

SCOPUS AS A META-SOURCE OF KNOWLEDGE ABOUT TURBINE BLADE DAMAGE IN THE ASPECT OF DESIGNING AN EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEM

SCOPUS JAKO META-ŹRÓDŁO WIEDZY O USZKODZENIACH ŁOPATEK TURBIN W ASPEKCIE PROJEKTOWANIA EKSPERTOWEGO SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO

Henryk Borowczyk, Józef Błachnio, Jarosław Spychała

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Air Force Institute of Technology

Abstract: *The paper presents the concept of using the Scopus as a meta-source of knowledge about turbine blade damage in the aspect of designing an expert diagnostic system. In the first stage, the search was limited to the scope of the general term "turbine engine", followed by a refinement of the search terms within the area of rotary machines components degradation including their construction, manufacturing, repair technology and diagnostic methods. By using EndNote software in semi-automatic mode, specific issue groups have been designated. In the second stage, a query focused on the main causes of turbine blade damage and diagnostic methods was proposed. Using the Scopus-based search and archiving tools, one can systematically update the knowledge.*

Keywords: turbine engine, turbine blade, diagnostic expert system

Streszczenie: *W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania bazy Scopus jako meta-źródła wiedzy o uszkodzeniach łopatek turbin w aspekcie projektowania ekspertowego systemu diagnostycznego. W pierwszym etapie przegląd publikacji ograniczono do zakresu określonego ogólnym hasłem „turbine engine” a następnie doprecyzowano przeszukiwanie wprowadzając hasła szczegółowe z obszaru degradacji elementów maszyn wirnikowych z uwzględnieniem ich konstrukcji, technologii wytwarzania i naprawy oraz metod diagnozowania. Stosując oprogramowanie EndNote w trybie pół-automatycznym wyznaczono grupy publikacji dotyczących zagadnień szczegółowych co ułatwia wykorzystanie wyników kwerendy w procesie tworzenia ekspertowego systemu diagnostycznego. W drugim etapie zaproponowano kwerendę skoncentrowaną na głównych przyczynach uszkodzeń łopatek turbin oraz metodach diagnozowania. Wykorzystanie zawartych w bazie Scopus mechanizmów przeszukiwania oraz archiwizacji zbioru wyników umożliwia systematyczną aktualizację pozyskanej wiedzy.*

Słowa kluczowe: silnik turbinowy, łopaska turbiny, ekspertowy system diagnostyczny

SCOPUS AS A META-SOURCE OF KNOWLEDGE ABOUT TURBINE BLADE DAMAGE IN THE ASPECT OF DESIGNING AN EXPERT DIAGNOSTIC SYSTEM

1. Introduction

As part of its statutory activities in the Aircraft Engine Division of the Air Force Institute of Technology, research and development works on modern comprehensive diagnostic systems of turbine engines are conducted. They require extensive knowledge of the design and operation processes including degradation and diagnosis of the examined objects.

The results of long-term own work of ITWL staff [3, 5-11, 39] and available publications of other authors in scientific journals, papers presented at conferences, reports of other research units and books.

Because of the huge number of existing publications, querying sources in the interest area requires reference to abstract and / or full text databases. An excellent example is the Scopus database containing over 100 million records of data.

This paper presents the concept of using Scopus as a meta-source of knowledge about turbine blades degradation processes. This enables multidisciplinary and multi-faceted identification of the sources of knowledge needed in the design of intelligent diagnostic systems.

2. Scopus as a meta-source of knowledge about the operational degradation of turbine engine components

The Scopus database contains bibliographic and abstract data covering four main publishing areas [<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>]:

- scientific journals - more than 25,000 journals covering peer-reviewed articles (including open access) from 5,000 publishers;
- books - over 113,000 books;
- conference papers - over 7 million papers from about 90000 conferences;
- patents - about 27 million.

For the purposes of the work carried out within the ITWL statutory activity, Scopus database query was conducted mainly in two areas: articles published in scientific journals and papers presented in conference publications.

Review of the publication was limited to the scope of the general term "turbine engine" and further refined by introducing specific terms within the area of degradation processes of rotary machine systems (turbines, compressors, ...), including their construction, manufacturing and repair technology and diagnostic methods.

The next stage was the "manual" classification of the relevance of particular publications from the point of view of ITWL work. For each publication, a significance index of [0, 5] was determined.

By using EndNote software in semi-automatic mode, groups of publications on specific topics have been assigned, which makes it easy to use query results in the process of creating partial bibliography.

