

*Jacek Bieranowski
Katedra Elektrotechniki i Energetyki
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie*

KRYTERIA WYBORU ZESPOŁÓW FUNKCJONALNYCH W ASPEKCIE BUDOWY MODELU ABSTRAKCYJNEGO MASZYNY TETRA-PAK

Streszczenie

W pracy zaprezentowano model abstrakcyjny maszyny do pakowania produktów spożywczych w opakowania z kartono-folii. Podjęto próbę sformułowania kryterium obiektywizującego proces agregowania komponentów systemu przedmiotowego w zbiór elementów modelu relacyjnego. Zrealizowany model relacyjny jest bazą budowy modelu matematycznego i symulacyjnego funkcjonowania maszyny systemu Tetra Pak.

Słowa kluczowe: maszyny przemysłu spożywczego, eksploatacja maszyn, modelowanie systemów technicznych, maszyny Tetra Pak

Wprowadzenie

Modelowanie symulacyjne w badaniach i doskonaleniu eksploatacji maszyn przemysłu spożywczego powinno uwzględniać obiektywne kryteria zarówno przy budowie modelu jak i wnioskowaniu. Podczas realizacji modelu abstrakcyjnego istotny jest proces agregacji obiektów systemu w elementy modelu relacyjnego [Bieranowski i in. 1983, Bieranowski 2003].

Dotychczas brak jest metod obiektywizujących ten proces. W pracy podjęto próbę wyznaczenia kryteriów obiektywizujących proces odwzorowania zbioru obiektów systemu przedmiotowego w zbiór elementów modelu matematyczno-logicznego. Zbudowany model będzie służył do syntezy struktury niezawodnościowej i symulacyjnych badań eksploatacyjnych maszyny Tetra-Pak.

Przedmiotem badań jest maszyna TBA/8 do pakowania ciekłych produktów spożywczych w opakowania z kartono-folii w systemie Tetra-Pak. Opakowania te stanowią istotną część rynku napojów owocowych i mleczarskich (mleko, śmietana itp.). Ze względu na wysoką wydajność, liczne zastosowania, ale też duże koszty zakupu maszyny tego typu powinny odznaczać się wysokim poziomem niezawodności i jakości produkcji. Dlatego istotne jest przeprowadzenie szerokich badań zmierzających do poprawienia niezawodności eksploatacyjnej tych maszyn. Budowanie modeli abstrakcyjnych obiektów technicznych i realizacja badań symulacyjnych danego modelu znacznie zmniejszają koszty badań w warunkach naturalnych i umożliwiają dokonywanie szerokich analiz niezawodności, trwałości i jakości [Bieranowski i in. 1983, Bieranowski 2000, 2003]

Cel i zakres pracy

Celem pracy jest:

- ustalenie kryterium formalnego obiektywizującego proces agregacji komponentów systemu przedmiotowego w zbiór elementów modelu relacyjnego na przykładzie zespołów funkcjonalnych maszyny pakującej (Tetra-Pak),
- zbudowanie modelu abstrakcyjnego dla grupy maszyn Tetra-Pak wykorzystywanych do pakowania ciekłych produktów spożywczych (mleko, śmietana, maślanka, soki owocowe i warzywne) w pojemniki z kartono-folii.

Zakres pracy obejmuje identyfikację zbioru zespołów funkcjonalnych maszyny pakującej oraz opracowanie metodyki obiektywizującej proces agregacji tego zbioru w zbiór elementów modelu relacyjnego będącego punktem wyjścia do budowy sformalizowanego modelu matematycznego na przykładzie maszyny systemu Tetra-Pak typu TBA/8.

Metodyka

Maszyna TBA/8 zbudowana jest z 8 zasadniczych zespołów funkcjonalnych i ok. 80 podzespołów roboczych. Zatem analityczna synteza struktury niezawodnościowej jest skomplikowana i trudna do realizacji. Wielokrotnie wykazano [Bieranowski 2000], że zastosowanie modelowania symulacyjnego pozwala istotnie uprościć badania i uczynić je efektywnymi.

