

JANUSZ JAWORSKI

PROBA CYBERNETYCZNEJ INTERPRETACJI PROBLEMU ZAPASÓW NA PRZYKŁADZIE HUTY ŻELAZA

Człowiek zaspokaja swoje różnorodne potrzeby materialne poprzez konsumpcję odpowiednich dóbr, które powstają w wyniku działalności produkcyjnej. Liczne względy natury fizjologicznej, psychologicznej itp. sprawiają, że zapotrzebowanie indywidualnego człowieka czy zbiorowości ludzkich na te dobra ma określoną rytmikę. Z drugiej strony działalnością produkcyjną rządzą prawa, w wyniku których dobra ekonomiczne osiągną stan pełnej gotowości do konsumpcji, również z określoną rytmiką. Ponieważ w praktyce ta ostatnia jest najczęściej różna od rytmiki zapotrzebowania, człowiek tworzy odpowiednie zapasy (w tym przypadku wyrobów gotowych), dzięki którym jego konsumpcja indywidualna i społeczna uniezależnia się od zmienności w zakresie produkcji.

Działalność produkcyjna przebiega zawsze w ramach pewnego układu gospodarczego (systemu realizującego ustalone zadania gospodarcze). Na działalność tę składa się cały szereg prostszych procesów, występujących z kolei w odpowiednich częściach tego układu (podsystemach). Podsystemy te są z sobą sprzężone w różnorodny sposób, jednakże są zarazem „autonomiczne” w tym sensie, że w każdym z nich działają specyficzne prawa. W przypadku interesujących nas w tym opracowaniu systemów realizujących zadania gospodarcze najważniejsze są sprzężenia zasileniowe wyrażające się przepływem przedmiotów pracy w różnych fazach przetwarzania między tymi podsystemami. Natomiast wspomniana autonomia podsystemów wyraża się m. in. w tym, że poszczególne podsystemy charakteryzują się określonymi wielkościami i częstościami zapotrzebowań na szeroko pojęty „materiał wsadowy” oraz określonymi wielkościami i częstościami uzyskiwania produkcji gotowej do przekazania kolejnemu podsystemowi.

Najczęściej rytmika, z jaką przedmioty pracy opuszczają kolejne podsystemy, jest różna od rytmiki zapotrzebowań podsystemów następných w siatce sprzężeń. Np. spust surówki z wielkiego pieca odbywa się około 4 godzin, natomiast wytop stali w konwertorze tlenowym trwa około 45 minut, z kolei zapotrzebowanie walcowni wstępnej na wlewki jest

niemal ciągle w czasie itd. Ponadto wielkości i częstości zapotrzebowań oraz uzyskiwania efektów produkcyjnych są zmiennymi losowymi i to niejednokrotnie współzależnymi. Wszystko to sprawia, że konieczne uniezależnienie poszczególnych stadiów produkcji od systematycznych i losowych wahań stadiów wcześniejszych osiągnąć można praktycznie tylko przez stworzenie odpowiedniego systemu zapasów produkcji nie zakończonej (tj. produkcji w toku i półfabrykatów). W przypadku wymienionych wydziałów huty żelaza funkcję transformowania rytmiki spustów surówki na rytmikę zapotrzebowania na surówkę pełni przede wszystkim zapas surówki płynnej w mieszalnikach, a także zapas surówki stałej w tzw. gąskach; z kolei zapas wlewków w piecach grzewczych walcowni oraz zapas zimnych wlewków wykonuje zadania „zbiornika retencyjnego” na rzecz stalowni, walcowni wstępnej itd. Wreszcie ciągłość zaspokajania zapotrzebowań wstępnych stadiów procesów produkcyjnych jest zapewniona przez tworzenie odpowiednich zapasów surowcowych.

Reasumując można więc powiedzieć, że istotą i zarazem głównym celem tworzenia zapasów jest transformowanie rytmiki, z jaką przedmioty pracy opuszczają kolejne odcinki procesów produkcyjnych, na rytmikę zapotrzebowań następnych odcinków tych procesów oraz na rytmikę konsumpcji. Określa to zaraz rolę zapasów, »którą sprowadza się do zapewnienia niezakłóconego przebiegu konsumpcji indywidualnej i społecznej człowieka oraz do zabezpieczenia sprawnego przebiegu poszczególnych odcinków, a przez to i całości jego działalności produkcyjnej.

