

Jan Kałuski

Politechnika Śląska

ZAGADNIENIA NIEZAWODNOŚCI ROBOTÓW PRZEMYSŁOWYCH

Streszczenie. W pracy na tle ogólnej teorii niezawodności, omówiono zagadnienia niezawodności robotów przemysłowych, związane z definicją i rodzajem uszkodzeń. Wyróżniono uszkodzenia katastroficzne i metrologiczne. Odpowiednio do tych uszkodzeń i stawianych wymagań sformulowano modele niezawodności robotów. Zwrócono uwagę na zagadnienia badań niezawodności robotów ze względu na wymagania metrologiczne, a w szczególności wymagania odpowiedniej dokładności pozycjonowania i odtwarzania trajektorii ruchu ramienia. Omówiono i przedyskutowano szereg pozycji literaturowych, dotyczących zagadnień niezawodności robotów i ogólnie pojętej ich eksploatacji w warunkach przemysłowych.

1. Wstęp

Niezawodność jest jedną z najważniejszych charakterystyk eksploatacyjnych robotów przemysłowych. Prace dotyczące tej tematyki, jak narazie, nie znalazły pełnego rozwinięcia ani w publikacjach krajowych ani też zagranicznych. W kraju powodem takiego stanu rzeczy jest mała liczba zainstalowanych robotów. Nie pozwala to jeszcze na wiarygodną ocenę statystyki ich uszkodzeń.

Plany rozwoju robotyzacji polskiego przemysłu są dziś już znacznie zaawansowane zarówno organizacyjnie, jak i technicznie [1, 13]. Znane są również plany szkoleniowe przyszłej kadry technicznej, mającej w niedalekiej przyszłości stanowić podstawę załóg zrobotyzowanych fabryk i organizacji zajmujących się robotyzacją [18]. Plany takie już obecnie są intensywnie realizowane w niektórych uzelniach technicznych i instytutach przemysłowych.

A więc, przede wszystkim, w procesie szkoleniowym problemy eksploatacji a w szczególności niezawodności robotów przemysłowych powinny zajmować znaczące miejsce. Pozwoli to w przyszłości, przy znacznym nasyceniu przemysłu robotami, sprawnie organizować remonty, wymiany profilaktyczne a także sterować parametrami eksploatacyjnymi zrobotyzowanych gniazd i ciągów przemysłowych.

Naiwny i niebezpieczny pogląd utrzymujący się w niektórych kręgach technicznych jakoby w warunkach nowoczesnej technologii, szczególnie elektronicznej, uszkodzenia są zjawiskiem tak rzadkim, iż zasady teorii niezawodności praktycznie straciły na aktualności, jest tylko w połowie praw-

dziwy. Rzeczywiście uszkodzenia katastroficzne są coraz rzadszym zdarzeniem i dlatego tradycyjna statystyczna teoria niezawodności ma obecnie wiele problemów z otrzymaniem w rozsądnym czasie dostatecznie licznej próbki do badań niezawodności. Są to jednak problemy wyłącznie metod badawczych. Nie naruszają one w niczym istniejących zasad teorii niezawodności.

Problemem olbrzymiej wagi jest jednak znaczny koszt owych rzadkich uszkodzeń. Zwykle niewspółmierny do ponoszonych nakładów. Przykładów można byłoby przytoczyć wiele. Wspomnijmy tylko o niedawnej tragicznej katastrofie amerykańskiego wahadłowca.

Na tle powyższych uwag w niniejszym artykule przedstawiono i przedyskutowano niektóre zagadnienia i problemy niezawodności robotów, metody oceny ich wskaźników niezawodności i dokładności oraz zagadnienia statystyki uszkodzeń robotów.

2. O niektórych aspektach teorii niezawodności w zastosowaniu do robotów przemysłowych

Robot przemysłowy, jak każde urządzenie techniczne wytwarzane przez człowieka, pracuje w określonych warunkach pracy z określonymi wymaganiami na jego parametry techniczne w określonym czasie.

