIE T., TIBSHIRANI R., FRIEDMAN J.: *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction*, 2nd edition, Springer, New York, 2009.
- [2] KUBUS M.: On model selection in some regularized linear regression methods, *Multivariate Statistical Analysis – Theory and Practice*, Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Oeconomica 285, p. 115-123, 2013.
- [3] ZOU H., HASTIE T.: Regularization and variable selection via the elastic net, *Journal of the Royal Statistical Society Series B*. 67(2): 301–320, 2005.

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

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

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

**OPIS ILOŚCIOWY WŁAŚCIWOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNYCH,  
CIEPLNYCH ORAZ MECHANICZNYCH NIEPOLARYZUJĄCYCH SIĘ  
FERROMAGNETYCZNYCH CIAŁ PRZEWODZĄCYCH  
ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU PÓL  
ELEKTROMAGNETYCZNYCH**

Opracowany został oparty na znanym modelu termomechaniki nieferromagnetycznych ciał przewodzących elektryczność wariant ilościowego opisu właściwości elektromagnetycznych cieplnych oraz mechanicznych ciał ferromagnetycznych przy technologicznym oddziaływaniu zewnętrznego pola elektromagnetycznego w trakcie obróbki wysoko temperaturowej. Zaproponowano analityczne wyrażenie opisujące zależność między równoległymi wektorami indukcji i natężenia pola magnetycznego w postaci pętli histerezy. Wzajemne oddziaływanie rozważanych pól elektromagnetycznych, cieplnych i mechanicznych uwzględniane jest przez ciepło Joule'a, jak również ciepło powstające na skutek przemagnesowania oraz siły ponderomotoryczne (elektryczne i magnetyczne) oddziaływania pola na prądy w tym molekularne (dipolowego typu) [1-3]. Momenty ponderomotoryczne sił magnetycznych przy równoległości natężeń i indukcji pola magnetycznego nie powstają.

Jako wyjściowe przy określeniu pól temperatury i mechanicznych pól przyjęto równania połączonej termomechaniki dla termoczułych ciał [4]. Zapisano układ zależności wyjściowych w przypadku niepołączonych pól jak i nieferromagnetycznych ciał.

W oparciu na zaproponowanym wariacie teorii mogą być wykonane szerokie badania rozważanych właściwości w ciałach o różnych materiałach ferromagnetycznych, w szczególności badania amplitudowo – częstotliwościowych charakterystyk oddziaływającego zewnętrznego pola elektromagnetycznego.

LITERATURA

- [1] BURAK YA.YO., GACHKEVICH A.R. AND SOLODIK M.T.: Dopov. AN Ukr.SSR, Sec. A, No. 5 (1988) 26 (in Ukrainian).
- [2] ERINGEN A.C., MAUGIN G.A.: Electrodynamics of continua. Springer-Verlag, New York, 1989.
- [3] HUTTER K.: Int.J.Eng.Sci. 14 (1976) 883.
- [4] KOVALENKO A.D.: Selected Works [in Russian], Naukova Dumka, Kiev 1976.

O. HACHKEVYCH<sup>1</sup>, R. KUSHNIR<sup>2</sup>, N. MELNYK<sup>2,3</sup>, R. MUSIY<sup>2,3</sup>

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

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

<sup>3</sup> National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

**PODSTAWY FIZYCZNO – MATEMATYCZNE OPISU ILOŚCIOWEGO  
PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH, CIEPLNYCH I  
MECHANICZNYCH W WARSTWIE NIEFERROMAGNETYCZNEJ  
PRZEWODZĄCEJ ELEKTRYCZNOŚĆ PRZY ODDZIAŁYWANIU  
IMPULSOWYCH PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH**

Opracowane zostały fizyczno – matematyczne podstawy ilościowego opisu elektromagnetycznych, cieplnych oraz mechanicznych właściwości nieferromagnetycznej warstwy przewodzącej elektryczność przy technologicznym oddziaływaniu zewnętrznych impulsowych pól elektromagnetycznych [1]. Uwzględniony jest adiabatyczny oraz dynamiczny charakter procesu nagrzewania i odkształcenia warstwy [1; 2]. Opracowano przy tym metodykę przybliżonego rozwiązywania sformułowanych w ramach tego opisu pod zagadnień zaproponowanego schematu obliczeniowego dla rozważanej warstwy, opartą na aproksymacji rozkładów występujących funkcji kluczowych (określających charakterystyki wszystkich rozważanych pól: elektro magnetycznego, temperaturowego oraz mechanicznych) względem grubościowej współrzędnej przy pomocy wielomianu 3-ciego stopnia [3].

Otrzymano i numerycznie przeanalizowano rozwiązania przy oddziaływaniu jednostkowego impulsu elektromagnetycznego.

Zbadano osobliwości rozpatrywanych właściwości oraz graniczną nośność warstwy przy różnych materiałach i parametrach impulsu. Ustalono krytyczne parametry elektromagnetycznego oddziaływania określające taka nośność.

LITERATURA

- [1] Y. BATYHIN, V. LAVINSKYI, L. KHIMENKO: Pulsed Magnetic Fields for Progressive Technologies, Kharkiv, Ukraine, Tornado, 2003, 288 p. (Russian).
- [2] Y. BURAK, O. HACHKEVYCH, R. MUSIY: Thermo-elasticity of Non-ferromagnetic Conductive Bodies exposed to Pulsed Electromagnetic Fields, Matematychni metody ta fizyko-mekhanichni polia, Kyiv, Ukraine, № 49 (1), 2006, P. 75-84. (Ukrainian).
- [3] O. HACHKEVYCH, R. MUSIY, D. TARLAKOVSKYI: Thermomechanics of Non-ferromagnetic Conductive Bodies under the Action of Pulsed Electromagnetic Fields with Amplitude Modulation, Lviv, Ukraine, SPOLOM, 2011, 216 p. (Ukrainian).

K. GHAZARYAN<sup>1</sup>, R. IVAS'KO<sup>2</sup>, M. SOLODYAK<sup>2</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

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

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

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

### **DO OPISU I ANALIZY POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO I CZYNNIKÓW JEGO ODDZIAŁYWANIA W WARSTWIE NIEFERROMAGNETYCZNEJ PRZY DWUSTRONNYM NAGRZEWANIU INDUKCYJNYM**

W oparciu o metody analityczne określono parametry pola elektromagnetycznego w przewodzącej elektryczność warstwie nieferromagnetycznej, niedielektrycznej przy dwustronnym oddziaływaniu pola elektromagnetycznego o charakterze harmonicznym (dwustronnym nagrzewaniu indukcyjnym).

Przy tym jako wyjściowy przyjęto schemat obliczeniowy, przy którym na pierwszym etapie wyznaczane są parametry pola elektromagnetycznego a na drugim – czynniki oddziaływania pola elektromagnetycznego na kontinuum materialne: ciepło Joule'a oraz siły ponderomotoryczne, określane przez parametry pola elektromagnetycznego, wyznaczane na pierwszym etapie [1; 2].

W celu zbadania osobliwości czynników oddziaływania pola elektromagnetycznego na kontinuum materialne [3] przy głębinnym nagrzewaniu indukcyjnym zbadano rozkłady względem przestrzennej współrzędnej amplitud natężenia pola magnetycznego i elektrycznego, ciepła Joule'a i siły ponderomotoryczne, a również ich przesunięć fazowych w zależności od grubości warstwy, właściwości elektro fizycznych materiałów i częstotliwości, wymuszającego pole elektromagnetyczne w warstwie, prądu w induktorze.

#### LITERATURA

- [1] GACZKIEWICZ A., KASPERSKI Z.: Modele i metody matematyczne w zagadnieniach brzegowych termomechaniki ciał przewodzących, Opole, Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, 1999, 367 s.
- [2] HACHKEVYCH O., SOLODYAK M. and IVAS'KO R.: On the statement of the problem of electrodynamics for nonferromagnetic layer subjected to bilateral induction heating, Physico-Mathematical Modelling and Information Technologies, 2016, Vol. 23, P. 42-51.
- [3] LUCIA O., MAUSSION P., DEDE E. and BURDIO J.M.: Induction Heating Technology and its Applications: Past Developments, Current Technology, and Future Challenges, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 2013, Vol. 61, no. 5, P. 2509-2520.



A. CHWASTYK

Opole University of Technology (Poland)

## **NOWE PODEJŚCIE DO OPISU WYNIKÓW BADAŃ MEDYCZNYCH Z ZASTOSOWANIEM SKIEROWANYCH LICZB ROZMYTYCH**

Pojęcie skierowanej liczby rozmytej (OFN) sformułowano w 2002 r. jako rozszerzony model liczb rozmytych, aby wyeliminować niektóre z ich wad. Skierowane liczby rozmyte zapewniają precyzyjną i elegancką strukturę do wykonywania działań na obiektach rozmytymi oraz wiele metod wyostrzania [1,2]. Interpretacja OFN może być zgodna z ogólną ideą standardowych liczb rozmytych, ale używając skierowanych liczb rozmytych możemy dodatkowo opisać trend nieprecyzyjnej wartości procesów rzeczywistych. Celem artykułu jest przedstawienie nowego zastosowania skierowanych liczb rozmytych do opisu wyników badań medycznych.

Istnieją tysiące testów medycznych używanych do diagnozowania pacjentów, mierzenia postępu choroby oraz badania skuteczności leczenia. Większość testów daje względne wyniki, jak przy mierzeniu czegoś, co ma być wewnątrz lub poza normalnym zakresem. Rozpoznanie choroby wiąże się z kilkoma poziomami niepewności i niedokładności. Liczby rozmyte są jednym z najbardziej użytecznych i popularnych narzędzi do przetwarzania niejednoznacznych i nieprecyzyjnych informacji. W medycynie rozmyte systemy eksperckie wykorzystywane są do diagnozowania chorób, a także do pomocy w interpretacji wyników badań medycznych.