Nasuwa się w tym miejscu analogia między gospodarką zapasami w dowolnym systemie realizującym zadania gospodarcze, a gospodarką naturalnymi zasobami energetycznymi w organizmach żywych. Dla zabezpieczenia ciągłości życia każdy organizm żywy musi okresowo uzupełniać swoje zasoby energetyczne przez spożywanie pokarmu lub asymilację. Niekiedy jednak mają miejsce trudności w zaopatrywaniu się w pokarm (nieudane polowanie, czasowe pogorszenie się warunków klimatycznych, choroba), toteż dla zabezpieczenia się przed śmiercią organizm żywy gromadzi w wątrobie, w tkance tłuszczowej itp. pawne substancje, które w razie potrzeby mogą być dość łatwo przekształcone w potrzebną do życia energię. Jednakże zbyt duże zapasy takich substancji utrudniają poruszanie się, ograniczają zwinność zwierzęcia lub wywołują inne ujemne skutki, a więc w efekcie osłabiają szanse danego organizmu na przetrwanie w biologicznej walce o byt. Tak więc organizm żywy musi kształtować swoje zasoby energetyczne w oparciu o swoisty „rachunek optymalizacyjny”.

Zupełnie podobnie ma się rzecz z zapasami w dowolnym systemie realizującym zadania gospodarcze. Z punktu widzenia zabezpieczenia ciągłości procesów produkcyjnych należałoby maksymalnie zwiększać zapasy surowców, półfabrykatów itp. Jednakże utrzymywanie zapasów "W nadmiernych rozmiarach ma także swoje ujemne strony, a mianowicie

pociąga za sobą poważne koszty, stanowi obciążenie gospodarki i szkodliwe zamrożenie części jej środków. Toteż racjonalne gospodarowanie zapasami w systemie gospodarczym, podobnie jak i w organizmie żywym, jest problemem dualnym.

W gospodarce kapitalistycznej weryfikatorem racjonalności prowadzenia procesów gospodarczych jest walka konkurencyjna. Kapitalistyczne przedsiębiorstwo, które utrzymuje zbyt wielkie zapasy, ma (przy innych parametrach ustalonych) mniejsze szanse w walce konkurencyjnej, analogicznie jak np. zbyt tłuste i przez to nieruchliwe zwierzę ma mniejsze szanse w biologicznej walce o byt. Przedsiębiorstwo socjalistyczne jest w zasadzie osłonięte przed skutkami walki konkurencyjnej, toteż należy w nim bardzo uważnie planować i kontrolować gospodarkę zapasami.

W polskiej literaturze ekonomicznej i praktyce gospodarczej dostrzega się przede wszystkim to, że zapasy są to zasoby czasowo nie biorące udziału w procesach gospodarczych. W związku z tendencją do utrzymywania się zbyt wysokich stanów zapasów i innymi nieprawidłowościami w zakresie gospodarowania nimi (wadliwa struktura zapasów, zbyt wolna ich rotacja itp.), występującymi w warunkach gospodarki socjalistycznej¹, zwykle kładzie się nacisk na „obniżenie poziomu zapasów do rozmiarów gospodarczo uzasadnionych”, co zasadniczo jest słuszne, niemniej kryje w sobie pewne niebezpieczeństwo w postaci arbitralnego założenia kierunku działalności optymalizacyjnej (zmniejszanie zapasów). Tym samym w odniesieniu do problemu zapasów stosuje się zazwyczaj prakseologiczną zasadę gospodarności a priori w jej drugim sformułowaniu (zasada minimalnego nakładu² — w tym przypadku minimalnego poziomu zapasów).

W przypadku polskich hut żelaza przeważa właśnie taki sposób podejścia do problemu zapasów. W zasadzie produkuje się wyłącznie na zamówienie, a nigdy na skład, co może odbijać się ujemnie na wydajności i produkcji globalnej np. walcowni rur oraz walcowni bruzdowych. Podobne skutki mogą wywołać zbyt rygorystyczne ograniczenia w zakresie produkcji tzw. awansem, uniemożliwiające kumulowanie drobnych zamówień z różnymi terminami realizacji. Ogólną tendencję do minimalizacji zapasów w hutach żelaza (poza grupą podstawowych surowców wsadowych i energetycznych) uzasadnia się zwykle napięciem bilansu materiałowego, nawałem zamówień, wielkimi rozmiarami zapotrzebowania każdej huty na środki obrotowe i innymi względami.

W świetle tego, co powiedziano wyżej, wydaje się jednak, że opisane podejście do problemu jest jednostronne, gdyż pomija nie ulegający wątpliwości fakt, iż pewne nasycenie procesów produkcyjnych zapasami sze-

¹ T. Choliński, *Zapasy w przedsiębiorstwie przemysłowym*, Warszawa 1964; T. Choliński, G. Michajłow, S. Milewski, *Gospodarka zapasami w krajach — socjalistycznych*, Warszawa 1967, s. 81 - 87.