System obsługi technicznej maszyny złożony jest z remontów przeglądowych (zorientowanych na ocenę stanu technicznego) i remontów normowanych. Ta ostatnia metoda jest efektywna, ale droga – normatywnie są wymieniane elementy grzejne i niektóre elementy robocze formowania opakowania.

Model relacyjny M^R systemu przedmiotowego można określić jako dwójkę uporządkowaną $M^R = \langle \sigma^E, R^E \rangle$ zbioru elementów σ^E i relacji między tymi elementami opisanymi na zbiorze kartezjańskim $R^E \subset \sigma^E \times \sigma^E$. Przy czym, istotny jest sposób odwzorowania, a w szczególności agregacji zbioru czynników istotnych σ^I w zbiór elementów modelu relacyjnego σ^E . Odwzorowanie to odbywa się arbitralnie i wynika, na ogół z doświadczenia analityka-problemisty.

W celu obiektywizacji procesu agregacji utworzono wagi $W = \{w_i\}_{i=1}^V$ wyrażające funkcję ważności danego zespołu funkcjonalnego w realizacji zadań systemu przedmiotowego i odpowiadające przyjętej skali punktowej: $w_i \in [0, 5]$. Każdemu zespołowi funkcjonalnemu przypisano punktację z_j w zależności od tego jaki wpływ ma dana grupa na spełnienie przez maszynę przyjętego kryterium wyboru S_k :

$$S_k = \sum_{i,j} w_i z_{ji} \quad (1)$$

gdzie: S_k – kryterium wyboru.

Według powyższej metodyki zrealizowano, odwzorowanie $\sigma_{(I)} \rightarrow \sigma_{(E)}$ dla maszyny Tetra-Pak TBA/8 do aseptycznego pakowania płynnych produktów spożywczych w opakowania z kartono-folii. W maszynie wyróżniono zbiór zespołów funkcjonalnych Zp_i , które wraz z podzbiorami podzespołów zpp_k tworzą zbiór czynników istotnych (komponentów) systemu $\sigma_{(I)}$:

$$\sigma_{(I)} = \left\{ Zp_i \left\{ zpp_k \right\}_{k=1}^K \right\}_{i=1}^V \quad (2)$$

Wyróżniono $I = 8$ zespołów, a zbiór $\sigma_{(I)}$ ma następującą postać:

$$\sigma_{(I)} = \{ \mathbf{NAD} \{FR, OS, KL, GG_1, GG_2, KO, WA, ZL, UW, USP, UNW\}, \mathbf{ZE-S} \{UCS, UH, PZ, SP\}, \mathbf{UN} \{UKR, WP, R, MPR, NI, UL\}, \mathbf{ZSZ} \{JAR, MKR, LP, SKP, JKP, ZSZ, MŚ\}, \mathbf{SKF} \{POD, DSE, WY, NST, KS, SZA, GKK, SDO, USS\}, \mathbf{SAP} \{AP_1, DP, PP_1, PP_2, CMS, MP, RD\}, \mathbf{JAK} \{UZG, JA, JN, JD\}, \mathbf{JPT} \{ANA, PS, AP_2, JST, SPN, WN, WNN\}, \mathbf{JPT} \{ANA, PS, AP_2, JST, SPN, WN, WNN\} \} \quad (3)$$

gdzie:

NAD – zespół nadbudowy:

FR – formowanie tuby, **OS** – osuszacz, **KL** – kolumna, **GG₁** – grzałka gorącego powietrza spoiny podłużnej krótkiego zatrzymania, **GG₂** – grzałka gorącego powietrza spoiny podłużnej, **KO** – kompresor, **WA** – wanna z H₂O₂, **ZL** – zespół łączący, **UW** – układ wentylacyjny, **USP** – układ sterylności powietrza, **UNW** – układ doprowadzenia H₂O₂,

ZES – zespół serwisowy:

UCS – układ centralnego sterowania, **UH** – układ hydrauliczny, **PZ** – panel z zaworami, **SP** – sekcja przepływomierzy,

UN – układ napędowy:

UKR – układ krzywek, **WP** – wał pośredni, **R** – ramię, **MPR** – mechanizm przytrzymujący, **NI** – nadajnik impulsów, **UL** – układ łączący,