Przedstawiono propozycję opisu wyników badań medycznych lub innych parametrów pacjenta z wykorzystaniem OFN. Takie podejście może pozwolić na dołączenie dodatkowych informacji bardzo ważnych dla prawidłowej diagnozy pacjenta. Nowa koncepcja została opisana na przykładzie pomiaru poziomu cholesterolu. Stosując skierowane liczby rozmyte możemy uwzględnić informację o dynamice zmiany pewnej wartości. W tym celu posługujemy się pojęciem skierowania. Na przykład: cholesterol może być „wysoki i niższy niż w poprzednim pomiarze” lub „wysoki i nie niższy niż w poprzednim badaniu”. Pierwszy przypadek można zinterpretować jako pozytywny wynik terapii pacjenta, podczas gdy drugi przypadek może wskazywać na konieczność zmiany terapii. Tak więc pojęcie skierowania daje OFN przewagę nad standardowymi liczbami rozmytymi uwzględniając więcej informacji o pacjentach.

### LITERATURA:

- [1] CHWASTYK A., KOSIŃSKI W.: Fuzzy calculus with applications, *Mathematica Applicanda*, 2013, vol. 41, 1, p. 47-96.

- [2] PROKOPOWICZ P., CZERNIA J., MIKOŁAJEWSKI D., APIECIONEK Ł., ŚLEŻAK D. (Eds.): Theory and Applications of Ordered Fuzzy Numbers, Studies in Fuzziness and Soft Computing 2017, vol. 356.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, R. MUSIY<sup>3</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>1</sup>, H. STASIUK<sup>2</sup>,

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

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

<sup>3</sup> National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

## DO CAŁKOWANIA ILOCZYNÓW EKSPONENCJALNYCH I TRYGONOMETRYCZNYCH FUNKCJI

Przy badaniu pewnych aspektów wzajemnego oddziaływania pól o różnej naturze fizycznej w materialnych środowiskach, w szczególności impulsowych pól elektromagnetycznych z modulacją amplitudy i termomechanicznych w elektroprzewodzących odkształcalnych ciałach stałych [1-3], często występują całki od iloczynów eksponencjalnych i trygonometrycznych funkcji czasu postaci

$$\int e^{\alpha x} \cos \beta x dx \text{ lub } \int e^{\alpha x} \sin \beta x dx$$

lub podobne im całki.

Z reguły ich obliczają stosując klasyczne podejście, korzystając z całkowania przez części lub ze znanych z literatury poradnikowej wzorów, co powoduje powstanie złożonych wyrażeń już na etapie obliczania i zwiększenie ich złożoności na etapie wyznaczania innych pól, które wyrażane są przez wykazane lub podobne im całki.

Zmniejszenie złożoności tych wyrażeń udaje się osiągnąć stosując na wszystkich etapach, gdzie występują takie lub podobne im całki, znanych zespolonych przedstawień funkcji trygonometrycznych  $\cos \beta x = \frac{1}{2}(e^{i\beta x} + e^{-i\beta x})$ ,

$$\sin \beta x = \frac{1}{2i}(e^{i\beta x} - e^{-i\beta x}).$$

Przy tym otrzymujemy wyniki całkowania odpowiednio w postaci:

$$\int e^{\alpha x} \cos \beta x dx = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{\alpha + i\beta} e^{(\alpha + i\beta)x} + \frac{1}{\alpha - i\beta} e^{(\alpha - i\beta)x} \right] + c =$$

$$= \frac{e^{\alpha x}}{2(\alpha^2 + \beta^2)} \left[ \alpha(e^{i\beta x} + e^{-i\beta x}) - i\beta(e^{i\beta x} - e^{-i\beta x}) \right] + c =$$

$$= \frac{e^{\alpha x}}{\alpha^2 + \beta^2} (\alpha \cos \beta x + \beta \sin \beta x) + c$$

$$\int e^{\alpha x} \sin \beta x dx = \frac{1}{2i} \left[ \frac{1}{\alpha + i\beta} e^{(\alpha + i\beta)x} - \frac{1}{\alpha - i\beta} e^{(\alpha - i\beta)x} \right] + c =$$

$$= \frac{1}{2i(\alpha^2 + \beta^2)} \left[ \alpha \left( e^{(\alpha+i\beta)x} - e^{(\alpha-i\beta)x} \right) - i\beta \left( e^{(\alpha+i\beta)x} + e^{(\alpha-i\beta)x} \right) \right] + c =$$

$$= \frac{e^\alpha}{\alpha^2 + \beta^2} (\alpha \sin \beta x - \beta \cos \beta x) + c.$$

Ostatnie wyrażenia we wzorach podane jako postaci całek, występujące w poradnikach. Postaci całek, zapisanie przez eksponenty, są wygodne dla wyznaczania kolejnych wielkości, które wyrażane są przez podane całki lub znajduwane z równań, w których prawe strone są funkcjami takich całek. Przy tym istotnie zmniejsza się możliwość omyłkowych przekształceń oraz otrzymywane są więc kompaktne wzory na ostatnim etapie rozwiązywania odpowiednich kompleksowych zagadnień [1-3].

#### LITERATURA:

- [1] МУСИЙ Р., ИВАСЬКО Р., СТАНИК–БЭСЛЕР А., СТАСЮК Г., ШИМУРА С. Общее решение задачи термомеханики в модели количественного описания тепловых и механических свойств электропроводного слоя при технологическом воздействии периодического по продольной координате импульсного электромагнитного поля с модуляцией амплитуды / Manufacturing processes. Actual problems – 2015. Vol. 2: Modelling of manufacturing processes. Studia i monografie z. 427 (ISBN 978-83-65235-25-1, pod red. nauk. M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler) Opole: Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej. – Глава 11. – С. 155–165.
- [2] ГАЧКЕВИЧ О.Р., МУСИЙ Р.С., СТАСЮК Г.Б. Плоска зв’язана динамічна задача термомеханіки для електропровідного шару з плоскопаралельними границями за нестационарної неоднорідної електромагнітної дії / Вісник НУ «Львівська політехніка». Серія «Фізико-математичні науки». -2009.- Т. 45, №4.- С. 87-93.
- [3] ГАЕВСКАЯ Л., МЕЛЬНИК Н., МУСИЙ Р., СТАСЮК Г., ШИМЧАК И. К прогнозированию с использованием модели электропроводного слоя тепловых и механических свойств изделий при импульсной электромагнитной обработке / Manufacturing processes. Actual problems – 2016. Vol. 2: Modelling and optimization of manufacturing processes. Studia i monografie z. 454 (ISBN 978-83-65235-67-1, pod red. nauk. M. Gajek, O. Hachkevych, A. Stanik-Besler, T. Wołczański) Opole: Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej. – Глава 5. – С. 79-92.

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





V. ASTASHKIN, S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, O. HACHKEYVYCH<sup>1,2</sup>

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

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

### **DO MODELOWANIA MATEMATYCZNEGO PROCESÓW ODKSZTAŁCANIA W ELEMENTACH DZIAŁAJĄCYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

Problemy wyznaczania parametrów wytrzymałościowych oraz następnej oceny eksploatacyjnego rezerwu działających urządzeń energetycznych mogą być rozwiązane przy wykorzystaniu nowoczesnych środków modelowania matematycznego na podstawie uściślonych (w porównaniu z istniejącymi inżynierskimi) metod określenia stanu sprężysto-odkształcalnego. W szczególności, wykorzystanie ogólnych zależności termosprężystości we wielu przypadkach umożliwia adekwatne uwzględnienie rzeczywistego kształtu elementów urządzeń energetycznych oraz badania i analizy zależności maksymalnych naprężeń, powstających w warunkach eksploatacji lub na skutek technologicznych remontowych wtrąceń, w celu ich optymalizacji. Przy tym w pewnych przypadkach jako podstawowe konieczne są zależności termosprężystoplastyczności dla termoczułych ciał stałych [1] co spowodowane jest pracą odpowiednich urządzeń energetycznych w warunkach podwyższonych temperatur i istotną zależnościami materiałów ich elementów od temperatury. Ocena stanu sprężystego na podstawie uproszczonych podejść inżynierskich często prowadzi do niewłaściwych założeń.

Rozważane zostały problemy matematycznego modelowania oraz prawidłowości inżynierskich podejść do oceny stanu sprężystego elementów sprzętu energetycznego w warunkach eksploatacyjnych. Wykorzystano przy tym wariant termomechanicznego opisu procesów odkształcania działających elementów takich urządzeń przy oddziaływaniu obciążenia termosiłowego na podstawie zależności nieizotermicznej termosprężystoplastyczności przy zastosowaniu nowoczesnych metod numerycznych. Zaproponowane podejście umożliwia uwzględnienie w całości termoczułości właściwości materiału w pewnym przedziale zmiany temperatury, sprężystoplastyczne odkształcanie, a również złożoną geometryczną konfigurację elementów energetycznych.

#### **LITERATURA**

- [1] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief Ya.Yo. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R HACHKEYVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).

S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, O. HACHKEYVYCH<sup>1,2</sup>, R. KUSHNIR<sup>1</sup>

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

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

## **DO MODELOWANIA NUMERYCZNEGO PROCESÓW ODKSZTAŁCANIA W ELEMENTACH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

Konieczność uwzględnienia osobliwości odkształcania elementów urządzeń energetycznych przy eksploatacji, dotyczących zależności właściwości materiału od temperatury oraz termo-sprężysto-plastycznego charakteru odkształcania w obszarach o nieklasycznym kształcie geometrycznym, powiązana jest z wykorzystaniem złożonych modeli opisu ich zachowania termomechanicznego, analityczne badania których powiązane jest z istotnymi matematycznymi trudnościami. Wydaje się naturalnym przy opracowaniu takiej problematyki opierać się na znane, dobrze opracowane, uniwersalne metody numeryczne oraz podejścia na postawie metody elementów skończonych dla aproksymacji poszukiwanych rozwiązań względem zmiennych przestrzennych w połączeniu z algorytmami różnicowymi dla aproksymacji wyznaczanych wielkości względem czasu.