3. Statistical analysis of publications included in the Scopus database (on-line access 19.07.2016)

Below are presented selected results of statistical analysis of Scopus publications, whose significance index is greater than 2.

Tab. 1 Type of publications (16148)

book	27
book section	74
conference proceedings	7608
journal article	7953
report	42
serial	444

Tab. 2 Testing facilities - general (15890)

alloy	1723
barrier	647
blade	4164
casing	397
chamber	644
coating	1290
coating barrier	629
compressor	2183
disk	840
gas path	369
microstruct	775
model	5747
rotor	2310
shaft	905
structure	2540
surface	2312
system	6856
TBC	200
turbine	14261
turbine engine	5321
turboshaft	153
vane	49

Tab. 3 Test facilities - detailed

compressor blade	755
compressor disk	83
compressor rotor	73
combustion chamber	2879
turbine blade	1909
turbine disc	355
turbine rotor	153

Tab. 4 Degradation (6942)

abrasion	151
corrosion	690
crack	1049
creep	614
damage	1460
debris	153
defect	466
degradation	770
delamination	64
deposition	339
deterioration	296
erosion	355
failure	1515
fatigue	1644
fault	1046
FOD	156
fracture	538
fretting	120
overheat	41
vibration	1310
wear	888

Tab. 5 Diagnostics (6570)

condition monitor	280
detection	820
detection fault	240
diagnosis	464
diagnostic	983
early	787
failure analysis	145
gas path analysis	93
inspection	441
isolation	150
monitoring	1155
prediction	1692

Tab. 6 Artificial Intelligence (1600)

artificial	246
decision	314
expert	241
expert system	90
intelligent	206
knowledge	719
learning	115
reasoning	63

4. Scopus as a knowledge meta-source about turbine blades defects

The following is an example of a Scopus query that allows one to search for turbine blade damage publications.

TITLE-ABS-KEY ("turbine blade" AND NOT "wind turbine")
AND

(LIMIT-TO (LANGUAGE , "English ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "Russian ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "German ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "French ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "Polish ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "Czech ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , " Undefined "))
AND

(LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fatigue Of Materials") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Creep") OR

LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cracks") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Oxidation") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Corrosion") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Erosion") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Failure Analysis") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Crack Propagation") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fracture") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Experimental Investigations") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Nondestructive Examination") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Repair") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fatigue Testing") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fatigue") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Corrosion Resistance") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Operating Condition"))

The following fields were used:

- TITLE-ABS-KEY - a complex field that allows parallel search of fields: Title, Abstract, and Keyword;
- LANGUAGE - language of publication;
- EXACTKEYWORD - the exact value of the Keyword field.

The LIMIT-TO operator with the LANGUAGE option restricts search to publications published in specific languages.

The LIMIT-TO operator with the EXACTKEYWORD option restricts the search to the publication described by the selected keyword.

The above sample query covers the basic causes of turbine blades damage:

- corrosion [19, 20, 31, 33, 37] ...;
- cracks [1, 2, 13, 24, 25] ...;
- creep [29, 30, 32, 34] ...;
- erosion [14, 21, 28, 40] ...;
- fatigue [15, 16, 18, 22] ...;

and research methods:

- experimental investigations [12, 15, 23, 38] ...;
- failure analysis [24, 26, 27, 36] ...;
- nondestructive examination [4, 17, 35] ...

Depending on how many collections are found, further analysis can be performed by an expert directly or by using bibliographic applications (such as Mendeley or EndNote).

The advantage of Scopus is the ability to save used queries and generate alerts for new publications that meet the query criteria. Thanks to this, the publication base is constantly being updated.

5. Summary

Using Scopus as a meta-source of knowledge about turbine blade damage enables rational classification and decomposition of research and development problems related to the design and implementation of expert diagnostic systems of turbine blades.

Knowledge of the degradation process of blades during operation is the basis for determining phenomena and then formal models prepared for implementation in an expert system.

Knowledge of the method of diagnosing blades is essential for the synthesis of the set of inference rules - the main module of the expert system.

The proposed approach enables scientific and technical support for the synthesis of expert diagnostic systems for rotor machines.