² O. Lange, *Ekonomia polityczna*, t. I, Warszawa 1963, s. 188 - 189.

roko pojętej produkcji nie zakończonej warunkuje sprawne funkcjonowanie każdego układu realizującego zadania gospodarcze, podobnie jak „nasylenie” organizmu żywego odpowiednimi zasobami energetycznymi warunkuje niezakłócony przebieg jego funkcji życiowych. Na problem zapasów w każdym układzie gospodarczym, a w przedsiębiorstwie w szczególności, można i należy patrzeć przez pryzmat zasady gospodarności w jej pierwszym sformułowaniu (zasada maksymalnego efektu — w przypadku przedsiębiorstwa maksymalnej produkcji). Zresztą „... nie istnieje izolowany problem zapasów. Problem ten istnieje zawsze w powiązaniu z innymi zagadnieniami ekonomicznymi, wiąże się przede wszystkim z zagadnieniem ile i kiedy produkować”³.

Ścisły związek problemu zapasów z problemem optymalnego przebiegu produkcji uwydatni się, jeśli do analizy funkcjonowania systemu zapasów zastosujemy aparaturę pojęciową cybernetyki, w szczególności zaś cybernetycznej teorii regulacji oraz teorii niezawodności, przy czym hutę żelaza będziemy interpretowali jako probabilistyczny układ względnie odosobniony, złożony z „czarnych skrzynek” niezupełnie obserwowalnych.

Regulacja układu cybernetycznego jest to zapewnienie takiego jej działania, że wszelkie odchylenia stanu wyjścia od wartości zadanej (normy) zostają wyrównane. Każdorazowa wartość normy wyznaczana jest przez sterowanie. W zastosowaniu do procesów hutniczych można więc powiedzieć, że np. praca stalowni jest uregulowana, jeżeli zamówienia zgniatacza są terminowo realizowane pod względem ilości i wymiarów wlewków oraz gatunku stali. Zamówienia te są podstawą planu operatywnego stalowni, która dąży do przesyłania gorących jeszcze wlewków na walcownię wstępną. Jednakże może zdarzyć się „nietrafiony” wytop (tj. wytop o odmiennej niż żądana analizie stali), awaria itp. Mówimy wówczas, że nastąpiło odpowiednio „przekłamanie” bądź „uszkodzenie” stalowni.

Uregulowane działanie elementu S_i jest bardzo ważne dla wszystkich elementów S_m ($m=i+1, i+2, \dots, n$) sprzężonych z nim szeregowo. Jeżeli na wyjściu podsystemu S_i nie pojawi się wartość dokładnie równa normie Z_i , wówczas (z pewnym opóźnieniem w czasie) nie zostaną dokonane kolejne transformacje we wszystkich elementach S_m . Uregulowane działanie poszczególnych elementów huty żelaza sprawia, że przedmioty pracy są rytmicznie przekazywane z poszczególnych procesów odcinkowych do kolejnych procesów. Natomiast niedostateczne uregulowanie tego działania może być powodem przestojów niektórych urządzeń ze względu na brak materiału wsadowego i co za tym idzie, spadku wydajności i pro-

³ M. Nieduszyński, *Optymalne planowanie zapasów i produkcji*, Warszawa 1966, s. 70.

dukcji globalnej. Toteż celowe wydaje się zbadanie możliwości stosowania w hucie żelaza poszczególnych metod regulacji.

W teorii regulacji rozróżnia się trzy jej zasadnicze rodzaje⁴:

1) Regulacja może być dokonywana przez eliminację zaburzeń. Ten rodzaj regulacji jest możliwy do realizacji w układach, które można skutecznie odizolować od niepożądanych wpływów otoczenia, zwanych zaburzeniami. Urządzenia chroniące system przed skutkami zaburzeń noszą nazwę amortyzatorów, buforów, tarcz, izolatorów itp.

2) Regulacja może być dokonywana poprzez kompensację zaburzeń. Ten sposób regulacji wymaga gruntownej znajomości zależności zachodzących między 'wartościami na wejściu i na 'wyjściu układu regulowanego i polega na manewrowaniu stanem «wejścia w taki sposób, aby stan wyjścia osiągnął zadaną normę. Jedynym źródłem informacji i jedyną podstawą do regulacji procesy drogą kompensacji zaburzeń jest znajomość wartości na wejściu układu oraz dokładna znajomość operatora transformacji, dokonywanej w układzie regulowanym. Jest to szczególnie trudne w przypadku układu probabilistycznego. Nie zawsze też da się odpowiednio zmieniać wartości elementów wektora wejść sterowalnych układu. Urządzenia zapewniające regulację procesu tą metodą noszą nazwę kompensatorów.

3) Regulacja może też być zapewniona drogą 'wyrównywania odchyśleń. Odbywa się ona wówczas poprzez porównanie stanu wyjścia układu z normą, poprzez ustalenie ewentualnego odchylenia od wartości zadanej i wreszcie poprzez wprowadzenie odpowiedniej poprawki na wejściu układu regulowanego. Wyrównywanie odchyśleń jest uważane za klasyczną metodę regulacji. Urządzenia realizujące ten sposób regulacji nazywane są regulatorami.