Zaproponowana została metodyka numerycznego modelowania termomechanicznego zachowania ciał stałych przy oddziaływaniu termosiłowego obciążenia [1], konieczna dla oceny wytrzymałości i szcążkowego eksploatacyjnego rezerwu działających urządzeń energetycznych. W metodzie tej uwzględniono degradację materiałów, eksploatacyjne uszkodzenia oraz wtrącenia remontowe. Metodyka oparta na nowoczesnych numerycznych podejściach, podstawą których są metoda elementów skończonych, a również rodziny jednokrokowych wieloparametrycznych algorytmów różnicowych. Zaproponowana metodyka pozwala na numeryczne rozwiązanie zagadnień nieliniowej termomechaniki w obszarach o złożonym geometrycznym kształcie przy sprężysto-plastycznym charakterze odkształcania oraz termoczułości właściwości materiałów w rozważanych przedziałach zmiany temperatury. Przy tym dla aproksymacji zależnych od temperatury charakterystyk materiału oraz krzywych odkształcania wykorzystano interpolacyjne splajny, rozbudowane względem punktów realnych eksperymentalnych zależności.

### LITERATURA

- [1] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief YA.YO. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R HACHKEYVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).



O. BURYK<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>, P. VANKEVYCH<sup>3</sup>

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

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

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

## **MODELOWANIE KOMPUTEROWE PROCESÓW TERMOMECHANICZNYCH W ELEMENTACH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

Podana została ogólna charakterystyka opracowanego oprogramowania opartego na zaproponowanym przez autorów modelu matematycznym [1] oraz metodzie numerycznego rozwiązywania sformułowanych zagadnień termomechaniki. Opisano wyjściowe zasady oprogramowania [2] w ramach zaproponowanego schematu obliczeniowego, przeanalizowano jego strukturę oraz numeryczne aspekty realizacji metody elementów skończonych. Przy tym dla jakościowego oraz szybkiego opracowania modelu dyskretnego odpowiedniego zagadnienia w bloku wprowadzenia informacji wyjściowej zadawane są: typ zagadnienia (osiowosymetryczne, płaski sprężysty lub płaski odkształcalny stan, trójwymiarowe zagadnienie itp.); wykorzystywane elementy skończone; obciążenia (siły powierzchniowe, warunki zamocowania, warunki symetrii); konkretne metody rozwiązywania (metoda Newtona-Rafsona, metoda dodatkowych obciążeń, metoda numerycznego całkowania podstawowych macieżyowych spójności skończonego elementa); cieplofizyczne oraz mechaniczne właściwości materiałów itd. Z uwzględnieniem tej informacji generowany jest model dyskretny zagadnienia wyjściowego. Zbudowany "preprocesorem" [3] model dyskretny jest wyjściowym dla "procesora" (program który realizuje proces wyznaczenia przybliżonego rozwiązania zagadnienia) oraz dla "postprocesora" (program, który opracowuje i wizualizuje otrzymane wyniki).

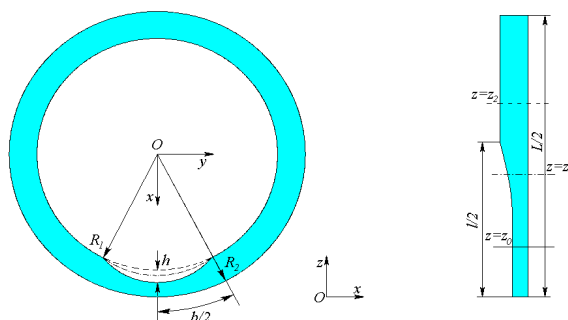
### LITERATURA

- [1] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief Ya.Yo. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R. HACHKEVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).
- [2] Formulations and Computational Algorithms in Finite Element Analysis / Ed. by K.J. BATHE, J.T. ODEN, W. WUNDERLICH. Cambridge, MIT, 1977, 1091 p.
- [3] Structural Mechanics Computer Programs – Surveys, Assessments and Availability / Ed. by V. PILKEY, K. SACHALSKI, H. SHAEFFER. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974, 1106 p.

B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, S. BUDZ<sup>3</sup>, B. DROBENKO<sup>3</sup>, A. RAWSKA-SKOTNICZNY<sup>1</sup><sup>1</sup>Opole University of Technology (Poland)<sup>2</sup>Center for Mathematical Modelling within Pidstryhach Institute  
for Applied Problems of Mechanics and Mathematics NASU (Ukraine)<sup>3</sup>Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics  
NASU (Ukraine)

## OCENA MOŻLIWOŚCI NASTĘPNEJ EKSPLOATACJI KRÓCÓW Z POREMONTOWYMI UBYTKAMI MATERIAŁU

Obecność szczelin na króćcach połączeń w urządzeniach energetycznych może spowodować raptowe zniszczenie takich urządzeń. Obecnie w przypadku wykazania takich uszkodzeń ich remontują drogą usunięcia materiału uszkodzonych obszarów razem z defektami (Rys. 1). Taką operację nazywają technologicznymi ubytkami materiału. Decyzja o następnej eksploatacji lub zamianie króćca z ubytkami materiału przyjmowana jest z uwzględnieniem maksymalnych wartości naprężeń, powstających w warunkach eksploatacji (które nie powinny być większymi od dopuszczalnych). Istniejące branżowe metody oceny stanu naprężeń w króćcu oparte są na dopuszczeniu o stałości grubości ścianki. Ich wykorzystanie dla konstrukcyjnych elementów, które straciły swój pierwotny kanoniczny kształt po remontowych wtrąceniach może powodować istotne niedokładności o charakterze ilościowym również jak jakościowym.



Rys. 1. Przekrój króćca z poremontowymi ubytkami (o głębokości  $h$ , szerokości  $b$  i długości  $l$ ) przez płaszczyzny  $z = z_0$  ( $z_1, z_2$ ) i  $y = 0$  odpowiednio.

Podane są wyniki modelowania oraz badania sprężysto-odkształcalnego stanu króćców z poremontowymi technologicznymi ubytkami materiału (po usunięciu pewnej ilości degradowanego lub mechanicznie uszkodzonego metalu) w warunkach eksploatacji. Otrzymano funkcjonalne zależności między głębokością, długością i szerokością usuwanych obszarów, określające geometryczne parametry takich obszarów przy naprężeniach w króćcu mniejszych od dopuszczalnych.

V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, B. BOZHENKO<sup>2,3</sup>, S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>

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

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

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

**OPTYMALIZACJA WZGLĘDEM NAPRĘŻEŃ  
PROCESU ODKSZTAŁCANIA WALCZAKA KOTŁOWEGO  
ELEKTROWNI CIEPLNEJ,  
POSIADAJĄCEGO POREMONTOWE UBYTKI MATERIAŁU**

Rozważane są wyniki modelowania komputerowego procesów odkształcania typowego walczaka kotła o wysokim ciśnieniu, posiadającego poremontowe ubytki materiału przy następnej eksploatacji (Rys. 1).

Zbadano wpływ różnych usunięć materiału (na otworach, na ścianie bębna w otoczeniu otworów oraz w miejscach odległych od otworów) na stan sprężysty bębna.

Ustalono, że najniebezpieczniejszymi względem wytrzymałości są usunięcia materiału w ścianie walczaka w otoczeniu otworów.



Rys. 1. Typowe poremontowe ubytki materiału w otoczeniu otworów w walczaku kotłowym konkretnego bloku elektrowni ciepłej.

Otrzymano, że maksymalne naprężenia w obszarze usunięcia materiału istotnie zależą od formy i wymiarów tego obszaru, w szczególności jego szerokości, zwiększenie której w otoczeniu otworu powoduje zmniejszenie koncentracji naprężeń w walczaku w tym obszarze. W skutek wykonanego numerycznego eksperymentu, wyznaczono optymalne względem naprężeń geometryczne parametry obszaru usunięcia, przy których koncentracja naprężeń w otoczeniu remontowych ingerencji jest minimalną.

V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>

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

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

## **EKSPLOATACYJNY RESURS ELEMENTÓW PRACUJĄCYCH URZĄDZEŃ ENERGETYCZNYCH**

Metodykę wyznaczania szcztkowego eksploatacyjnego resursu elementów urządzeń energetycznych z wykorzystaniem modelowania ich stanu sprężystego przy uwzględnieniu degradacji, uszkodzeń oraz remontowych ubytków materiału zilustrowano na przykładzie walczaka kotła o wysokim ciśnieniu elektrowni ciepłej. Symulacja komputerowa procesów odkształcania walczaka przy różnych przebiegach jego pracy zrobiona na podstawie modelu matematycznego oraz metody numerycznego rozwiązywania zagadnień termomechaniki nieliniowych ciał [1].

Obliczenia zgromadzonego ubytku metalu walczaka [2, 3] wykonano przy uwzględnieniu drgań temperatury jego ścianki (termocyklowanie) w warunkach pracy kotła w przebiegu stacjonarnym, przebiegach planowych włączeń-wyłączeń i awaryjnych wyłączeń kotła, a również w warunkach badań hydraulicznych.

Ustalono są przebiegi eksploatacji, przy których osiągnąć jest maksymalny zgromadzony ubytek metalu bębna. Otrzymane wyniki wykorzystano przy uzasadnieniu przedłużenia terminu eksploatacji rozważanego walczaka.

Ustalono, że termocyklowanie w trakcie przebiegu stacjonarntgo pracy kotła praktycznie nie ujawnią wpływu na zgromadzony ubytek materiału. Największy ubytek metalu walczaka powoduje rejim planowego włączania- wyłączenia przy przewyższeniu prędkości wzrostu/spadu ciśnienia środowiska w porównaniu jej przedziałem reglamentowanym 0,125-0,15 MPa/min.

### LITERATURA

- [1] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief Ya.Yo. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R HACHKEVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).
- [2] Basic provisions for the inspection and repair technology of high-pressure boiler drums of 16GNM, 16GNMA and 22K steel. USSR Ministry of Electrification. Ministry of Energy Engineering, 1978, 38 p. (in Russian).
- [3] Procedure to extend the life of high pressure boiler drums. Instruction JUU 40.1-21677681-02: 2009. (in Ukrainian).