W związku z niemożnością deterministycznego ustalenia zależności między jakością pracy a warunkami i czasem pracy, prawdopodobieństwo poprawnej pracy z czasem maleje. Doprowadza to do stanu niezdatności robota. Stan ten poprzedzony jest określonym uszkodzeniem. W zależności od uszkodzenia stan niezdatności może być całkowity, kiedy wymagana jest wymiana całego robota lub jego uszkodzonych elementów, albo częściowy, kiedy wymagane jest ustawienie wartości niektórych parametrów w zadanych granicach lub wymiana niektórych elementów funkcjonalnych robota.

Oczywiście nie jest możliwe ściśle rozgraniczenie omawianych stanów uszkodzeń, tzw. katastroficznych i parametrycznych.

Obecnie tematyce niezawodności robotów uwzględniającej uszkodzenia katastroficzne poświęcono szereg prac [5, 14, 17, 21, 28].

Gruntowną analizę potrzebnych badań robotów przemysłowych zawarto w [11] gdzie szczególną uwagę zwrócono na potrzebę pomiarów niezawodności i dokładności.

Dla zrozumienia problemów techniczno-ekonomicznych związanych z niezawodnością robotów, ich charakterystyk eksploatacyjnych, niezbędna jest znajomość szeregu podstawowych prac [2, 3, 4, 6, 7, 12, 16, 19, 22, 23, 25, 27].

Young [28] przez niezawodność rozumie odpowiedni procent układów danego urządzenia, pracujących w zakresie roboczych tolerancji w ciągu

zadanego czasu w określonych warunkach.

Pomijając techniczne problemy wyznaczania i oceny owego "procentu", definicja najpełniej wyraża istotę niezawodności uszkodzeń technicznych i odpowiada omawianej właściwości robotów przemysłowych.

Jednak ta dyskryptywna definicja nie/wiele, niestety, mówi o praktycznej interpretacji uszkodzenia.

W celu rozpoznania omawianej problematyki przeanalizujemy zagadnienie niezawodności robotów przemysłowych, ze względu na rodzaj uszkodzenia.

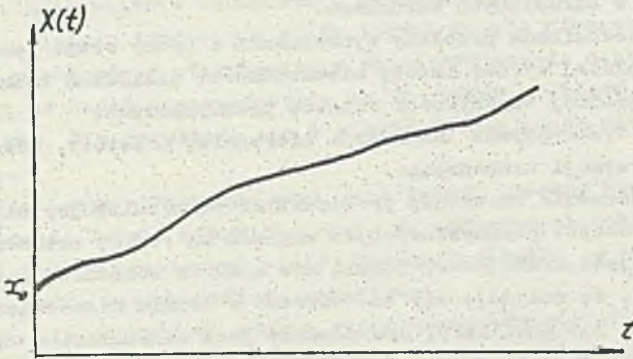
Urządzenie jest uszkodzone, jeżeli nie spełnia wcześniej ustalonych wymagań. Mówimy, że znajduje się ono wówczas w stanie niezdatności. Stan niezdatności, jak już mówiliśmy, spowodowany jest zaistnieniem uszkodzenia^{*)}. Przez uszkodzenie rozumiemy zdarzenie powodujące przejście urządzenia ze stanu zdadności do stanu niezdatności. Zarówno samo uszkodzenie, jak i proces doprowadzający do jego zaistnienia mają różny charakter i zależą od właściwości niezawodnościowych i procesów fizycznych zachodzących w robocie.

Procesy fizyczne określają rodzaj zakłóceń, które mogą występować w postaci fluktuacji lub impulsów i w głównej mierze określają typ uszkodzenia. Rozróżniamy trzy zasadnicze ich schematy [8] .