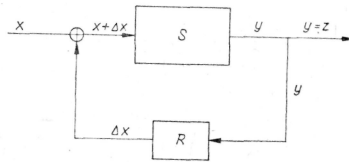
W przekładzie na język warunków technologicznych huty żelaza pełna regulacja drogą eliminacji zaburzeń oznacza, że potrafimy wykluczyć wszelkiego rodzaju nieprzewidziane awarie urządzeń produkcyjnych, zakłócenia w dostawach, czy choćby epidemię grypy wśród pracowników, co oczywiście jest nierealne. W rzeczywistości możemy jedynie stosować amortyzatory, zmniejszające prawdopodobieństwo wystąpienia poszczególnych rodzajów zaburzeń. Za amortyzatory takie można uważać np. prowadzenie racjonalnej gospodarki remontowej i zaopatrzeniowej, akcje profilaktyczne, ochronę zdrowia wśród pracowników itp.

Całkowita kompensacja wszystkich zaburzeń jest niezmiernie trudna, gdyż człowiek nie panuje jeszcze całkowicie nad procesami technologicznymi. Na przykład surówka z dwu kolejnych wytopów tego samego wielkiego pieca, nawet przy identycznym prowadzeniu procesu wielkopieczowego, nie ma zazwyczaj dokładnie takiej samej analizy. To samo odnosi się do analizy stali z procesu martenowskiego czy konwertoro-

⁴ O. Lange, *Wstęp do cybernetyki ekonomicznej*, Warszawa 1965, s. 20 - 24.

wego, do długości kęsisk walcowanych z identycznych wlewków itd. Oczywiście w miarę pogłębiania przez człowieka znajomości i doskonalenia umiejętności prowadzenia procesów technologicznych możliwości ich regulacji drogą kompensacji zaburzeń wzrastają.

Wyrównywanie odchyłeń przebiega według schematu przedstawionego na ryc. 1, gdzie:



Ryc. 1

S — operator transformacji dokonywanej w układzie regulowanym,

R — operator transformacji dokonywanej w układzie regulującym,

x — wartość (wektor wartości) na wejściu układu regulowanego,

y — wartość (wektor wartości) na wyjściu układu regulowanego,

z — wartość zadana (norma),

Δx — poprawka na wejściu układu regulowanego.

Jeśli S i R są operatorami liniowymi, to obowiązuje tzw. podstawowy wzór teorii regulacji o postaci⁵

$$Y = \frac{1}{1 - SR} \cdot Sx$$

Wzór ten pozwala obliczać wartość przepustowości S , wartość przepustowości R albo wartość nastawczą x , jeżeli dwie spośród wymienionych wartości są znane oraz dane jest $y=z$.

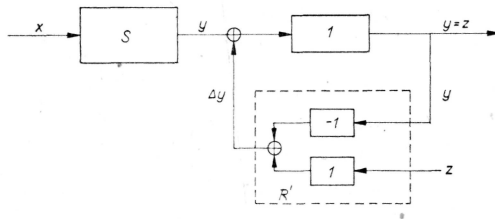
Jednakże w warunkach huty żelaza operatory transformacji dokonywanych w poszczególnych elementach najczęściej nie są liniowe, a ponadto, zwykle po pojawieniu się konkretnej wartości (różnej od normy) na wyjściu pewnego elementu, praktycznie nie ma warunków dla jej zmiany na drodze transformacji technologicznej. Np. jeśli otrzyma się nie trafiony wytop albo kęsisko o odmiennej niż zamówiona długości, to nie jest wskazane złomowanie bez namysłu otrzymanych półwyrobów, czyli powtórne przepuszczenie ich przez pewien odcinek procesów produkcyjnych. Najczęściej można tylko podjąć odpowiednie kroki, aby w następnych okresach czasu pojawiające się na wyjściu wartości odpowiadały normom (zamówieniom).

Dla lepszego zilustrowania, na czym może polegać regulacja drogą wyrównywania odchyłeń, weźmy pod uwagę przykłady takiej regulacji na

⁵ Por. O. Lange, *Wstęp...*, op. cit., s. 29.

terenie stalowni. Symbol S oznaczać tu będzie operator transformacji, polegającej na przekształceniu wszystkich materiałów wsadowych, paliwa, nakładów robocizny itp., a więc pewnego wektora wejść x na stal, określoną w zamówieniu co do gatunku i rozmiarów wlewków (z). Regulatorem (R) jest tu laboratorium, w którym dokonuje się analizy stali w czasie wytopu i w zależności od wyników tej analizy dodaje się do kąpielii metalu pewne składniki, zwiększa lub zmniejsza dopływ tlenu w procesie konwertorowym itd. Innym przykładem może, być pomiar temperatury kąpielii metalu w procesie martenowskim i, zależnie od jego wyników, przedłużanie lub skracanie czasu wytopu. W wymienionych przypadkach sygnał przebiega w obwodzie sprzężenia zwrotnego od wyjścia układu regulowanego poprzez regulator do wejścia układu S . (Dla uproszczenia pomijamy problem występowania w całym układzie regulacji takich elementów jak wzmacniacze, pewne obwody mające na celu stabilizację dynamicznego działania regulatora i inne, których działanie jest z punktu widzenia celów prowadzonych obecnie rozważań nieistotne).