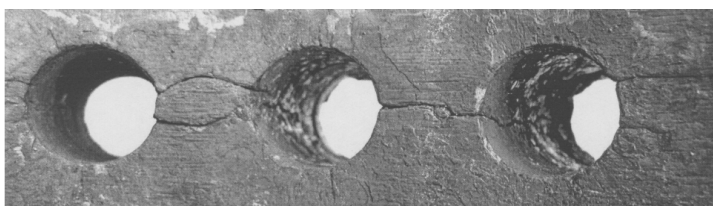
S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>, T. WOŁCZAŃSKI<sup>2</sup>

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

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

### **STAN SPRĘŻYSTY ORAZ PRZYDATNOŚĆ DO EKSPLOATACJI KOLEKTORÓW W KOTŁACH ELEKTROWNI CIEPLNYCH Z UWZGLĘDNIENIEM NABYŁYCH USZKODZEŃ MATERIAŁU**

W trakcie eksploatacji w kolektorach wyjściowego przegrzewacza pary w kotłach elektrowni cieplnej powstają szczelinopodobne tworzenia (Rys. 1) pomiędzy wstępującymi konstrukcyjnymi otworami.



Rys. 1. Typowe eksploatacyjne uszkodzenia kolektorów ze strony wewnętrznej powierzchni w otoczeniu konstrukcyjnych otworów.

Rozważane są wyniki modelowania komputerowego procesów odkształcania kolektorów omawianego wyjściowego przegrzewacza pary w kotłach elektrowni cieplnej, posiadających eksploatacyjne uszkodzenia w postaci pęknięć przy roboczych parametrach eksploatacji. Wykazano, że początek oraz rozpowszechnienie poprzecznych pęknięć pomiędzy otworami powiązane są ze znacznymi temperaturowymi gradientami względem grubości kolektora przy niestacjonarnych przebiegach ostrego chłodzenia, którego należy koniecznie zminimalizować lub jego unikać przy eksploatacji. Ustalono przydatność konkretnych działających kolektorów w warunkach eksploatacji w przebiegu ustalonym, a również w przebiegach planowanego uruchomienia.

Symulacja komputerowa procesów odkształcania kolektorów spełniona jest w oparciu na modelu matematycznym oraz metodzie numerycznego rozwiązywania odpowiednich zagadnień termomechaniki nieliniowych ciał [1].

#### LITERATURA

- [1] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief Ya.Yo. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R HACHKEVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).

V. ASTASHKIN<sup>1</sup>, S. BUDZ<sup>1</sup>, B. DROBENKO<sup>1</sup>, A. TORS'KYI<sup>2</sup>

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

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

**OCENA PRZYDATNOŚCI DO DALSZEJ EKSPLOATACJI  
KOTLOWYCH RUR EKRAKOWYCH Z NABYTYMI DEFEKTAMI  
NA PODSTAWIE ANALIZY STANU  
SPRĘŻYSTO-ODKSZTAŁCALNEGO**

Ekranowe rury kotłów elektrowni ciepłych pracują w warunkach wysokiego ciśnienia, podwyższonych temperatur oraz korozyjnego wpływu produktów spalania. W trakcie trwałej eksploatacji zmieniają się właściwości materiału również jak geometryczne parametry rur co prowadzi do ponizenia eksploatacyjnej wytrzymałości oraz funkcjonalnych obciążeń. Przy tym eksploatacyjna wytrzymałość na ogół wyznaczana jest lokalnymi ubytkami materiału ścianek w wyniku trwałego użytkowania.

Przeprowadzono komputerową symulację procesów odkształcania rur ekranowych o ubytku grubości ścianek w skutek intensywnego oddziaływania spalinowych gazów z wykorzystaniem nowoczesnych środków modelowania matematycznego [1]. Przy tym zastosowano metodę elementów skończonych [2].

Otrzymano funkcjonalne zależności między maksymalnymi naprężeniami w rurach ekranowych o nabytych eksploatacyjnych ubytkach grubości a parametrami geometrycznymi uszkodzonych odcinków rur, pozwalające określić minimalną grubość ścianki rur, przy której eksploatacyjne naprężenia nie przekraczają ustalonego poziomu dopuszczalnego. Ustalono również minimalną (dopuszczalną) grubość ścianki rury w środkowej strefie uszkodzonego odcinka.

Otrzymano, że naprężenia termiczne w rurze przy zewnętrznym ogrzewaniu częściowo kompensują naprężenia siłowe spowodowane ciśnieniem wewnętrznym.

LITERATURA

- [1] Modelling and Optimization in Thermomechanics of Electroconductive Heterogeneous Solids / Editor-in-Chief Ya.Yo. BURAK, R.M. KUSHNIR. V. 4: Thermomechanics of magnetizable electrically conductive thermosensitive solid / O.R. HACHKEVYCH, B.D. DROBENKO. SPOLOM, Lviv, 2010, 256 p. (in Ukrainian).
- [2] BATHE K.J. Finite Element Procedures Analysis. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1995, 1037 p.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, O. HUMENCHUK<sup>1</sup>, A. MARYNOWICZ<sup>2</sup>,  
R. TERLETSKI<sup>1</sup>

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

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

**CIEPLNE I MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI CZĘŚCIOWO  
PRZECZYSTEJ WARSTWY  
PRZY NAPROMIENIOWANIU CIEPLNYM ZA OBECNOŚCI  
POWIERZCHNI ODBIJAJĄCYCH**

W nowoczesnych urządzeniach i pszyrządach szeroko stosowane są jako elementy strukturalne oraz funkcjonalne wyprodukowane z częściowo przezroczystych materiałów dla promieniowania elektromagnetycznego. Często omawiane elementy przy obróbce technologicznej jak i eksploatacji poddane są intensywnemu napromieniowaniu cieplnemu, pochłanianie energii którego przez materiał powodnie powstanie połączonych pól cieplnych oraz mechanicznych. Wiadomo szereg prac, w szczególności [1, 2], poświęconych opisu procesów termomechanicznych w częściowo przezroczystych ciałach przy oddziaływaniu napromieniowania cieplnego. Przy tym na ogół nie uwzględnia się odbijających właściwości ciał otaczających rozpatrywane oraz widmowego rozkładu energii promieniowania.

Rozważana jest metoda modelowania oraz badania stanu termosprężystego częściowo przezroczystej warstwy przy oddziaływaniu cieplnego napromieniowania, spowodowanego układem zawierającym elementy odbijające niechłodzone, również jak i chłodzone przy uwzględnieniu widmowych radiacyjnych charakterystyk jak i uśrednionych wrzględem widma.

Metoda oparta jest na fenomenologicznej teorii promieniowania w przybliżeniu materiału nieemisyjnego oraz zależnościach quasistatycznej termosprężystości.

Przy rozważaniu napromieniowania częściowo-przezroczystej warstwy zbadano wpływ istniejących powierzchni odbijających energię promieniowania na produkcję ciepłą, temperaturę i naprężenia w niej oraz dodatkonego napromieniowania na skutek tych powierzchni.

Zbadano wpływ widmowych zależności radiacyjnych charakterystyk materiału warstwy, powierzchni wypromieniających i odbijających na produkcję ciepłą, temperaturę i naprężenia w warstwie.

LITERATURA

- [1] БУРАК Я.Й., ГАЧКЕВИЧ О.Р., ТЕРЛЕЦЬКИЙ Р.Ф. Термомеханіка тіл низької електропровідності при дії електромагнітного випромінювання

інфрачервоного діапазону частот // Доп. АН УРСР. Сер. А. – 1990. – № 6. – С. 39-43.

- [2] ТЕРЛЕЦЬКИЙ Р.Ф., ТУРІЙ О.П. Термонапружений стан частково прозорої шаруватої пластини при тепловому опроміненні // Мат. методи та фіз.-мех. поля. - 2006. – 49, № 3. – С. 177-187.



O. HACHKEYVICH<sup>1,2</sup>, O. HUMENCHUK<sup>1</sup>, A. KOZIARSKA<sup>2</sup>, B. CHORNYI<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> L'viv Branch of Dnipro National University of Railway Transport (Ukraine)

## **MODELOWANIE I ANALIZA PÓL TEMPERATUR ORAZ MECHANICZNYCH W SKLANEJ WARSTWIE PRZY NAPROMIENIOWANIU CIEPLNYM PRZEZ DWA TYPOWE PRZEMYSŁOWE ŹRÓDŁA PROMIENIOWANIA**

Termoobróbka częściowo przezroczystych elementów urządzeń i konstrukcji (materiały których są, z reguły, kruchimi) z wykorzystaniem napromieniowania cieplnego, a również ich eksploatacja w warunkach takiego oddziaływania, we wielu przypadkach powodują powstanie znacznych deformacji i naprężeń termicznych. Takie czynniki mogą mieć nieporządaną wpływ na robocze parametry rozważanych elementów.

Realizacja procesu termoobróbki przy wykorzystaniu napromieniowania cieplnego powiązana jest z wyborem źródła promieniowania. Najwięcej rozpowszechnionymi emiterami w piecach technologicznych są lampy ksenonowe (potężne źródła promieniowania) oraz kwarcowe galogenowe lampy (typu KG), podstawowym elementem których jest rozgrzana nić z woframu w gazie bezwładnym. Lampy te największą ilość energii promieniowania emitują na odcinku widma, który należy do promieniowania cieplnego, jednak że rozkład jej wartości względem widma dla omawianych lamp ma istotną różnicę.

W oparciu na fenomenologiczną teorię promieniowania w przybliżeniu niepromieniującego, nierozpraszającego materiału [1] i zależności quasi-statycznej termosprężystości [2] oraz odpowiednią metodę rozwiązywania powstających przy tym zagadnień fizyki matematycznej [3], przeprowadzono modelowanie, badania i analizę porównawczą procesów termomechanicznych w częściowo przezroczystej warstwie przy oddziaływaniu zewnętrznego promieniowania cieplnego, wytwarzanego przez dwa typowe przemysłowe źródła promieniowania o różnych widmowych rozkładach energetycznych.

Otrymano, że pochłonięta przez warstwę energia promieniowania i, jako wynik czasowo przestrzenne rozkłady produkcji cieplnej, temperatury i naprężeń w nim istotnie zależą od widmowego rozkładu energii promieniowania emiterów, widmowej zależności pochłaniających właściwości materiału warstwy od stosunku tych wielkości.

### **LITERATURA**

[1] ЗИГЕЛЬ Р., ХАУЭЛЛ ДЖ. Теплообмен излучением. – Москва: Мир, 1975.

– 935 с.