6. Bibliography

- [1] Abbas, M. and G.J. Vachtsevanos, *A system-level approach to fault progression analysis in complex engineering systems*. in *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, PHM 2009*. 2009.
- [2] Bano, N., A. Fahim, and M. Nganbe, *Fatigue crack initiation life prediction of IN738 using artificial neural network*. 2010.
- [3] Błachnio, J. and M. Bogdan, *A non-destructive method to assess condition of gas turbine blades, based on the analysis of blade-surface images*. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2010. 46(11): p. 860-866.
- [4] Błachnio, J., *Analysis of technical condition assessment of gas turbine blades with non-destructive methods*. *Acta Mechanica et Automatica*, 2013. 7(4): p. 203-208.
- [5] Błachnio, J., *Capabilities to assess health/maintenance status of gas turbine blades with non-destructive methods*. *Polish Maritime Research*, 2014. 21(4): p. 41-47.
- [6] Błachnio, J., *The effect of changing loads affecting the martensite steel on its structure and the Barkhausen noise level*. *NDT and E International*, 2008. 41(4): p. 273-279.
- [7] Błachnio, J., *The effect of high temperature on the degradation of heat-resistant and high-temperature alloys*, in *Solid State Phenomena*. 2009. p. 744-751.
- [8] Błachnio, J., M. Bogdan, and D. Zasada, *Increased temperature impact on durability of gas turbine blades*. *Eksplotacja i Niezawodność*, 2017. 19(1): p. 48-53.
- [9] Błachnio, J., J. Dutkiewicz, and A. Salamon, *The effect of cyclic deformation in a 13% Cr ferritic steel on structure and Barkhausen noise level*. *Materials Science and Engineering A*, 2002. 323(1-2): p. 83-90.
- [10] Błachnio, J., et al., *Assessment of technical condition demonstrated by gas turbine blades by processing of images for their surfaces*. *Journal of Konbin*, 2012. 21(1): p. 41-50.
- [11] Błachnio, J., et al., *The attempt to assess the technical condition of a gas turbine blade when information on its operating condition is limited*. *Journal of Konbin*, 2014. 30(1): p. 75-86.
- [12] Bonnard, V., D. Pacou, and F. Gallerneau, *Fatigue of anisotropic materials - A new experimental device for multiaxial thermo-mechanical fatigue*. *Materialprüfung/Materials Testing*, 2004. 46(6): p. 301-305.
- [13] Carter, B.J., et al., *Three-dimensional simulation of fretting crack nucleation and growth*. *Engineering Fracture Mechanics*, 2012. 96: p. 447-460.

- [14] Cernuschi, F., et al., *Solid particle erosion of standard and advanced thermal barrier coatings*. Wear, 2016. 348-349: p. 43-51.
- [15] Ding, J., et al., *Fatigue crack growth from foreign object damage under combined low and high cycle loading. Part I: Experimental studies*. International Journal of Fatigue, 2007. 29(7): p. 1339-1349.
- [16] Dionne, S., T. Lang, and J. Li. *Examination of fatigue crack origins in aircraft turbine blades using serial sectioning techniques*. 2009.
- [17] Gao, C., W.Q. Meeker, and D. Mayton, *Detecting cracks in aircraft engine fan blades using vibrothermography nondestructive evaluation*. Reliability Engineering and System Safety, 2014. 131: p. 229-235.
- [18] Gu, Y. and C. Tao, *Ultra-high cycle fatigue behavior of DZ125 superalloy used in turbine blades*. 2016, Trans Tech Publications Ltd. p. 96-103.
- [19] Hill, M.D., D.P. Phelps, and D.E. Wolfe. *Corrosion resistant thermal barrier coating materials for industrial gas turbine applications*. 2009.
- [20] Khan, Z., et al., *Investigation of Intergranular Corrosion in 2nd stage gas turbine blades of an aircraft engine*. Engineering Failure Analysis, 2016. 68: p. 197-209.
- [21] Kirschner, M., et al. *Erosion testing of thermal barrier coatings in a high enthalpy wind tunnel*. 2014. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [22] Klocke, F., et al. *Results of Surface Integrity and Fatigue Study of PECM and PEO Processed γ -TiAl for Turbine Applications*. 2016. Elsevier B.V.
- [23] Kumar, A., et al. *Experimental validation of statistical algorithm for diagnosis of damage fault*. 2009.
- [24] Kumari, S., D.V.V. Satyanarayana, and M. Srinivas, *Failure analysis of gas turbine rotor blades*. Engineering Failure Analysis, 2014. 45: p. 234-244.
- [25] Liu, H., et al. *Fatigue crack growth of multiple load path structure under combined fatigue loading: Part II experiment study*. 2014. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [26] Ma, N.N., *Statistical analysis of the failure modes and causes of the failure blades of the aviation engine*. 2013. p. 2097-2100.
- [27] Mishra, R.K., et al., *Investigation of HP turbine blade failure in a military turbofan engine*. International Journal of Turbo and Jet Engines, 2015. 2015.
- [28] Naeem, M., *Implications of turbine erosion for an aero-engine's high-pressure-turbine blade's low-cycle-fatigue life-consumption*. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2009. 131(5).
- [29] Ogiriki, E.A., Y.G. Li, and T. Nikolaidis. *Prediction and analysis of impact of the oxidation on gas turbine creep life*. 2015. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [30] Ogiriki, E.A., Y.G. Li, and T. Nikolaidis, *Prediction and Analysis of Impact of Thermal Barrier Coating Oxidation on Gas Turbine Creep Life*. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2016. 138(12).
- [31] Pambudi, M.J., E.A. Basuki, and D.H. Prajitno. *Improving hot corrosion resistance of two phases intermetallic alloy α 2-Ti3Al/ γ -TiAl with enamel coating*. in AIP Conference Proceedings. 2017.
- [32] Shi, D.Q., et al., *Constitutive modelling and creep life prediction of a directionally solidified turbine blade under service loadings*. Materials at High Temperatures, 2015. 32(5): p. 455-460.
- [33] Sozańska, M., et al., *Degradation of microstructure after service in ZhS6K superalloy with diffusive aluminide coating*. 2012, Trans Tech Publications Ltd. p. 143-146.