- 1^o Schemat nagłych uszkodzeń, wywołany występowaniem pojedynczych niesprawności lub zakłóceń. Powodują one chwilowe przejście urządzenia do stanu niezdatności. Na przykład, dla przyrządów pomiarowych lub urządzeń informatycznych takie uszkodzenie powoduje przekłamanie /błędy nadmiarowe, brak ciągłości w przekazywaniu informaoji/. Jest ono jawne i w większości przypadków obserwowalne, ale nieprognozowalne.
- 2^o Schemat stopniowych uszkodzeń, wywołany stopniowym narastaniem niesprawności, w wyniku czego otrzymujemy przejście urządzenia do stanu niezdatności odwracalnej lub trwałej. W zależności od charakteru procesu zmian właściwości urządzenia, stopniowe narastanie niesprawności może być spowodowane zwiększającą się częstotliwością nagłych uszkodzeń, tzn. rosnącą w czasie liczbą impulsów lub fluktuacji o amplitudzie przekraczającej ustalony poziom^{***)}. Może być również spowodowane określonym trendem właściwości urządzenia /płynięcie charakterystyk, dryft zera itp. patrz rys. 1 /.

*) mowa tu o niezdatności technicznej

**) Impulsy zawsze przekraczają zadany poziom



Rys.1. Zmiana charakterystyki metrologicznej w czasie
 Fig.1. The change of metrological characteristics in time

- 3° Schemat uszkodzeń katastroficznych, wywołany pojawiającymi się w losowych chwilach czasu pracy urządzenia impulsami o wartości niszczącej i powodujące nagłe przejście do nieodwracalnego stanu niezdatności. Uszkodzenia te są praktycznie nieprognozowalne.

Z powyższego widać, że nagłe uszkodzenia są szczególną postacią uszkodzeń stopniowych. Pierwsze przeważnie powodują przekłamania widoczne a czas trwania ich jest nieduży. Proces stopniowych uszkodzeń jest nieodwracalny i nie można go zatrzymać. Uszkodzenia te są jednak prognozowalne. Ten aspekt uszkodzeń stopniowych ma niezwykle ważne znaczenie dla pracy przyrządów pomiarowych i urządzeń informatycznych. Pozwala on na prognozowanie ich charakterystyk niezawodnościowych przy badaniu nielicznych /a nawet pojedynczych/ egzemplarzy próbkowych na stanowiskach laboratoryjnych lub bezpośrednio na stanowiskach eksploatacyjnych.

Reasumując można powiedzieć, że najważniejszą rolę w kształtowaniu niezawodności urządzeń technicznych, w tym również robotów, odgrywają uszkodzenia katastroficzne i stopniowe. Te ostatnie, w zależności od przeznaczenia urządzenia i charakteru jego pracy, są w literaturze nazywane uszkodzeniami parametrycznymi. Dla przyrządów pomiarowych przykładowo, uszkodzenia parametryczne powodują "uszkodzenia" dokładności wskazań lub innych charakterystyk metrologicznych.

Robot przemysłowy ulega zarówno uszkodzeniom katastroficznym, jak i stopniowym.

Teoria niezawodności katastroficznej bazująca na λ -charakterystykach - funkcjach intensywności uszkodzeń jest dostatecznie sformułowana i powszechnie stosowana. Ma uzasadnione modele i metody pozwalające na

ocenę wskaźników niezawodności zarówno urządzeń nienaprawialnych, jak i naprawialnych.

Próba analizy niezawodności robotów przemysłowych z uwzględnieniem uszkodzeń katastroficznych została zamieszczona we wspomnianych już pracach.

Brak jest, jak na razie, opracowań na temat analizy niezawodności robotów ze względu na uszkodzenia stopniowe.

W dalszej części pracy zarysujemy problemy z tym związane i metody ich rozwiązywania.

3. Niezawodność i dokładność robotów przemysłowych

Najbardziej ogólna a zarazem pełna definicja dyskryptywna niezawodności urządzenia technicznego brzmi:

Niezawodność jest to zdolność /lub właściwość/ polegająca na tym, że w określonych warunkach pracy przy określonych wymaganiach w określonym czasie t urządzenie spełni zadanie wynikające z jego przeznaczenia.