- [2] КОВАЛЕНКО А.Д. Термоупругость. – Киев: Вища шк., 1975. – 216 с.
- [3] НАСНКЕВУСН О., НУМЕНЧУК О., ГАЈЕК М. Thermomechanical behavior of semitransparent bodies with cavities under thermal radiation // Journal of Mathematical Sciences, 2011, november. Vol. 178, № 5. – P. 496-511.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, V. MYKHAILYSHYN<sup>1</sup>,  
T. KOZAKEVYCH<sup>1</sup>, S. MORYN<sup>2</sup>

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

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

## MODELOWANIE TERMOSPREŻYSTOPLASTYCZNYCH PROCESÓW PRZY TECHNOLOGICZNYM SPAWANIU

Zaproponowany został model matematyczny opisujący procesy termomechaniczne w składowych ciałach przy technologicznym spawaniu. Sformułowano odpowiednie zagadnienia termomechaniki oparte na teorii niestacjonarnego przewodzenia cieplnego oraz plastycznego izotermicznego płynu. Opracowano schematy numeryczne metody elementów skończonych (MES) i odpowiednie oprogramowanie dla prognozy stanów termomechanicznych ciał przy spawaniu z uwzględnieniem zmocnienia metalu w procesie plastycznego odkształcania oraz termoczułości jego charakterystyk.

Wkład strukturalnych przekształceń w formowanie spawalnych naprężeń uwzględniany jest tylko przez temperaturową zależność cieplnomechanicznych właściwości materiału, w tym dla temperatur fazowych przekształceń.

Opracowane oprogramowanie, oparte na MES dla rozwiązywania dwuwymiarowych względem współrzędnych zagadnień, umożliwia badanie stanu sprężysto-odkształcalnego w wyrobach spawanych, wyprodukowanych z jednorodnych oraz niejednorodnych składowych części o dowolnej długości i ilości szwów w założeniu o uderzeniowym powstaniu tych szwów. Uwzględniane jest wzmocnienie metalu w procesie deformacji plastycznej, termoczułość ciał przy dowolnym łącznym oddziaływaniu siłowego i temperaturowego obciążenia w trakcie procesu spawania. Jako przykład zbadano pole temperatury i naprężeń przy spawaniu dwóch cienkich tarcz.

### LITERATURA

- [1] ГАЧКЕВИЧ О.Р., МИХАЙЛИШИН В.С. Математичне моделювання і дослідження напруженого стану тіл у процесі охолодження при високотемпературному відпалі // Мат. методи та фіз.-мех. поля. — 2004. — Т. 47, № 3. — С. 186–198.
- [2] ГАЧКЕВИЧ О., МИХАЙЛИШИН В., РАВСЬКА-СКОТНІЧНА А. Числова методика розв'язування задач термомеханіки тіл у разі охолодження в процесі високотемпературного відпалювання // Вісник Львів. ун-ту. Сер. прикл. матем. та інформ. — 2007. — Вип. 12. — С. 78–92.

O. HACHKEVYCH<sup>1,2</sup>, T. KOZAKEVYCH<sup>2</sup>,  
R. KUSHNIR<sup>2</sup>, T. WOŁCZAŃSKI<sup>1</sup>

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

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

### **SZCZĄTKOWY STRUKTURALNY I SPRĘŻYSTY STAN STALOWYCH MAŁOWĘGŁOWYCH NISKOSTOPOWYCH TARCZ PRZY NAGRZEWANIU PRZEZ RUCHOME ROZŁOŻONE ŹRÓDŁA CIEPŁA W OBECNOŚCI WYBRANYCH DODATKOWYCH CZYNNIKÓW**

Są aktualnymi badania możliwości ustalenia warunków prowadzenia procesu technologicznego nagrzewania szeroko, wykorzystywanych w praktyce inżynierskiej stalowych małowęgłowych niskostopowych tarczowych elementów konstrukcyjnych przez ruchome normalne rozłożone źródła ciepła, a również obecności przy tym dodatkowych czynników technologicznych występujących w procesach takiego nagrzewania.

Zaproponowany został model badania i optymalizacji szczątkowych strukturalnego i sprężystego stanów małowęgłowych niskostopowych tarcz przy technologicznym nagrzewaniu przez ruchome źródła ciepła przy uwzględnieniu wpływu wybranych dodatkowych czynników (poprzedniego i towarzyszącego podgrzewania, parametrów występujących w źródle nagrzewania, lokalnej izolacji cieplnej podstaw). Opracowanie oparte na uogólnionym (zaproponowanym przez autorów) modelu ilościowego opisu rozważanych zjawisk w tarczy przy oddziaływaniu ruchomych rozłożonych źródeł ciepła przy różnych środkach ich lokalizacji przy nagrzewaniu do stanu powstania pewnej austenitnej strefy i następnego monotonicznego chłodzenia, podstawą którego występują znane statystyczne dane o procesie rozpadu austenitu, otrzymane eksperymentalnie.

Przeprowadzona analiza numeryczna oraz symulacja komputerowa w rozważanych przypadkach wykazała, że wartości dodatkowych technologicznych czynników (początkowej stałej temperatury, do której poprzednio jest nagrzana tarcza (poprzednie jednorodne podgrzewanie); parametrów obecnego dodatkowego lokalnego stacjonarnego pola temperaturowego (podgrzewanie towarzyszące); parametra opisującego rozproszenie w źródle (charakteryzującego rozkład energii cieplnej w nim)) istotnie wpływają na maksymalne wartości powstającej strukturalnej składowej martenzytycznej i intensywności naprężeń szczątkowych (w rozważanym przypadku o 10÷30% w porównaniu z nagrzewaniem tylko jedynie przez źródła ciepła).

Przy lokalnej izolacji cieplnej otrzymano, że wyborem szerokości strefy izolacji można zmniejszyć maksymalne wartości martenzytycznej składowej oraz intensywności naprężeń strukturalnych (w rozważanym przypadku o 10÷30 % w porównaniu z przypadkiem wymiany ciepła przez konwekcję).

I. MAHORKIN<sup>1</sup>, M. MAHORKIN<sup>1</sup>, T. SKRYPOCHKA<sup>2</sup>,  
A. STANIK-BESLER<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup> L'viv National Agrarian University (Ukraine)

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

## **OKREŚLENIE STANU SPREŻYSTO-ODKSZTALCALNEGO W STRUKTURACH Z WIELOKLINOWYMI POŁĄCZENIAMI**

Zaproponowany został wariant modelowania matematycznego otoczenia załamań powierzchni sprężenia materiałów przy antyplaskiej deformacji oraz metoda analitycznego wyznaczania stanu sprężysto-odkształcalnego w takich otoczeniach, w szczególności, rzędu singularności naprężeń przy wieloklinowych połączeniach w warunkach omawianej deformacji na podstawie analitycznych rozwiązań odpowiednich równań charakterystycznych [1-3].

Wykorzystanie analitycznych rozwiązań charakterystycznych równań w układach o wielkiej ilości klinów o takich samych kształtach rozwarcia umożliwi badania materiałów gradijentności kątovej.

Omówiono możliwości zastosowania otrzymanych wyników przy badaniu pól o różnej istocie fizycznej, które opisywane są rozwiązaniem równania Laplace'a (pole przemieszczeń przy antyplaskiej deformacji, stacjonarne pole temperatur, elektrostatyczne pole w obszarze gdzie nie występują ładunki, pola przemieszczeń i naprężeń w warunkach ścinania i in.).

### LITERATURA

- [1] SHAHANI A.R., GHADIRI M. Materials analysis of bonded finite wedges with an interfacial crack under anti-plane shear loading / Journal of Mechanical Engineering Science. – 2009. – Vol. 223, Iss. 10. – P. 2213-2223.
- [2] MAKHORKIN M., SULYM H. On determination of the stress-strain state of a multi-wedge system with thin radial defects under antiplane deformation / Civil and environmental engineering reports. – 2010. – Vol. 5. – P. 235-251.
- [3] MAKHORKIN M. MAKHORKINA T. Analytical determination of the order of stress field singularity in some configurations of multiwedge systems for the case of antiplane deformation / Econtechmod. An international quarterly journal. – 2017. – Vol. 6, №3. – P. 45-52.

O. HACHKEYVYCH<sup>1,2</sup>, M. HACHKEYVYCH<sup>1</sup>,  
E. IRZA<sup>1</sup>, V. MOZHAROVSKY<sup>3</sup>

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

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

<sup>3</sup> Gomel State University (Belarus)

## ОПТИМАЛИЗАЦЈА ПРЗЕБІЕГІВ СПАВАНІА ШКЛАНУХ ЦІАЛ

Zaproponowana została metoda modelowania komputerowego fizyczno-mechanicznych procesów przy opracowaniu optymalnych względem czasu oddziaływania (przy dotrzymaniu termowyttrzymałości) przebiegów spawania szklanych ciał, w której uwzględniono charakter odkształcania szkła przy podwyższonych temperaturach, a również powstanie szczątkowych deformacji i naprężeń przy zeszkleniu.

Proces spawania modelowany jest przy pomocy lokalnej strefy nagrzanego materiału w otoczeniu szwa (powstającej jednocześnie po całej długości szwa) oraz następnym chłodzeniem tej strefy do początkowej temperatury. Przy chłodzeniu w przedziale temperatur zeszklenia „zamrażane” są deformacji szczątkowe, które powodują powstanie szczątkowych naprężeń.

Schemat obliczeniowy poszukiwania optymalnego rozwiązania zawiera etapy:

- opracowanie algorytmu rozwiązywania zagadnień prostych;
- opracowanie algorytmu rozwiązywania zagadnienia optymalizacyjnego.

Algorytm rozwiązywania zagadnień prostych oparty jest na metodach ważonych reszt w połączeniu z metodą elementów skończonych. Takie podejście umożliwia otrzymanie efektywnych przybliżonych rozwiązań sformułowanych składowych zagadnień, opisujących wyjściowe modele rozważanych procesów w zagadnieniu prostym.