Cybernetyczny układ regulacji osiągnie na wyjściu wartość zadaną również wtedy, gdy podstawowe sprzężenia w tym układzie będą się przedstawiać jak podano na ryc. 2.



Ryc. 2

Rzeczywiście jeśli przedstawimy wartość y jako sumę wartości zadanej i odchylenia od wartości zadanej

$$y = z + (y - z)$$

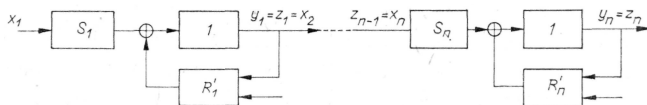
oraz uwzględnimy efekt transformacji, dokonywanej w regulatorze R' o operatorze

$$y \cdot (-1) + z \cdot 1 = z - y$$

to na wyjściu całego układu regulacji pojawi się

$$z + (y - z) + (z - y) = z$$

Oczywiście w przypadku szeregu sprzężonych z sobą układów S_i ($i=1, 2, \dots, n$), gdzie z jest zasadniczym elementem wektora wejść x_{k+1} ($k=1, \dots, n-1$), tak ujęta regulacja będzie przebiegać według schematu, przedstawionego na ryc. 3.

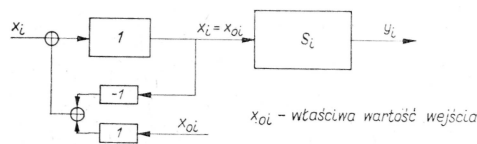


Ryc. 3

W podanym na ryc. 2 układzie regulacji dochodzi do zrównania wartości na wyjściu układu S z normą w ten sposób, że w obwodzie sprzężenia zwrotnego następuje porównanie faktycznie otrzymanej wartości (y) z wartością zadaną (z). Porównanie to dokonuje się w węzle addycyjnym i odbywa się drogą transformacji określonej operatorem liniowym (sumowania). Różnica w stosunku do sytuacji przedstawionej na ryc. 1 polega na tym, że efektem tego porównania jest nie poprawka Δx , wprowadzana na wejście układu S , lecz poprawka Δy , wprowadzana na wejście sprzężonego szeregowo z układem S elementu dokonującego transformacji proporcjonalnej o operatorze 1. Ponadto w drugim ujęciu operatory wszystkich transformacji są liniowe, co pozwala praktycznie na regulowanie procesów technologicznych przy traktowaniu ich podstawowych ogniw jako tzw. „czarne skrzynki”. Innymi słowy, mimo niepełnej znajomości mechanizmu funkcjonowania elementu S lub mimo probabilistycznego charakteru jego działania możemy w pełni uregulować proces, badając tylko zachowanie się S , tzn. obserwując wartości pojawiające się na jego wyjściu.

Nietrudno zauważyć, że tak jak regulator R' na ryc. 2 funkcjonuje właśnie zapas produkcji nie zakończonej między poszczególnymi etapami procesów produkcyjnych. Na przykład w stalowni dość często zdarza się, że ilość otrzymanych wlewków jest różna od ilości zamówionej przez walcownię wstępną. Odchylenie od zamówienia może powstać w wyniku niemożności rozdziału zamówienia na całkowite pojemności poszczególnych pieców, w przypadku niedostatecznej w danej chwili ilości odpowiednich wlewnic (np. z winy striperowni lub z powodu kumulacji zamówień na określony wymiar wlewków), w przypadku nietrafienia wytopu, w przypadku awarii lub przedłużenia się remontu itd. Odchylenia te mogą być ujemne lub dodatnie. W przypadku odchyłeń dodatnich wartość poprawki Δy_i ustalona w regulatorze R'_i będzie ujemna; oznaczać to będzie odprowadzenie na odpowiednie składowisko (lub np. do mieszalnika w przypadku wielkich pieców) chwilowej nadwyżki danego półwyrobu. W razie odchylenia ujemnego istnienie odpowiedniego zapasu umożliwi zrealizowanie transformacji ($z_i \cdot 1$), co spowoduje zadziałanie regulatora R'_i i zrównanie się wartości y_i z normą z_i . Jeżeli przez ostatni w łańcuchu sprzężeń szeregowych układ S_n będziemy rozumieli dział zbytu huty żelaza, to oczywiście transformacja dokonywana w regulatorze R'_{n-1} oznaczać będzie funkcjonowanie odpowiedniego zapasu wyrobów goto-