ZSZ – zespół szczęk:

JAR – jarzmo, **MKR** – mechanizm korekcji wzoru, **ŁP** – łąpa pojemnościowa, **SKP** – sekcja krzywki pojemnościowej, **JKP** – jednostka ko-du paskowego, **ZSZ** – podzespół szczęk, **MŚ** – mechanizm ściągający,

SKF – stacja końcowego formowania:

POD – podajnik, **DSE** – dolna sekcja, **WY** – wyrzutnik, **NST** – nadbudowa stacji, **KS** – koło stacji, **SZA** – sekcja zaginająca, **GKK** – grzałka końcowego klejenia, **SDO** – sekcja dociskowa, **USS** – układ smarowania stacji,

SAP – sekcja aplikatora paska:

AP₁ – aplikator paska, **DP** – dolna płyta, **PP₁** – prowadnica papieru, **PP₂** – prowadnica paska, **CMS** – czujnik miejsca sklejenia paska, **MP** – magazyn paska, **RD** – rolka dociskowa,

JAK – jednostka automatycznego klejenia:

UZG – urządzenie zgrzewające, **JA** – jednostka atramentowa, **JN** – jednostka napędowa, **JD** – jednostka datownika,

JPT – jednostka PullTab:

ANA – aplikator nakładki aluminiowej, **PS** – pulpit sterujący, **AP₂** – aplikator plastikowego paska, **JST** – jednostka stempla, **SPN** – szafa pneumatyczna, **WN** – wałek napędowy, **WNN** – wałek naciągowy napinający.

Proces agregowania zbioru komponentów $\sigma_{(I)}$ w zbiór elementów modelu relacyjnego $\sigma_{(E)}$ przeprowadzono w oparciu o kryteria wyboru S_k dla których wartości bazowe przedstawiono w tabeli 1. W rezultacie otrzymano następujący zbiór elementów modelu relacyjnego:

$$\sigma_{(E)} = \{FR_E, WA_E, SP_E, UKR_E, ZSZ_E, KS_E, AP_{1E}, UZG_E, ANA_E\} \quad (4)$$

gdzie:

FR_E – formowanie tuby, WA_E – wanna z H_2O_2 , SP_E – sekcja przepływomierzy, UKR_E – układ krzywek, ZSZ_E – zespół szczęk, KS_E – koło stacji, AP_{1E} – aplikator paska, UZG_E – urządzenie zgrzewające, ANA_E – aplikator nakładki aluminiowej.

Ilustrację graficzną odwzorowania zbioru $\sigma_{(I)}$ w zbiór $\sigma_{(E)}$ z uwzględnieniem zbioru pośredniego $\sigma_{(G)}$ (zbiór obiektów głównych systemu) przedstawiono na rys. 1. Na rysunku pokazano operację odwzorowania dla pierwszych trzech zespołów maszyny. W taki sam sposób zrealizowano proces odwzorowania dla pozostałych 5 zespołów funkcjonalnych.

Strukturę relacyjną modelu maszyny można przedstawić w postaci macierzy zero-jedynkowej $[a_{ij}]$, gdzie i, j – numer elementu modelu: $i, j = 1 \Rightarrow FR_E$ (formowanie tuby); $i, j = 2 \Rightarrow WA_E$ (zespół wanny); $i, j = 3 \Rightarrow SP_E$ (zespół przepływomierzy); $i, j = 4 \Rightarrow UKR_E$ (zespół krzywek); $i, j = 5 \Rightarrow ZSZ_E$ (zespół szczęk); $i, j = 6 \Rightarrow KS_E$ (koło stacji); $i, j = 7 \Rightarrow AP_1$ (aplikator paska); $i, j = 8 \Rightarrow UZG_E$ (urządzenie zgrzewające); $i, j = 9 \Rightarrow ANA_E$ (aplikator nakładki aluminiowej):

$$[a_{i,j}] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Identyfikacja relacji między elementami modelu jest podstawą poprawnego zbudowania symulatora maszyny. Niezbędna jest również identyfikacja zbioru cech (atrybutów) charakteryzujących każdy element modelu relacyjnego. Zbiór ten określono następująco:

$$C = \{C_i^n\}_{i=1, n=1}^{U, N} \quad (6)$$

gdzie: C_i^n - i -ta cecha n -tego elementu modelu.