Rozwiązywanie sformułowanego ekstremalnego zagadnienia rozbudowane jest na podstawie zasady po etapowej parametrycznej optymalizacji. W ramach podejścia, wykorzystywanego na tym etapie, minimizacja funkcjonału sprowadza się do zagadnienia nieliniowego oprogramowania względem minimum odpowiedniej funkcji, argumentami której występują wartości funkcji sterowania (temperatury powierzchni w otoczeniu szwa) w dyskretne chwile czasu.

## LITERATURA:

- [1] ГАЧКЕВИЧ О, ІРЗА Є, КОЗЯРСЬКА А. До методології оптимізації теплових режимів і напруженого стану в скляному виробництві // Вісник Донецького національного університету, Сер. А: Природничі науки, 2014, № 1. – С. 22-28.

B. BOZHENKO<sup>1,2</sup>, R. IVAS'KO<sup>3</sup>, O. ONYSHKO<sup>3</sup>, A. STANIK-BESLER<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Center of Mathematical Modelling within Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics (Ukraine)

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

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

### **MODELOWANIE STANU SPRĘŻYSTEGO ORAZ FAZOWEGO CIAŁ Z PAMIĘCIĄ KSZTAŁTU PRZY ODDZIAŁYWANIU POŁA ELEKTRYCZNEGO**

Materiały z pamięcią kształtu, w których w pewnych przedziałach temperatur przy oddziaływaniu obciążenia cieplnego i/lub mechanicznego mogą zachodzić stałofazowe przekształcenia martenzytyczne, otrzymują coraz szersze zastosowanie w różnych obszarach teraźniejszej nauki i techniki. W szczególności, w medycynie (ortopedia i traumatologia) z takich materiałów produkowane są specjalne fiksatory dla leczenia złamań. Przy praktycznym wykorzystaniu takich fiksatorów ich nagrzewanie efektywnie realizuje się przy pomocy prądu elektrycznego.

Wzrasta też zainteresowanie materiałami metalicznymi z pamięcią kształtu, posiadającymi właściwości magnetyczne (szczególnie w fazie martenzytycznej). Ostatnio także aktywnie rozwija się produkowanie niemetalicznych materiałów (polimerów) z podobnymi właściwościami, które mają pewne preferencje przy zastosowaniu, w szczególności, w tej że medycynie.

W związku z tym w zaproponowanej pracy model ilościowego opisu zachowania termomechanicznego ciał stałych o pamięci kształtu przy przekształceniu martenzytycznym (jak w kierunku prostym, tak i zwrotnym) w warunkach obciążenia siłowego oraz temperaturowego [1] rozbudowany został dla przypadku oddziaływania pola elektrycznego.

Zapisano właściwe równania stanu modelu względem wybranych parametrów stanu, opisujących zachodzące procesy. Otrzymano pełny kluczowy układ równań rozwiązujących. Sformułowano odpowiednie warunki początkowe i brzegowe, niezbędne dla obliczenia składu fazowego oraz stanu sprężysto odkształconego elementów konstrukcyjnych, wyprodukowanych z wykorzystaniem materiałów z pamięcią kształtu.

#### **LITERATURA**

- [1]. АСТАШКИН В., БОЖЕНКО Б., БУДЗ С., ОНЫШКО А.: Моделирование с использованием инвариантов тензоров напряжений и деформаций термомеханических процессов в твердых телах при технологическом нагреве, Projektowanie procesów i systemów technologicznych, Lublin: Societas Scientarium Lublinensis, 2003, s. 164-170.

N. MELNYK<sup>1</sup>, R. MUSIY<sup>1</sup>, D. TARLAKOVSKI<sup>2</sup>, A. ŻURAWSKA<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>Moscow Aviation Institute (State University of Aerospace Technologies),  
Institute of Mechanics Lomonosov Moscow State University) (Russia)

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

### **CIEPLNE I MECHANICZNE WŁAŚCIWOŚCI METALOWYCH WALCA Z CIENKIM POKRYCIEM PRZY NIESTACJONARNYM ELEKTROMAGNETYCZNYM ODDZIAŁYWANIU**

Opracowany został model matematyczny określający właściwości cieplne i mechaniczne metalowych nieferromagnetycznych walca z obecnym cienkim pokryciem w procesie oddziaływania niestacjonarnego pola elektromagnetycznego oraz zaproponowany kryterium oceny sprawności takiego układu i zachowania wymaganych wytrzymałościowych właściwości istniejącego połączenia kontaktowego w zależności od parametrów zewnętrznego oddziaływania elektromagnetycznego. Model oparty na znanym schemacie rozwiązywania zagadnień takiej problematyki, zawierającym trzy etapy. Na pierwszym etapie z wykorzystaniem zależności Maxwelle’a wyznaczana jest różna od zera osiowa składowa wektora natężenia pola magnetycznego w walcu i pokryciu oraz odpowiednie gęstości ciepła Joule’a i sił ponderomotorycznych. Na drugim etapie z odpowiedniego zagadnienia przewodzenia cieplnego przy określonym na pierwszym etapie cieple Joule’a (przyjmowanym jako objętościowa gęstość źródeł ciepła) znajduwane jest pole temperatur w rozważanym układzie. Na trzecim etapie przy znanych polach temperatur i sił ponderomotorycznych z wykorzystaniem współzależności opisujących płaskie osiowosymetryczne dynamiczne zagadnienie termosprężystości, sformułowane względem przemieszczeń, wyznaczana jest promieniowa, kołowa i osiowa składowe tensora dynamicznych naprężeń, powstających w walcu i pokryciu na skutek oddziaływania ciepła Joule’a jak i sił ponderomotorycznych.

Zaproponowano metodę rozwiązywania sformułowanych w ramach modelu początkowo-brzegowych podzagadnień fizyki matematycznej, opartą na aproksymacji rozkładów kluczowych funkcji (osiowej składowej wektora natężenia pola magnetycznego, temperatury oraz promieniowej składowej wektora przemieszczeń) w walcu i pokryciu za pomocą wielomiana drugiego stopnia względem promieniowej współrzędnej. Przy tym wyjściowe początkowo-brzegowe podzagadnienia względem funkcji kluczowych sprowadzone zostały do odpowiednich zagadnień Cauche’go dla całkowych charakterystyk tych funkcji względem czasu.

Jako przykład otrzymano i przeanalizowano rozwiązania w układzie przy oddziaływaniu elektromagnetycznego impulsu.



Ch. DRAGOMYRECKA<sup>1</sup>, O. HACHKEVYCH<sup>2,3</sup>, R. IVAS'KO<sup>2</sup>, R. MUSIY<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National University "Lvivs'ka Politechnika" (Ukraine)

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

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

## **MODELOWANIE TERMOSPREŻYSTEGO ZACHOWANIA WALCA WYDROŻONEGO PRZY NIESTACJONARNYM CIEPLNYM I SIŁOWYM ODDZIAŁYWANIU, Z UWZGLĘDNIENIEM PROCESU TERMOSPREŻYSTEGO ROZPROSZENIA ENERGII**

Sformułowane zostało połączone dynamiczne osiowosymetryczne zagadnienie termosprężystości dla wydrożonego walca, fizyczno-mechaniczne charakterystyki którego przyjmowane są stałymi. Jako funkcje kluczowe wybrane są temperatura i promieniowa składowa wektora przemieszczeń. Rozwiązywanie zagadnienia sprowadzone jest do wyznaczania kluczowych funkcji z układu dwóch połączonych równań różniczkowych cząstkowych. Zaproponowano metodę przybliżonego rozwiązywania tego układu, opartą na aproksymacji rozkładów temperatury i promieniowej składowej przemieszczeń względem promieniowej współrzędnej przy pomocy wielomiana trzeciego stopnia. Współczynniki tego wielomiana wyrażane są przez dwie całkowe względem promieniowej współrzędnej charakterystyki każdej z kluczowych funkcji oraz warunki, które spełniają te funkcje na wewnętrznej i zewnętrznej powierzchniach walca.

W wyniku wyjściowe początkowo-brzegowe zagadnienie termosprężystości w rozważanym przypadku sprowadzone zostało do zagadnienia Cauchy'ego dla całkowych charakterystyk kluczowych funkcji względem czasu. Ogólne rozwiązanie tego zagadnienia znajdowane jest z wykorzystaniem całkowitego przekształcenia Laplace'a i otrzymane w postaci splotu odpowiednich funkcji (opisujących objętościowe źródła ciepła – ciepło Joule'a oraz siły objętościowe – siły ponderomotoryczne, a również funkcje wyrażające ogólne rozwiązania jednorodnych równań odpowiadających wyjściowemu układowi połączonych równań na całym rozważanym czasowym przedziale).

Z wykorzystaniem zaproponowanego podejścia otrzymano również algebraiczne równanie szustego stopnia dla wyznaczania pierwszych dwóch częstości własnych drgań promieniowych przemieszczeń przy uwzględnieniu rozproszenia energii w rozważanym walcu. Opracowana metoda może być naukową podstawą dla inżynierskich obliczeń termosprężystego zachowania elementów konstrukcji rorowego typu przy oddziaływaniu konkretnych niestacjonarnych cieplnych i siłowych obciążeń, w szczególności spowodowanych polem elektromagnetycznym.



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





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

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

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

## **CIECZ JONOWA ZAMIENNIKIEM TOKSYCZNYCH AMIN W PROCESIE USUWANIA CO<sub>2</sub> Z GAZÓW SPALINOWYCH**

W ostatnich latach, ze względu na możliwe zmiany klimatyczne, znacząco wzrosło zainteresowanie emisją antropomorficznego ditlenku węgla na efekt cieplarniany. Możliwość zmiany klimatu spowodowała wzrost zainteresowania procesami umożliwiającymi usuwanie ditlenku węgla z gazów spalinowych emitowanych do atmosfery.

Obecnie najczęściej stosowaną metodą usuwania CO<sub>2</sub> ze spalin jest absorpcja ditlenku węgla w wodnych roztworach amin. Substancje te charakteryzujące się dużą pojemnością sorpcyjną, niską ceną, stosunkowo dużą szybkością reakcji posiadają też szereg poważnych wad takich jak: znacząca lotność, degradacja termiczna w wyższych temperaturach, degradacja chemiczna, silna korozyjność, ekotoksyczność w środowisku naturalnym. Wykazano, że niektóre aminy np. MEA i DEA mogą promować potencjalne długoterminowe efekty toksyczne w stosunku do żywego organizmu.