- [34] Tong, J., et al., *Assessment of service induced degradation of microstructure and properties in turbine blades made of GH4037 alloy*. Journal of Alloys and Compounds, 2016. 657: p. 777-786.
- [35] Walter, K. and W. Greaves. *Life assessment of gas turbine components using nondestructive inspection techniques*. 1997. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [36] Wang, R., et al., *Thermomechanical fatigue failure investigation on a single crystal nickel superalloy turbine blade*. Engineering Failure Analysis, 2016. 66: p. 284-295.
- [37] Wanzek, H., *High-temperature corrosion on turbine rotor blades*. Praktische Metallographie/Practical Metallography, 2012. 49(9): p. 588-596.
- [38] Weser, S., et al. *Advanced experimental and analytical investigations on combined cycle fatigue (CCF) of conventional cast and single-crystal gas turbine blades*. 2011.
- [39] Woźny, P. and J. Błachnio, *Analysis of Damage Arising from Exploitation of the Aircraft*. Journal of Konbin, 2014. 32(1): p. 5-18.
- [40] Zhao, L. and P. Au. *The microstructure and high-temperature erosion behavior of an aluminide-coated turbine blade*. 2013.



PhD Eng. Henryk Borowczyk, Aircraft Engine Division, Air Force Institute of Technology, Warsaw. Research activities: Comprehensive diagnostics of turbine aircraft engines using information theory, mathematical identification methods of dynamic systems and artificial intelligence.



Prof. Józef Błachnio, Ph.D. Eng. is a researcher at the Air Force Institute of Technology. He has qualifications of the Ministry of Science and Higher Education in: aviation, aerospace, material engineering as well as machine construction and operation.



PhD Eng. Jarosław Spychała, is the head of the Aircraft Engine Division, Air Force Institute of Technology. Research activities: aircraft and helicopters.

SCOPUS JAKO META-ŹRÓDŁO WIEDZY O USZKODZENIACH ŁOPATEK TURBIN W ASPEKCIE PROJEKTOWANIA EKSPERTOWEGO SYSTEMU DIAGNOSTYCZNEGO

1. Wstęp

W ramach działalności statutowej w Zakładzie Silników Lotniczych Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych prowadzone są prace naukowo-badawcze nad nowoczesnymi kompleksowymi systemami diagnostycznymi lotniczych silników turbinowych. Wymagają one szerokiej wiedzy o konstrukcji i procesach eksploatacyjnych w tym degradacji i diagnozowaniu badanych obiektów.

Źródłem wiedzy są wyniki wieloletnich prac własnych pracowników ITWL [3, 5-11, 39] oraz dostępne publikacje innych autorów w czasopismach naukowych, referaty przedstawiane na konferencjach, raporty innych jednostek naukowo-badawczych oraz publikacje zwarte.

Ze względu na ogromną liczbę istniejących publikacji przeprowadzenie kwerendy źródeł w obszarze zainteresowania wymaga odwołania się do baz danych abstraktowych i/lub pełno-tekstowych. Doskonałym przykładem jest baza Scopus zawierająca ponad 100 mln rekordów danych.