Miarą tak zdefiniowanej niezawodności jest odpowiednie prawdopodobieństwo spełnienia postawionego zadania.

Wykonanie określonego zadania w czasie polega na wykonaniu przez urządzenie określonej funkcji Φ w określonych warunkach pracy \mathcal{K} . Symbolicznie zadanie to zapisujemy w postaci uporządkowanej trójki $\langle t, \Phi, \mathcal{K} \rangle$.

Znając funkcję Φ można ustalić zbiór wymagań ω dla tych cech urządzenia, które uznamy za istotne dla danego jego zastosowania. Istotne, tzn. takie, że spełnienie dla nich wymagań jest warunkiem koniecznym i dostatecznym dla prawidłowego funkcjonowania urządzenia. Można więc zadanie wyrażone trójką $\langle t, \Phi, \mathcal{K} \rangle$ zastąpić równoważnym zadaniem wyrażonym symbolicznie uporządkowaną trójką $\langle t, \omega, \mathcal{K} \rangle$.

Dane urządzenie wykona zadanie, jeżeli przy (ω, \mathcal{K}) będzie zdadne w chwili rozpoczęcia pracy t_0 i pozostanie w stanie zdadności przez czas t . A więc musi zajść zdarzenie polegające na tym, że dla każdego

$\tau \in [t_0, t_0 + t]$ przy ustalonych wymaganiach i warunkach pracy urządzenie jest zdadne. Oznaczmy go przez $D(\tau; \omega, \mathcal{K})$. W tym przypadku funkcję niezawodności, jako prawdopodobieństwo spełnienia zadania w czasie od t_0 do t , można wyrazić w następujący sposób

$$R(t_0, t) = P \left\{ D(\tau; \omega, \mathcal{K}) ; \tau \in [t_0, t_0 + t] \right\}$$

$$t_0 \geq 0, t \geq 0.$$

/1/

Z podanej zależności oraz przeprowadzonych rozważań nie wynika jeszcze z jaką niezawodnością mamy do czynienia. Dopiero skonkretyzowanie wymagań ω pozwala na sprecyzowanie czy będziemy rozpatrywali niezawodność katastroficzną czy też parametryczną.

Dla przykładu, ustalając wymaganie na jakiś charakterystyczny parametr wyjściowy w postaci nieprzekroczenia w czasie t dopuszczalnego przedziału $\Delta\omega$ otrzymujemy zależność /1/ w postaci:

$$R(t_0, t) = P \left\{ D(\tau; |\Delta\omega| \leq \Delta\omega_{\text{dopuszczalne}}; \mathcal{K}; \tau \in [t_0, t_0 + t] \right\}, \quad /2/$$

na niezawodność parametryczną.

Funkcja $R(t)$ w tym przypadku będzie zależna jawnie od parametrów probabilistycznych i deterministycznych rozpatrywanego urządzenia i dopuszczalnego przedziału $|\Delta\omega|$.

Ustalając natomiast, że urządzenie jest zdadne wówczas, gdy na przykład na 1000 urządzeń tylko trzy mogą być niezdatne po czasie t przy tym samym określonym wymaganiu $\Delta\omega$, mamy praktycznie do czynienia z niezawodnością katastroficzną. W tym przypadku funkcja $R(t)$ zależy w zupełności od funkcji intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$. Można pokazać, że wzór /1/ przybiera wówczas znaną klasyczną postać

$$R(t_0, t) = R(t_0) \cdot \exp \left[- \int_{t_0}^t \lambda(\tau) d\tau \right], \quad /3/$$

gdzie $R(t_0) \leq 1$.

Wymaganie $\Delta\omega$ wchodzi do tego wzoru niejawnie i służy jedynie do identyfikacji zaistnienia stanu niezdatności i wyznaczenia funkcji $\lambda(t)$.

Opisany fakt nie przeszkadza jednak, że również za pomocą λ -charakterystyk można zbudować model niezawodności parametrycznej. Jest to jednak bardzo trudne praktycznie i teoretycznie i udało się, jak narazie w przypadku dyfuzyjnego modelu niezawodności [9].