Wyróżniono następujące cechy wspólne dla wszystkich elementów modelu:

$i = 1$: zmienna losowa: czas pracy między uszkodzeniami,

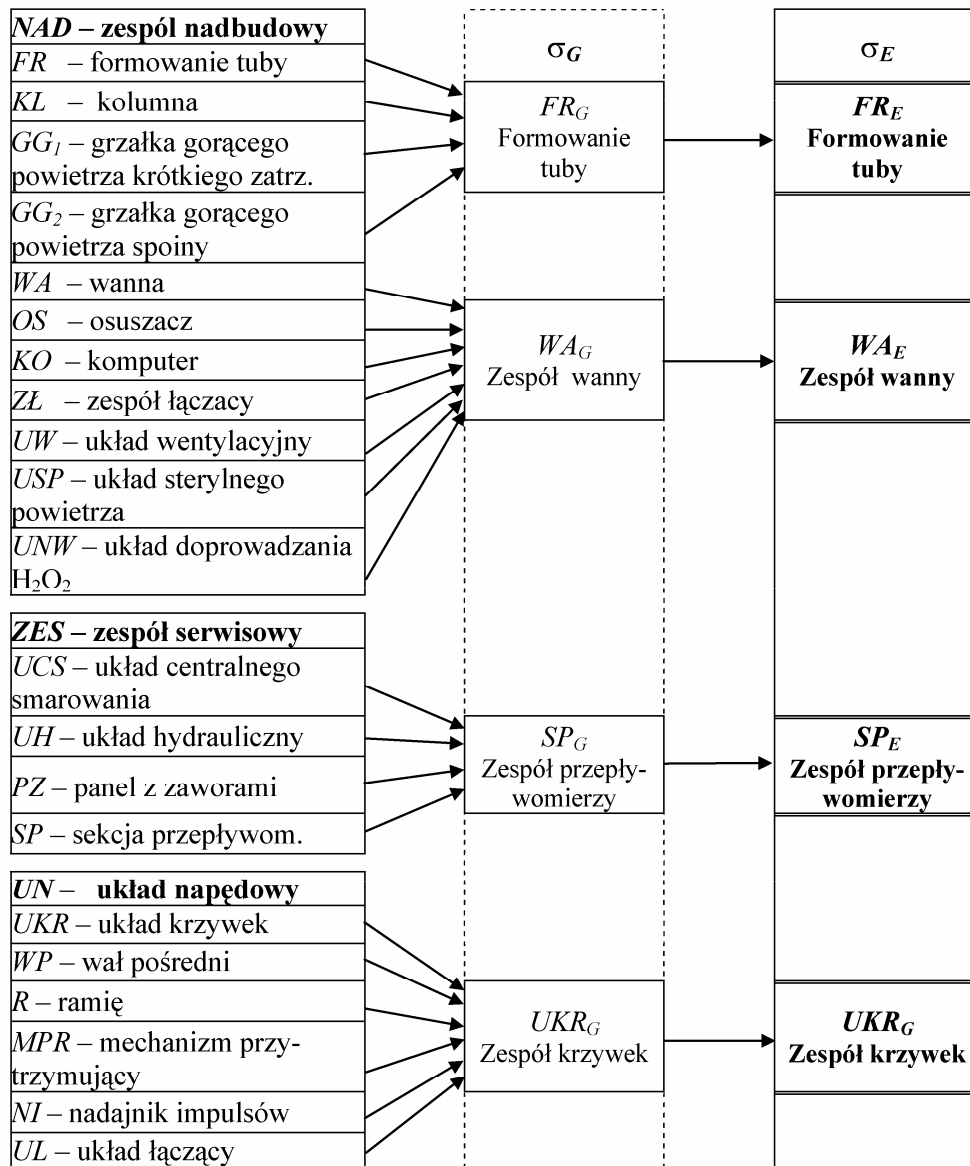
$i = 2$: zmienna losowa: czas naprawy,

$i = 3$: trwałość elementu,

$i = 4$: niezawodność elementu.