Prowadzone obecnie badania nad cieczami jonowymi wskazują na ich potencjalnie znaczne możliwości absorpcji ditlenku węgla, porównywalne do roztworów amin.

Ciecze jonowe charakteryzują się następującymi własnościami, korzystnymi w przemysłowych procesach absorpcji CO<sub>2</sub> z gazów: bardzo mała prężność par, niepalność, duża stabilność termiczna, szeroki zakres występowania w stanie ciekłym. Ze względu na znikomą lotność są uważane za bezpieczne dla środowiska naturalnego.

W pracy zbadano możliwość zastosowania cieczy jonowej [Bmim][Ac] jako absorbenta CO<sub>2</sub> z gazów. Przeprowadzone badania dowiodły, że ciecz jonowa może być stosowana w procesie usuwania CO<sub>2</sub> z gazów, a jej pojemność sorpcyjna jest porównywalna z pojemnością sorpcyjną stosowanych roztworów amin. Największą wadą badanej cieczy jonowej jest jej wysoka lepkość, a także cena. Niewielki dodatek wody znacząco zmniejsza lepkość cieczy jonowej i polepsza jej własności jako absorbenta CO<sub>2</sub> z gazów.

I. MULICKA

Opole University of Technology (Poland)

## **BEZPIECZEŃSTWO JAKO POTRZEBA CZŁOWIEKA NA KAŻDYM ETAPIE ŻYCIA**

*Potrzeba bezpieczeństwa*, należy do jednej z najważniejszych potrzeb człowieka, zaraz po potrzebach fizjologicznych. Samo umiejscowienie u podstawy piramidy potrzeb może świadczyć o jej dużym znaczeniu. Aby człowiek funkcjonował sprawnie i zdrowo pod względem fizycznym muszą zostać zaspokojone potrzeby niższego rzędu – pragnienie, głód, oddychanie, które są nieodzownym warunkiem utrzymania homeostazy na stałym poziomie i warunkiem przetrwania organizmu. Tworzą one podstawę do zapewnienia bezpieczeństwa, czyli poczucia pewności i wolności od zagrożeń. Każdy człowiek dąży do tego, by żyć długo i w zdrowiu stąd tak istotna rola potrzeby bezpieczeństwa. Potrzeba bezpieczeństwa dotyczy większości zakresów życia ludzkiego – bezpieczeństwa fizycznego, ekonomicznego, społecznego oraz emocjonalnego itd. Człowiek dąży do zabezpieczenia swego stanu posiadania i do stabilizacji rodzinnej, mieszkaniowej.

W odniesieniu do sytuacji zatrudnienia i pracy, potrzeba ta związana jest między innymi z regularnym zatrudnieniem, poczuciem stałości na zajmowanym stanowisku oraz potrzebą stałości dochodu z pracy, jak również z bezpiecznym i ergonomicznym miejscem pracy. Zaspokojenie tych potrzeb efektywnie redukuje lęk, wnosi porządek oraz poczucie pewności w otaczającym świecie.

Zaspokojenie potrzeby bezpieczeństwa wiąże się z poczuciem odpowiedzialności za samego siebie oraz za ludzi w najbliższym otoczeniu. Odpowiedzialność ta łączy się z przyjęciem stosownej – aktywnej i świadomej postawy wobec zagrożeń. Postawę psychologowie definiują jako [...]”względnie trwałe orientacje, które jednostki rozwijają wobec różnych obiektów i kwestii napotykanych w trakcie całego życia i wyrażają werbalnie jako opinie”<sup>1</sup>.

W literaturze przedmiotu postawy wobec bezpieczeństwa rozważane są w różnych aspektach:

- indywidualny sceptycyzm – przejawia się w postaci lekceważenia spraw związanych z bezpieczeństwem;
- indywidualna odpowiedzialność za bezpieczeństwo – dotyczy poczucia odpowiedzialności za wykonanie bezpiecznej pracy;
- odporność jednostki na lęk przed zagrożeniem – łączy się z przekonaniem, że dzięki profesjonalizmowi i doświadczeniu można ustrzec się od wypadków;

---

<sup>1</sup> D. Fontana, Psychologia dla nauczycieli, Zysk i S-ka Wydawnictwo, Poznań 1998, s.248.

- stosunek do pojęcia bezpieczeństwa środowiska pracy;
- subiektywna opinia skuteczności rozwiązań mających zapewnić bezpieczeństwo.

Wartością niezwykle ważną dla pracownika jest poczucie bezpieczeństwa wykonywania pracy stąd rodzi się potrzeba działań prewencyjnych i gotowość pracownika do podjęcia działań zapobiegawczych w celu stworzenia bezpiecznych warunków pracy. Zapobieganie sytuacjom niebezpiecznym powinno być niewątpliwie jednym z elementów szkolenia dotyczącego bezpieczeństwa na stanowiskach pracy.

Niebagatelną sprawą jest bezpieczeństwo, które gwarantuje z mocy prawa ochronę przed czynnikami niebezpiecznymi i zdarzeniami, które mogą przyczynić się do powstania wypadku przy pracy.

Pracodawcy mogą wpływać na poczucie bezpieczeństwa pracowników poprzez:

- przygotowanie broszur promujących zachowania bezpieczne,
- prowadzenie dodatkowych szkoleń na temat odpowiednich sposobów zachowania w obliczu wystąpienia zagrożenia,
- udostępnianie informacji o aktualnym poziomie wypadkowości (np. wywieszanie tablic z liczbą dni od ostatniego wypadku),
- informowanie pracowników o wszystkich stosowanych zabezpieczeniach przed zagrożeniami na terenie przedsiębiorstwa,
- okresowe szkolenie przeciwpożarowe aby pokazać jak prawidłowo zareagować i gdzie są drogi ewakuacyjne,
- inne działania, które są ukierunkowane na podkreśleniu skuteczności zastosowanych działań na terenie przedsiębiorstwa, które mają na celu wyeliminowanie lub zminimalizowanie wszelkich zagrożeń.

J. RUT

Opole University of Technology (Poland)

## **TECHNOLOGIA IT - NARZĘDZIE OPTIMALIZACJI ZŁOŻONYCH PROCESÓW PRODUKCYJNYCH**

Postępująca złożoność procesów produkcyjnych, zwiększona ilość przepływu danych i informacji, potrzeby przetwarzania, analizowania i archiwizacji danych, wzmożona potrzeba płynności procesów, planowania, raportowania czy wizualizacji procesów wymusza niejako potrzebę zastosowania przez przedsiębiorstwa coraz to bardziej zaawansowanej technologii IT. Dziś efektywne zarządzanie procesami produkcyjnym jak i całym przedsiębiorstwem, wymaga kompleksowych rozwiązań w postaci systemów IT. Systemy IT wspierające zarządzania produkcją obejmują całościowo wszystkie procesy realizowane w ramach działalności produkcyjnej przedsiębiorstwa. Technologia IT obecnie stanowi najważniejszy klucz do sukcesu i ma fundamentalne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania przedsiębiorstw oraz procesów w nich zachodzących. Przedsiębiorstwa chcąc utrzymać lub też wzmocnić swoją pozycję na rynku, powinny docenić rolę i znaczenia komputerowych systemów informatycznych oraz korzyści jakie mogą osiągnąć przedsiębiorstwa po ich wdrożeniu. Właściwa organizacja procesów produkcyjnych, wsparta technologią IT oraz zdolność dostosowywania się do ciągłych zmian w otoczeniu, stanowi przewagę konkurencyjną przedsiębiorstw. Opracowanie przedstawia charakterystykę możliwości technologii IT jako kluczowego narzędzia optymalizacji procesów produkcyjnych oraz prezentację istotnych korzyści wynikających z ich zastosowania w przedsiębiorstwach.



J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI

Opole University of Technology (Poland)

## **ZAAWANSOWANA TECHNOLOGIA INFORMATYCZNA W NADZOROWANIU I STEROWANIU PROCESAMI I PRODUKCJĄ**

Funkcjonowanie przedsiębiorstw w warunkach konkurencyjnej gospodarki rynkowej zmusza przedsiębiorców do nieustannego poszukiwania doskonalenie procesów produkcyjnych. Niewątpliwie takim narzędziem jest zaawansowana technologia informatyczna, która oferuje ogromne możliwości optymalizujące procesy produkcyjne. Odpowiednio, dopasowana, zmienia radykalnie podstawowe tendencje w organizacji procesów produkcyjnych, a dzięki zaawansowanym systemom IT, nadzorowanie, sterowanie oraz monitorowanie produkcji, jest rzetelne i wiarygodne. Dzisiejsze potężne możliwości zaawansowanej technologii informatycznej w obszarze nadzorowania i sterowania procesami i produkcją - w zakresie gromadzenia, przechowywania, przekazywania, przesyłania, przetwarzania, wizualizacji i prezentacji informacji - umożliwiających dostęp do aktualnych danych w krótkim czasie. To daje możliwość przedsiębiorstwom wgląd w proces produkcyjny na każdym etapie realizacji oraz umożliwia uzyskanie rzetelnej wiedzy o procesach i produkcji. Obecnie funkcjonowanie przedsiębiorstw bez wsparcia ze strony zaawansowanych komputerowych systemów informatycznych jest bardzo trudne. Dzięki komputerowym systemom informatycznym przedsiębiorstwa uzyskują całkowicie nowe możliwości zarządzania, bez których obecnie trudno wyobrazić sobie efektywne działanie przedsiębiorstw. Opracowanie przedstawia znaczenie i możliwości zaawansowanej technologii informatycznej w obszarze nadzorowania i sterowania procesów i produkcji oraz prezentację potencjalnych korzyści wynikających z ich zastosowania.

J. TREMBACZ, S. MORYŃ, L. ŁUCKI

Opole University of Technology (Poland)

## **MODERNIZACJA CEMENTOWNI W ASPEKTCIE BEZPIECZEŃSTWA PRACY I ŚRODOWISKA**

Kluczowym elementem pracy jest ocena wpływu przeprowadzonej modernizacji cementowni na bezpieczeństwo pracy oraz środowisko. Zmianie uległ proces wytwarzania cementu (metoda mokra została zastąpiona metodą suchą). Wykonano ocenę wpływu zastosowanej technologii na środowisko i stan bezpieczeństwa pracy w cementowni. Przeprowadzono ankietę wśród pracowników zakładu i dokonano analizę odpowiedzi w zakresie wypadkowości na poszczególnych stanowiskach pracy przez okres 12 lat.