W niniejszej pracy przedstawiono koncepcję wykorzystania bazy Scopus jako meta-źródła wiedzy o procesach degradacji łopatek turbin. Umożliwia to wielodzielnicową i wieloaspektową identyfikację źródeł wiedzy niezbędnych w procesie projektowania inteligentnych systemów diagnostycznych.

2. Baza Scopus jako meta-źródło wiedzy o eksploatacyjnej degradacji elementów silnika turbinowego

Baza Scopus zawiera dane bibliograficzno-abstraktowe obejmujące cztery podstawowe obszary publikacyjne [<https://www.elsevier.com/solutions/scopus>]:

- czasopisma naukowe – ponad 25000 czasopism zamieszczających artykuły recenzowane (w tym open access) pochodzące od 5000 wydawców;
- książki – ponad 113000 książek ;
- referaty konferencyjne – ponad 7 mln referatów z ok. 90000 konferencji;
- patenty - ok. 27 mln .

Dla potrzeb prac realizowanych w ramach działalności statutowej ITWL przeprowadzono kwerendę bazy Scopus głównie w dwóch obszarach: artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych oraz referatów zamieszczonych w wydawnictwach konferencyjnych.

Przegląd publikacji ograniczono do zakresu określonego ogólnym hasłem „turbine engine” a następnie doprecyzowano przeszukiwanie wprowadzając hasła szczegółowe mieszczące się w obszarze procesów degradacji elementów systemów maszyn wirnikowych (turbin, sprężarek,...) z uwzględnieniem ich konstrukcji, technologii wytwarzania i naprawy oraz metod diagnozowania.

Kolejnym etapem było przeprowadzenie „ręcznej” klasyfikacji istotności poszczególnych publikacji z punktu widzenia prac realizowanych w ITWL. Dla każdej publikacji określono wskaźnik istotności z zakresu [0,5].

Wykorzystując oprogramowanie EndNote w trybie pół-automatycznym wyznaczono grupy publikacji dotyczących zagadnień szczegółowych co ułatwia wykorzystanie wyników kwerendy w procesie tworzenia bibliografii zagadnień częściowych.

3. Analiza statystyczna publikacji zawartych w bazie Scopus (dostęp on-line 19.07.2016r)

Poniżej przedstawiono wybrane wyniki analizy statystycznej publikacji zawartych w bazie Scopus, których wskaźnik istotności jest większy od 2.

Tab. 1 Rodzaj publikacji (16148)

book (książka)	27
book section (rozdział książki)	74
conference proceedings (publikacje konferencyjne)	7608
journal article (artykuł w czasopiśmie)	7953
report (raport z badań)	42
serial wydawnictwo ciągłe)	444

Tab. 2 Obiekty badań – ogólne (15890)

alloy (stop)	1723
barrier (bariera)	647
blade (łopatka)	4164
casing (kadłub)	397
chamber (komora)	644
coating (pokrycie)	1290
coating barrier (bariera ochronna)	629
compressor (sprężarka)	2183
disk (tarcza)	840
gas path (kanał przepływowy)	369
microstruct (mikrostruktura)	775
model (model)	5747
rotor (wirnik)	2310
shaft (wał)	905
structure (struktura)	2540
surface (powierzchnia)	2312
system (system)	6856
tbc (pokrycie ochronne)	200
turbine (turbina)	14261
turbine engine (silnik turbinowy)	5321
turboshaft (turbowalowy)	153
vane (aparat kierujący)	49

Scopus as a meta-source of knowledge about turbine blade damage in the aspect...
Scopus jako meta-źródło wiedzy o uszkodzeniach łopatek turbin w aspekcie...

Tab. 3 Obiekty badań – szczegółowe

compressor blade (łopatka sprężarki)	755
compressor disk (tarcza sprężarki)	83
compressor rotor (wirnik sprężarki)	73
combustion chamber (komora spalania)	2879
turbine blade (łopatka turbiny)	1909
turbine disc (tarcza turbiny)	355
turbine rotor (wirnik turbiny)	153