wych. Dodać jeszcze należy, że pewne kategorie zapasów (np. złom, dodatki stopowe, odtleniacze i inne na stalowni, części zamienne do walcarek, materiały pomocnicze i inne na walcowniach, ruda i koksik na aglomerowni itp.) funkcjonują jako bufony (ryc. 4), zapewniające pojawienie się na wejściu układu S_i właściwych wartości. Dla dokonania transformacji $1 \cdot XOI$ (XOI = właściwa wartość na wejściu układu S_i) konieczne jest posiadanie zapasu odpowiedniego czynnika produkcji lub czynnika względem niego substytucyjnego.



Ryc. 4

Rekapitulując można więc powiedzieć, że odpowiednio rozbudowany i sprawny system zapasów w określony sposób podnosi stopień uregulowania procesów produkcyjnych. Korzyści płynące z funkcjonowania systemu zapasów jako czynnika ogólnej regulacji procesów produkcyjnych są oczywiste w świetle tego, co powiedziano wyżej o skutkach niezadziałania lub złego zadziałania elementu S_i dla elementów występujących po nim w łańcuchu sprzężeń szeregowych.

Pewne odmienne naświetlenie problemu zapasów otrzymamy, jeżeli zinterpretujemy ich funkcjonowanie w języku teorii niezawodności. Niezawodność układu jest określona przez prawdopodobieństwo (P), że w układzie tym zajdzie oczekiwana transformacja (T), innymi słowy, że nie nastąpi przekłamanie bądź uszkodzenie układu. Niezawodność układu zależy, najogólniej mówiąc, od niezawodności poszczególnych elementów tego układu oraz od jego struktury.

Jedno z podstawowych praw teorii niezawodności głosi, że niezawodność systemów złożonych z zawodnych elementów sprzężonych z sobą szeregowo, szybko maleje przy zwiększaniu liczby tych elementów. W przypadku huty żelaza, jak i w zasadzie każdego systemu realizującego zadania gospodarcze, zasadnicze znaczenie posiadają właśnie sprzężenia szeregowo, a poszczególne elementy systemu charakteryzują się niemal zawsze pewnym stopniem zawodności. Oznaczając przez P — niezawodność systemu, p — średnią geometryczną niezawodność elementu, n — liczbę elementów sprzężonych szeregowo, mamy dla $0 < p < 1$:

$$P = p^n, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} p^n = 0.$$

Omawiane prawo podsuwa zarazem dwa sposoby zwiększania niezawodności układów cybernetycznych. Pierwszy sposób polega na zwiększaniu niezawodności poszczególnych elementów. Sposób drugi polega

na skracaniu łańcuchów sprzężeń szeregowych. Możliwości zwiększania niezawodności systemów obu tymi sposobami w oczywisty sposób zależą od niezmiennych właściwości elementów, od aktualnego stanu naszej wiedzy o budowie i działaniu tych elementów oraz od poziomu umiejętności człowieka w zmienianiu ich właściwości. W przypadku huty żelaza możliwości podnoszenia niezawodności procesów produkcyjnych są ograniczone obiektywnymi właściwościami tych procesów, aktualnym stanem naszej wiedzy o tych procesach oraz poziomem umiejętności człowieka w ich prowadzeniu. Na przykład jest możliwe otrzymywanie stali bezpośrednio z rud żelaza, co pozwoliłoby połączyć proces wielkopiecowy z procesem otrzymywania stali, a więc skrócić łańcuch sprzężeń szeregowych, jednakże ze względów technicznych i ekonomicznych procesu takiego nie prowadzi się w skali przemysłowej. Podobnie nie da się dowolnie zwiększać niezawodności poszczególnych elementów huty żelaza.

Istnieje jeszcze jeden sposób zwiększania niezawodności systemu cybernetycznego, a mianowicie zwiększenie ilości występujących w nim sprzężeń równoległych, czyli przebudowa jego struktury na strukturę o powiązaniach mieszanych. Sposób ten nazywa się często rezerwowaniem. Pozwala on teoretycznie nieograniczenie zwiększać niezawodność systemu. Prawdopodobieństwo (P) zadziałania układu, złożonego z n zawodnych elementów o niezawodnościach p_i sprzężonych ze sobą szeregowo, wyraża się wzorem.