Tabela 1. Klasyfikacja zespołów funkcjonalnych maszyny Tetra-Pak TBA/8 według przyjętego kryterium wyboru – wzór nr 2
 Table 1. Classification of functional units of Tetra-Pak machine TBA/8 according to adoption of choice criterion – formula 2

Kryteria wyboru zespołów funkcjonalnych. Zespół funkcjonalny	Stopień złożoności konstr. ($w_1 = 3$)	Przebieg między-naprawy ($w_2 = 3$)	Wytrzymałość opakowania ($w_3 = 5$)	Czas przecho-wywania produktu ($w_4 = 5$)	Stopień koordynacji procesu ($w_5 = 5$)	Rodzaj wykonyw. opakowania ($w_6 = 1$)	Suma punktów
1	2	3	4	5	6	7	8
Nadbudowa (z_{1i})	5	4	4	5	0	0	72
Układ szereg (z_{2i})	4	2	5	4	3	0	70
Układ napędowy (z_{3i})	3	5	0	0	5	0	53
Jednostka PullTab (z_{4i})	3	2	4	2	0	5	53
Stacja końc. formowania (z_{5i})	4	1	4	3	0	0	52
Wyposaż. elektryczne (z_{6i})	2	4	0	0	5	0	49
Aplikator paska (z_{7i})	2	2	4	2	0	0	48
Zespół serwisowy (z_{8i})	3	4	0	4	0	0	40
Jedn. autom. klejenia (z_{9i})	3	4	0	0	1	0	30



Rys. 1. Graficzny obraz operacji odwzorowania zbioru czynników istotnych w zbiór elementów modelu relacyjnego dla zespołów: nadbudowy (NAD), zespołu serwisowego (ZES) i zespołu napędowego (UN)

Fig. 1. Graphical presentation of mapping of the set of fundamentals factors into the set of relational model elements for superstructure unit (NAD), service unit (ZES) and power unit (UN)

Podsumowanie Przedstawiono metodykę umożliwiającą obiektywizację tworzenia zbioru elementów modelu relacyjnego poprzez identyfikację kryterium wyboru zespołów funkcjonalnych. Wykorzystując tę metodykę zbudowano model relacyjny maszyny do pakowania produktów płynnych w opakowania z kartono-folii. W takiej formie model relacyjny stanowi punkt wyjścia do budowy modelu matematycznego i symulatora użytkowania i obsługi maszyny Tetra Pak. Ostatecznym celem badań jest synteza struktury niezawodnościowej maszyny TBA/8 oraz prognozowanie efektywnego czasu pracy maszyny.

Bibliografia

Bieranowski J., Katewicz Z., Wieremiiejczyk W. 1983. Model teoriomno-gościowy Zintegrowanego Systemu Obsługi Technicznej. Roczn. Nauk Rol. PAN, s. C. T 75/4. PWN, Warszawa: 9-23.

Bieranowski J. 2000. Use computer simulation methods to researches of maintenance system in creamery industry. Międzynarodnaja Techniczeskaja Konferencija BALTTECHMASZ – 2000. Kaliningrad. Sbornik naucznych statiej, s. 135-138.

Bieranowski J. 2003. Model systemu utrzymania wybranych maszyn przemysłu rolno-spożywczego. Inżynieria Rolnicza. Warszawa, 1(43), s. 32-35.

SELECTION CRITERIA OF FUNCTIONAL ASSEMBLIES IN THE CONSTRUCTION ASPECT OF A TETRA-PAK MACHINE ABSTRACT MODEL

Summary

The work presents an abstract model of a machine for packing food products into cardboard and foil packages. This was an attempt to formulate a criterion introducing objectivity to the process of aggregating the said system's components into a set of relational model elements. The implemented relation model is the basis for constructing a mathematical and simulation model of a Tetra-Pak system machine operation.

Key words: food production machines, machine operation, modeling technological systems, Tetra-Pak machinery