Tab. 4 Degradacja (6942)

abrasion (abrazja)	151
corrosion (korozja)	690
crack (pęknięcie)	1049
creep (pełzanie)	614
damage (uszkodzenie)	1460
debris (cząstki)	153
defect (defekt)	466
degradation (degradacja)	770
delamination (delaminacja)	64
deposition (osad)	339
deterioration (pogorszenie)	296
erosion (erozja)	355
failure (niezadziałanie)	1515
fatigue (zmęczenie)	1644
fault (defekt)	1046
fod (uszkodzenie przez ciało obce)	156
fracture (złamanie)	538
fretting (zużycie ciernokorozyjne)	120
overheat (przegrzanie)	41
vibration (drgania)	1310
wear (zużycie)	888

Tab. 5 Diagnostyka (6570)

condition monitor (monitorowanie stanu)	280
detection (wykrywanie)	820
detection fault (wykrywanie uszkodzeń)	240
diagnosis (diagnoza)	464
diagnostic (diagnostyczny)	983
early (wczesny)	787
failure analysis (analiza uszkodzeń)	145
gas path analysis (analiza kanału przepływowego)	93
inspection (inspekcja, przegląd)	441
isolation (wyodrębnienie)	150
monitoring (monitorowanie)	1155
prediction (przewidywanie)	1692

Tab. 6 Sztuczna inteligencja (1600)

artificial (sztuczny)	246
decision (decyzja)	314
expert (ekspert)	241
expert system (system ekspercki)	90
intelligent (inteligentny)	206
knowledge (wiedza)	719
learning (uczenie)	115
reasoning (wnioskowanie)	63

4. Scopus jako meta-źródło wiedzy o uszkodzeniach łopatek turbin

Poniżej przedstawiono przykład kwerendy w bazie Scopus umożliwiającej wyszukanie publikacji dotyczących uszkodzeń łopatek turbin.

TITLE-ABS-KEY ("turbine blade" AND NOT "wind turbine")
AND
(LIMIT-TO (LANGUAGE , "English ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "Russian ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "German ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "French ") OR

LIMIT-TO (LANGUAGE , "Polish ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , "Czech ") OR
LIMIT-TO (LANGUAGE , " Undefined "))
AND
(LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fatigue Of Materials") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Creep") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Cracks") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Oxidation") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Corrosion") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Erosion") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Failure Analysis") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Crack Propagation") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fracture") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Experimental Investigations") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Nondestructive Examination") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Repair") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fatigue Testing") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Fatigue") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Corrosion Resistance") OR
LIMIT-TO (EXACTKEYWORD , "Operating Condition"))

Wykorzystano następujące pola:

- TITLE-ABS-KEY – pole złożone umożliwiające równoległe przeszukiwanie pól: Title, Abstract i Keyword;
- LANGUAGE – język publikacji;
- EXACTKEYWORD – dokładna wartość pola Keyword.

Operator LIMIT-TO z opcją LANGUAGE ogranicza przeszukiwanie do publikacji wydanych w określonych językach.

Operator LIMIT-TO z opcją EXACTKEYWORD ogranicza przeszukiwanie do publikacji opisanych wybranym słowem kluczowym.

Przedstawiona wyżej przykładowa kwerenda obejmuje podstawowe przyczyny uszkodzeń łopatek turbin:

- korozja (corrosion) [19, 20, 31, 33, 37] ...;
- pęknięcia (cracks) [1, 2, 13, 24, 25] ...;
- pełzanie (creep) [29, 30, 32, 34] ...;
- erozja (erosion) [14, 21, 28, 40] ...;
- zmęczenie (fatigue) [15, 16, 18, 22] ...;

oraz metody badawcze:

- badania eksperymentalne (experimental investigations) [12, 15, 23, 38] ...;
- analiza uszkodzeń (failure analysis) [24, 26, 27, 36] ...;
- badania nieniszczące (nondestructive examination) [4, 17, 35] ...

W zależności od liczności zbioru wyszukanych publikacji dalsza analiza może być przeprowadzona przez eksperta bezpośrednio lub z wykorzystaniem aplikacji bibliograficznych (np. Mendeley lub EndNote).

Zaletą bazy Scopus jest możliwość zapisywania wykorzystanych kwerend oraz generowanie alertów o nowych publikacjach spełniających kryteria kwerendy. Dzięki temu baza publikacji jest ciągle aktualizowana.

5. Podsumowanie

Wykorzystanie bazy Scopus jako meta-źródła wiedzy o uszkodzeniach łopatek turbin umożliwia racjonalną klasyfikację i dekompozycję problemów naukowo-badawczych związanych z projektowaniem i realizacją ekspertowych systemów diagnostycznych łopatek.