Porównano cementownię przed dokonanymi modernizacjami (produkcja cementu tzw. metodą „mokrą”) i po modernizacji (produkcja tzw. metodą suchą). Przedstawiono informacje na temat istotnych zmian w zakładzie na pod kątem bezpieczeństwa pracy jak i ochrony środowiska.

Następnie przeanalizowano wpływ modernizacji na środowisko naturalne (analiza danych pomiarowych) i na stan bezpieczeństwa poszczególnych stanowiskach pracy (ankiety wśród pracowników) oraz dokonano analizę wypadkowości.

D. KOZOK<sup>1</sup>, R. ŁUSZCZYNA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wrocław University of Environmental and Life Sciences (Poland)

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

## **ANALIZA ZAGROŻEŃ WYSTĘPUJĄCYCH NA STACJACH PALIWI Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA ALOHA 5.4.7**

Dzisiejsze możliwości w obszarze analizy zagrożeń (oceny ryzyka oraz zarządzania bezpieczeństwem) pozwalają na projektowanie coraz to bardziej optymalnych systemów bezpieczeństwa (w szerokim znaczeniu). Całość tego typu analizy sprowadza się przede wszystkim do modelowania zagrożeń (dzięki wykorzystaniu komputerowych programów symulacyjnych)

w oparciu o odpowiednie bazy danych (statystyczne, terenowe, ...) dotyczące analizowanego zagadnienia.

Efektom tych działań są różnego rodzaju scenariusze zagrożeń zmierzające do jak najbardziej trafnego oszacowania ryzyka uzależnionego od dwóch podstawowych parametrów: prawdopodobieństwa oraz skutków danego zagrożenia w określonym czasie i określonej przestrzeni. Właściwe oszacowanie ryzyka jest odpowiedzią na następujące pytania: co i jak często może się wydarzyć (zdarzenie niepożądane – zagrożenie) oraz jakie mogą być tego konsekwencje? W związku z powyższym; można zdefiniować bezpieczeństwo w oparciu o analizę ryzyka w aspekcie ilościowym i jakościowym poprzez zaprojektowanie optymalnego systemu bezpieczeństwa przeciwdziałającego lub minimalizującego skutki poszczególnych zagrożeń, które ze względu na swój nieprzewidywalny charakter są trudne bądź wręcz niemożliwe do bezpośredniego zarządzania.

W opracowaniu przedstawiono wybrane scenariusze zagrożeń występujące na stacjach paliw płynnych. Pracę podzielono na dwie części; teoretyczną oraz praktyczną. W części pierwszej scharakteryzowano stacje paliw, zidentyfikowano typowe zagrożenia występujące na jej terenie oraz wymieniono zabezpieczenia techniczne przeciwdziałające danym zagrożeniom. Część druga (badawcza) obejmuje modelowanie zagrożeń typu: wybuch, pożar - z wykorzystaniem programu ALOHA. W pracy skupiono się na analizie zagrożeń technologicznych (technicznych) spowodowanych przez człowieka.

J. RUT

Opole University of Technology (Poland)

## **OPTIMALIZACJA SKOMPLIKOWANYCH PROCESÓW WYTWARZANIA PRODUKTÓW**

Współczesne procesy wytwórcze są niezwykle złożone. Rola gromadzenia i analizy danych w optymalizacji skomplikowanych procesów wytwarzania produktów w przemyśle jest coraz większa. Decydują o tym coraz większe wymagania odnośnie jakości i bezpieczeństwa procesów wytwórczych i produkowanych wyrobów, a także rosnące wymania norm i innych regulacji. Optymalizacja procesów wytwarzania produktów ma przełożenie na całość funkcjonowania przedsiębiorstwa i przyczynia się do uzyskania wielu istotnych korzyści. Aby odnieść sukces na konkurencyjnym rynku, przedsiębiorstwa powinny przywrzeć się dostępnym i możliwym do wykorzystania rozwiązaniom, optymalizującym procesy wytwarzania. Dzięki dopasowanym rozwiązaniom „skrojonym na miarę”, przedsiębiorstwa będą mogły w szybki i elastyczny sposób dopasować bieżące działania w ramach produkcji, uzyskując lepsze wyniki wytwórcze produktów oraz przewagę konkurencyjną. Wiedza o aktualnym stanie procesu wytwórczego jest nieoceniona, a właściwa organizacja skomplikowanych procesów produkcyjnych, wykorzystujących nowoczesne rozwiązania doskonalące oraz przemyślne i racjonalne zarządzanie posiadanymi zasobami jak również zdolność do dostosowywania się do ciągłych zmian w otoczeniu stanowią przewagę konkurencyjną przedsiębiorstw. Dziś optymalizacja wytwarzania produktów jest gwarantem lepszego wykorzystania możliwości funkcjonalnych przedsiębiorstwa. Opracowanie przedstawia możliwości optymalizacji wytwarzania skomplikowanych procesów wytwarzania produktów w wybranych przedsiębiorstwach produkcyjnych poprzez wykorzystanie rozwiązań doskonalących działania w ramach produkcji oraz prezentację istotnych korzyści wynikających z ich zastosowania.

J. RUT, T. WOŁCZAŃSKI

Opole University of Technology (Poland)

## **WORLD CLASS MANUFACTURING - EFEKTYWNE NARZĘDZIE KSZTAŁTOWANIA I CIĄGŁEGO DOSKONALENIA PRODUKCJI**

Współczesny, dynamicznie zmieniający się rynek, wywiera ogromną presję na przedsiębiorstwach produkcyjnych, które chcąc utrzymać przewagę konkurencyjną, muszą ciągle kształtować i doskonalić swoje procesy produkcyjne. Pomocny w tym jest system World Class Manufacturing (WCM), który stanowi efektywne i kompleksowe narzędzie zarządzania, przyczyniające się do maksymalnego ograniczenia strat i marnotrawstwa

w przedsiębiorstwie. Kształtowanie i doskonalenie procesów produkcyjnych z wykorzystaniem

WCM umożliwia zwiększenie zysków przedsiębiorstwa, wzrost wydajności, jakości i bezpieczeństwa produkcji. WCM pozwala na osiągnięcie najwyższego, możliwego poziomu organizacji produkcji poprzez wdrażanie nowoczesnych koncepcji, metod i narzędzi zarządzania. Wdrożenie systemu WCM w przedsiębiorstwach umożliwia stosowaniu najlepszych dostępnych praktyk z zakresu zarządzania i metod pracy w celu osiągnięcia wysokiej konkurencyjności na poziomie operacyjnym. WCM dzięki swoim filarom, metodologiom oraz narzędziom pomaga przedsiębiorstwom utrzymać maszyny w pełnej sprawności, efektywną maksymalizację wydajności maszyn i urządzeń oraz zmniejszenie wydatków na ich utrzymanie.

Opracowanie przedstawia system World Class Manufacturing jako efektywne narzędzie kształtowania i doskonalenia procesów produkcyjnych oraz prezentację istotnych możliwych do uzyskania korzyści, wynikających z zastosowania systemu w przedsiębiorstwach produkcyjnych.

J. TREMBACZ, P. MAĆKÓW

Opole University of Technology (Poland)

**OCENA STANU BEZPIECZEŃSTWA WYBRANEGO  
PRZEDSIĘBIORSTWA BRANŻY GASTRONOMICZNEJ**

Kluczowym elementem niniejszej pracy jest analiza ryzyka i ocena stanu bezpieczeństwa w wybranym przedsiębiorstwie z branży gastronomicznej wytwarzającego produkty gastronomiczne. Ocenie stanu bezpieczeństwa poddano poszczególne stanowiska pracy, wykonano również ocenę wydatku energetycznego poprzez ocenę każdej czynności z osobna na poszczególnym stanowisku pracy. Zaproponowano zmiany, które znacząco zmniejszą ryzyko. Następnie wykonano ocenę ryzyka, karty oceny ryzyka dla wybranych stanowisk pracy. Zaobserwowane zagrożenia i źródła obciążeń zostały uwzględniono w zaproponowanej korekcie zmian. Zaproponowano zmiany uwzględniające m.in. urządzenia komunikacyjnego, zmiany organizacji przestrzennej i innych zmian mniej inwazyjnych, zmniejszających ryzyko na stanowisku pracy. W analizie poszczególnych stanowisk pracy uwzględniono również bardzo ważny aspekt ergonomii pracy w przedsiębiorstwie.

J. TREMBACZ, J. CIEŚLA

Opole University of Technology (Poland)

**ANALIZA I OCENA BEZPIECZEŃSTWA PRACY AUTOMATYCZNEJ  
LINII PRODUKCYJNEJ W WYBRANYM PRZEDSIĘBIORSTWIE  
BRANŻY MOTORYZACYJNEJ**

Celem niniejszej pracy jest m.in. przedstawienie jak wymierne korzyści dla Przedsiębiorstwa przynoszą inwestycje poczynione w techniczne i organizacyjne środki bezpieczeństwa. Scharakteryzowano Przedsiębiorstwo działające w branży motoryzacyjnej. Następnie przeprowadzono inwentaryzację automatycznej linii produkcyjnej, która obejmowała zakresem techniczne środki bezpieczeństwa stosowane na zrobotyzowanej linii produkcyjnej. W ramach poprawy stanu bezpieczeństwa zaproponowano ulepszenia, które Przedsiębiorstwo powinno zastosować, by zmniejszyć prawdopodobieństwo powstania wypadków podczas pracy. Następnie przeprowadzono analizę informacji nt. wypadkowości w badanym przedsiębiorstwie oraz przedstawiono wyniki analizy ankiet na temat świadomości pracowników linii produkcyjnej w zakresie BHP. Badanie wykonano na grupie 120 pracowników wykonujących szereg prac w rejonie i bezpośrednio przy zautomatyzowanych liniach produkcyjnych Przedsiębiorstwa.