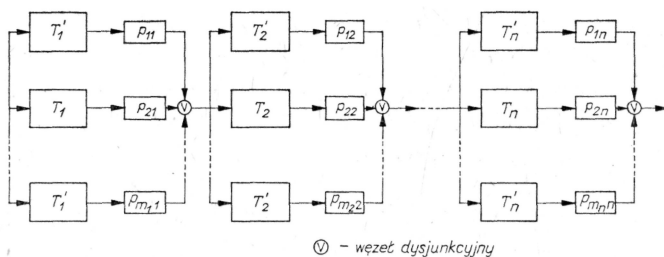
$$P = \prod_{i=1}^n p_i$$

i szybko zmierza do zera wraz ze wzrostem n . Natomiast niezawodność układu o powiązaniach mieszanych (patrz ryc. 5) wyraża się wzorem⁶:

$$P = \prod_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^{m^j} (1 - p_{ij})]$$

i

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \prod_{j=1}^n [1 - \prod_{i=1}^{m^j} (1 - p_{ij})] = 1.$$



Ryc. 5

⁶ Por. O. Lange, *Wstap...*, op. cit., s. 142 - 154.

Ryc. 5 przedstawia układ, w którym rozbudowano elementy T_j ($j=1, 2, \dots, n$) w ogniwa, tj. bloki sprzężonych z sobą równolegle elementów T_j odpowiednio z elementami rezerwowymi T_j' . Elementy p_{ij} ($i=1, 2, \dots, m_j; j=1, 2, \dots, n$) odpowiadają niezawodnościom poszczególnych elementów T_j i T_j' . Różnica między układem o powiązaniach szeregowych a układem o powiązaniach mieszanych polega na tym, że jeżeli zawiedzie element T_j , to musi również zawieść cały system o połączeniach szeregowych, natomiast układ o połączeniach mieszanych zawieść nie musi, bowiem transformacja może zostać dokonana w którymś z elementów rezerwowych T_j' . Oczywiście zwiększa to niezawodność całego systemu. Mówi o tym jedno z praw cybernetycznej teorii niezawodności, które głosi, że funkcje $f(p)$ prawdopodobieństwa przechodzenia sygnału (a więc działania) dla dowolnej specjalnej sieci bramkowej U złożonej z r bramek o niezawodnościach p można przedstawić w następującej postaci:

$$f(p) = \sum_k^r A_k \cdot p^k \cdot (1-p)^{r-k}$$

przy czym A_k jest to liczba sposobów, którymi w sieci U można wybrać k bramek tak, aby sygnał przechodził przez sieć od bieguna wejściowego do wyjściowego wówczas, gdy wszystkie wybrane bramki przepuszczają sygnał impulsowy (działają), a wszystkie pozostałe zatrzymują ten sygnał (zawodzą). Oczywiście wraz ze wzrostem ilości elementów rezerwowych w ogniwach $f(p)$ wzrasta. Przykładowo przy średniej niezawodności elementu $p=0,9$ zależność między liczbą ogniw sprzężonych szeregowo (n) i ilością elementów alternatywnych w ogniwie (m) a niezawodnością całego układu ilustrują liczby zawarte w tabelce⁷.

$m \backslash n$	1	3	20	100
1	0,90	0,73	0,12	0,000026
2	0,99	0,97	0,81	0,35
3	0,999	0,997	0,98	0,90

W teorii niezawodności rozróżnia się trzy rodzaje elementów rezerwowych, a mianowicie elementy obciążone, częściowo obciążone oraz nie obciążone. Przykładem wprowadzenia w hucie żelaza rezerwy częściowo obciążonej byłoby np. dublowanie poszczególnych urządzeń, przy czym ich pełne zdolności produkcyjne byłyby wykorzystane tylko wówczas, gdy jedno z urządzeń zawiedzie. Oczywiście jest to nie do pomyślenia, gdyż wiązałoby się z ogromnym marnotrawstwem zdolności produkcyjnych,

⁷ Por. D. N. Chorafas, *Procesy statystyczne i niezawodności urządzeń*, Warszawa 1963, s. 342.

którego w żadnej mierze nie równoważyłyby korzyści, wynikające z niezawodności huty jako całości.

Istotą natomiast rezerwy nie obciążonej jest to, że transformacja dokonuje się w niej tylko wówczas, gdy zawiedzie element podstawowy w danym ogniwie. Za taką rezerwę można więc np. uważać zapasy półfabrykatów. Jeżeli z jakichkolwiek powodów nastąpi przełamanie bądź uszkodzenie pierwszego z dwu sprzężonych z sobą szeregowo elementów T_j oraz T_{j+1} huty jako układu cybernetycznego, to unieruchomienie elementu T_{j+1} nie nastąpi, jeżeli sygnał z elementu T_{j-1} przepływnie do elementu T_{j+1} za pośrednictwem zapasu produkcji nie zakończonej, pełniącej funkcję elementu rezerwowego T_j' . Tak więc stworzenie odpowiedniego systemu zapasów produkcji nie zakończonej jest równoważne przebudowie układu realizującego zadania gospodarcze na układ o powiązaniach mieszanych i tym samym prowadzi do zwiększenia niezawodności działania tego układu, w szczególności zaś w przypadku huty żelaza — do zwiększenia jej wydajności i produkcji globalnej.