Wiedza o procesach degradacji łopatek podczas eksploatacji stanowi podstawę do wyznaczenia modeli fenomenologicznych a następnie modeli formalnych przygotowanych do zaimplementowania w systemie ekspertowym.

Wiedza dotycząca metod diagnozowania łopatek jest niezbędna do syntezy zbioru reguł wnioskowania – głównego modułu regułowego systemu ekspertowego.

Zaproponowane podejście umożliwia naukowe i techniczne wsparcie syntezy ekspertowych systemów diagnostycznych elementów maszyn wirnikowych.

6. Literatura

- [1] Abbas, M. and G.J. Vachtsevanos. *A system-level approach to fault progression analysis in complex engineering systems*. in *Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, PHM 2009*. 2009.
- [2] Bano, N., A. Fahim, and M. Nganbe. *Fatigue crack initiation life prediction of IN738 using artificial neural network*. 2010.
- [3] Błachnio, J. and M. Bogdan, *A non-destructive method to assess condition of gas turbine blades, based on the analysis of blade-surface images*. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2010. 46(11): p. 860-866.
- [4] Błachnio, J., *Analysis of technical condition assessment of gas turbine blades with non-destructive methods*. *Acta Mechanica et Automatica*, 2013. 7(4): p. 203-208.
- [5] Błachnio, J., *Capabilities to assess health/maintenance status of gas turbine blades with non-destructive methods*. *Polish Maritime Research*, 2014. 21(4): p. 41-47.

- [6] Błachnio, J., *The effect of changing loads affecting the martensite steel on its structure and the Barkhausen noise level*. NDT and E International, 2008. 41(4): p. 273-279.
- [7] Błachnio, J., *The effect of high temperature on the degradation of heat-resistant and high-temperature alloys*, in *Solid State Phenomena*. 2009. p. 744-751.
- [8] Błachnio, J., M. Bogdan, and D. Zasada, *Increased temperature impact on durability of gas turbine blades*. Eksploatacja i Niezawodność, 2017. 19(1): p. 48-53.
- [9] Błachnio, J., J. Dutkiewicz, and A. Salamon, *The effect of cyclic deformation in a 13% Cr ferritic steel on structure and Barkhausen noise level*. Materials Science and Engineering A, 2002. 323(1-2): p. 83-90.
- [10] Błachnio, J., et al., *Assessment of technical condition demonstrated by gas turbine blades by processing of images for their surfaces*. Journal of Konbin, 2012. 21(1): p. 41-50.
- [11] Błachnio, J., et al., *The attempt to assess the technical condition of a gas turbine blade when information on its operating condition is limited*. Journal of Konbin, 2014. 30(1): p. 75-86.
- [12] Bonnard, V., D. Pacou, and F. Gallerneau, *Fatigue of anisotropic materials - A new experimental device for multiaxial thermo-mechanical fatigue*. Materialprüfung/Materials Testing, 2004. 46(6): p. 301-305.
- [13] Carter, B.J., et al., *Three-dimensional simulation of fretting crack nucleation and growth*. Engineering Fracture Mechanics, 2012. 96: p. 447-460.
- [14] Cernuschi, F., et al., *Solid particle erosion of standard and advanced thermal barrier coatings*. Wear, 2016. 348-349: p. 43-51.
- [15] Ding, J., et al., *Fatigue crack growth from foreign object damage under combined low and high cycle loading. Part I: Experimental studies*. International Journal of Fatigue, 2007. 29(7): p. 1339-1349.
- [16] Dionne, S., T. Lang, and J. Li. *Examination of fatigue crack origins in aircraft turbine blades using serial sectioning techniques*. 2009.
- [17] Gao, C., W.Q. Meeker, and D. Mayton, *Detecting cracks in aircraft engine fan blades using vibrothermography nondestructive evaluation*. Reliability Engineering and System Safety, 2014. 131: p. 229-235.
- [18] Gu, Y. and C. Tao, *Ultra-high cycle fatigue behavior of DZ125 superalloy used in turbine blades*. 2016, Trans Tech Publications Ltd. p. 96-103.
- [19] Hill, M.D., D.P. Phelps, and D.E. Wolfe. *Corrosion resistant thermal barrier coating materials for industrial gas turbine applications*. 2009.
- [20] Khan, Z., et al., *Investigation of Intergranular Corrosion in 2nd stage gas turbine blades of an aircraft engine*. Engineering Failure Analysis, 2016. 68: p. 197-209.
- [21] Kirschner, M., et al. *Erosion testing of thermal barrier coatings in a high enthalpy wind tunnel*. 2014. American Society of Mechanical Engineers (ASME).

- [22] Klocke, F., et al. *Results of Surface Integrity and Fatigue Study of PECM and PEO Processed γ -TiAl for Turbine Applications*. 2016. Elsevier B.V.
- [23] Kumar, A., et al. *Experimental validation of statistical algorithm for diagnosis of damage fault*. 2009.
- [24] Kumari, S., D.V.V. Satyanarayana, and M. Srinivas, *Failure analysis of gas turbine rotor blades*. Engineering Failure Analysis, 2014. 45: p. 234-244.
- [25] Liu, H., et al. *Fatigue crack growth of multiple load path structure under combined fatigue loading: Part II experiment study*. 2014. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [26] Ma, N.N., *Statistical analysis of the failure modes and causes of the failure blades of the aviation engine*. 2013. p. 2097-2100.
- [27] Mishra, R.K., et al., *Investigation of HP turbine blade failure in a military turbofan engine*. International Journal of Turbo and Jet Engines, 2015. 2015.
- [28] Naeem, M., *Implications of turbine erosion for an aero-engine's high-pressure-turbine blade's low-cycle-fatigue life-consumption*. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2009. 131(5).
- [29] Ogiriki, E.A., Y.G. Li, and T. Nikolaidis. *Prediction and analysis of impact of the oxidation on gas turbine creep life*. 2015. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [30] Ogiriki, E.A., Y.G. Li, and T. Nikolaidis, *Prediction and Analysis of Impact of Thermal Barrier Coating Oxidation on Gas Turbine Creep Life*. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 2016. 138(12).
- [31] Pambudi, M.J., E.A. Basuki, and D.H. Prajitno. *Improving hot corrosion resistance of two phases intermetallic alloy α 2-Ti3Al/ γ -TiAl with enamel coating*. in *AIP Conference Proceedings*. 2017.
- [32] Shi, D.Q., et al., *Constitutive modelling and creep life prediction of a directionally solidified turbine blade under service loadings*. Materials at High Temperatures, 2015. 32(5): p. 455-460.
- [33] Sozańska, M., et al., *Degradation of microstructure after service in ZhS6K superalloy with diffusive aluminide coating*. 2012, Trans Tech Publications Ltd. p. 143-146.
- [34] Tong, J., et al., *Assessment of service induced degradation of microstructure and properties in turbine blades made of GH4037 alloy*. Journal of Alloys and Compounds, 2016. 657: p. 777-786.
- [35] Walter, K. and W. Greaves. *Life assessment of gas turbine components using nondestructive inspection techniques*. 1997. American Society of Mechanical Engineers (ASME).
- [36] Wang, R., et al., *Thermomechanical fatigue failure investigation on a single crystal nickel superalloy turbine blade*. Engineering Failure Analysis, 2016. 66: p. 284-295.

Scopus as a meta-source of knowledge about turbine blade damage in the aspect...
Scopus jako meta-źródło wiedzy o uszkodzeniach łopatek turbin w aspekcie...

- [37] Wanzek, H., *High-temperature corrosion on turbine rotor blades*. Praktische Metallographie/Practical Metallography, 2012. 49(9): p. 588-596.
- [38] Weser, S., et al. *Advanced experimental and analytical investigations on combined cycle fatigue (CCF) of conventional cast and single-crystal gas turbine blades*. 2011.
- [39] Woźny, P. and J. Błachnio, *Analysis of Damage Arising from Exploitation of the Aircraft*. Journal of Konbin, 2014. 32(1): p. 5-18.
- [40] Zhao, L. and P. Au. *The microstructure and high-temperature erosion behavior of an aluminide-coated turbine blade*. 2013.



Dr inż. Henryk Borowczyk, Zakład Silników Lotniczych, Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych, Warszawa. Działalność naukowo-badawcza: kompleksowa diagnostyka lotniczych silników turbinowych z wykorzystaniem teorii informacji, metod identyfikacji matematycznych modeli układów dynamicznych i sztucznej inteligencji.



Prof. dr hab. inż. Józef Błachnio, pracownik naukowy Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, specjalista w dziedzinie lotnictwa, inżynierii materiałowej, w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn.



Dr inż. Jarosław Spychała jest absolwentem Wojskowej Akademii Technicznej (1987) – specjalność samoloty i śmigłowce. Pracę w ITWL rozpoczął w 1988 r. Od 2004 r. w ITWL pełni funkcję kierownika Zakładu Silników Lotniczych.