Rezerwowanie układów realizujących zadania gospodarcze przez wprowadzanie zapasów produkcji nie zakończonej jest wysoce efektywne m. in. dlatego, że jest rezerwowaniem o najmniejszej skali. Skala rezerwowania jest tym wyższa, im większą część systemu rezerwujemy i jej zwiększanie wpływa ujemnie na niezawodność całego systemu przy ustalonej ogólnej ilości elementów rezerwowych⁸. W przypadku jeśli rolę elementów rezerwowych pełnią zapasy produkcji nie zakończonej, można rezerwować każde urządzenie wytwórcze z osobna i tym samym skala rezerwowania jest najniższa. Dodatkową zaletą zapasów jako elementów rezerwowych jest ich praktycznie całkowita niezawodność w przypadku przekłamań elementów podstawowych w ogniwach.

Najefektywniejszym rodzajem rezerwowania jest stosowanie tzw. „rezerwy przesuwającej się”, czyli działającej wówczas, gdy w pewnym ogniwie zawiodą jednocześnie wszystkie elementy. Wydaje się, iż w hucie żelaza funkcję rezerwy przesuwającej się mógłby w przypadku niektórych grup zapasów pełnić pewien specjalny fundusz, który pozwalałby w razie potrzeby odpowiednio szybko sprowadzać z zewnątrz pewne urządzenia. Chodziłoby tu przede wszystkim o urządzenia drogie i takie, na które zapotrzebowanie jest trudne do przewidzenia, natomiast koszty utrzymywania zapasów takich urządzeń są stosunkowo wysokie. Istnienie omawianego funduszu mogłoby pozwolić obniżyć poziom zapasów niektórych dóbr bez zmniejszania niezawodności całego układu realizującego zadania gospodarcze.

Na zakończenie niniejszych rozważań należy więc stwierdzić, że do techniczno-ekonomicznego problemu zapasów można zastosować apar-

⁸ B. W. Gniedenko, J. K. Bielajew, A. D. Sołowiew, *Metody matematyczne w teorii niezawodności*, Warszawa 1968, s. 302 - 306.

turę pojęciową cybernetyki. Pozwala to na uzyskanie orientacji co do kierunków konkretnej działalności optymalizacyjnej.

Można wyróżnić dwa zasadnicze kierunki zapewniania optymalnego działania systemów cybernetycznych. Pierwszy z nich to wyznaczanie optymalnego wektora wejść sterowalnych czyli optymalne sterowanie układów. Kierunek drugi to analiza istniejącej i określanie (synteza) optymalnej struktury systemów. Rozważania zawarte w niniejszym opracowaniu należą do tej drugiej grupy zagadnień i obejmują tylko drobny fragment jej problematyki, a mianowicie dotyczą tylko tych sprzężeń, które wiążą się bezpośrednio z funkcjonowaniem systemu zapasów w hucie żelaza. W szczególności wykazano, że odpowiednie nasycenie procesów produkcyjnych prowadzonych w hucie żelaza jest równoważne wyposażeniu jej w pewne pożądane cechy, a mianowicie oznacza wzbogacenie środków wewnętrznej, automatycznej regulacji procesów produkcyjnych (podnosi zdolności homeostatyczne układu) oraz podnosi niezawodność całego układu. Oczywiście przy określaniu optymalnej polityki produkcji i zapasów w hucie żelaza może się okazać, że cały szereg grup asortymentowych zapasów należy utrzymywać na bardzo niskim poziomie, ale zarazem że inne grupy asortymentowe należy wydatnie zwiększyć w stosunku do aktualnie prowadzonej i opartej przede wszystkim na intuicji i doświadczeniu gospodarki zapasami.

Wydaje się wreszcie, że przeprowadzone rozważania i ich wnioski dadzą się z odpowiednimi zmianami odnieść do dowolnego procesu produkcyjnego. W opracowaniu ograniczono się do terenu huty żelaza jedynie dla uzyskania jednorodności materiału przykładowego.

AN ATTEMPT AT CYBERNETIC INTERPRETATION OF INVENTORY PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF AN IRON FOUNDRY

S u m m a r y

The present article is an attempt at transforming the technical-economical problem of inventory into cybernetic terms. The analogy between functioning of the inventory system in production process and functioning of natural energetic resources in living organisms was also indicated. The inventory problem was presented in the light of cybernetic regulation theory and theory of reliability. The regulating influence of inventory on the course of production processes as well as the dependence between inventory and reliability of the iron foundry as a cybernetic system were shown.