Wymagania stawiane robotom przemysłowym są różnorakie i tu nie będą szczegółowo omawiane. Można je na przykład znaleźć w [7, 12, 22, 25, 26]. Obecnie zajmijmy się wymaganiami parametrycznymi, a w szczególności metrologicznymi, gdyż one stanowią najważniejszą grupę wymagań, charakteryzujących przydatność robota.

Wielu autorów podkreśla iż najbardziej istotnymi charakterystykami metrologicznymi robotów są: maksymalna wartość błędu bezwzględnego /statyczna i dynamiczna/ pozycjonowania, przemieszczenia /odtworzenia trajektorii ruchu/prędkości i przyspieszenia [6, 10, 16, 20, 24, 26, 27]. Wydaje się, że dynamiczny i statyczny błąd pozycjonowania oraz błąd odtworzenia trajektorii są najważniejszymi charakterystykami metrologicznymi robotów przemysłowych.

Dokładność pozycjonowania jest bardziej istotna dla lekkich robotów, stosowanych masowo w przemyśle precyzyjnym i elektronicznym. Odpowiednia dokładność odtwarzania trajektorii ruchu jest istotna dla robotów spawal-

niczych, malarskich itp.

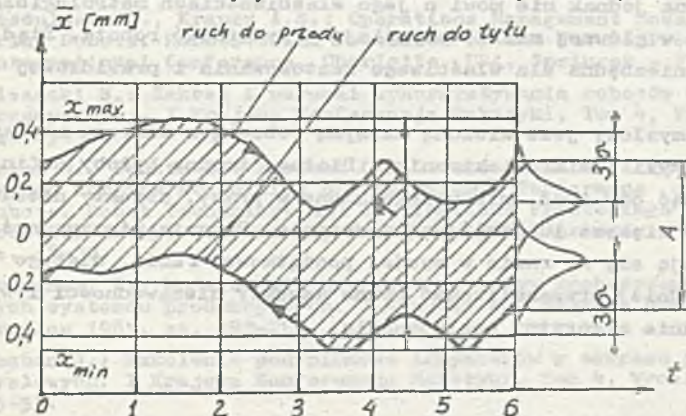
Przy budowie robotów problemem nie jest złożoność manipulowania. Jest to ich zasadnicza i naturalna właściwość odróżniająca od innych urządzeń technicznych [15]. Natomiast trudności w budowie robotów związane są ze spełnieniem wymagań, co do dużej dokładności manipulowania. Wpływ kinematyki i konstrukcji robotów na dokładność pozycjonowania uwiadcza się w postaci deformacji powstających i gromadzących się zarówno w ruchomych ogniwach, jak i w łożyskach. Zwykle w celu uniknięcia tych deformacji przed każdą roboczą zmianą dokonuje się sprawdzania prostokątności, równoległości i płaskości odpowiednich osi i płaszczyzn robota usytuowanych w prostokątnym cylindrycznym lub bieżmowym układzie współrzędnych.

W celu uproszczenia obliczeń i skrócenia czasu badań robota przy określeniu wpływu dynamiki na składową dynamiczną błąd pozycjonowania można stosować następującą procedurę [26]

- 1/ Dobrać rozkład prawdopodobieństwa błędu pozycjonowania.
- 2/ Za pomocą danego rozkładu określić pole rozrzutu Δ , odpowiadające na przykład prawu "trzy sigmowe".
- 3/ Porównać otrzymane pole z ustaloną tolerancją T na błąd pozycjonowania.

Oczywiście pełniejszą charakterystyką dokładności pozycjonowania będzie błąd sumaryczny - dynamiczny + statyczny oraz błąd histerezy otrzymany przy ruchu tam i z powrotem uchwytu ręki manipulatora.

Jedną z możliwych charakterystyk dokładności pozycjonowania pokazano na rys. 2. Na osi odciętych zaznaczono numery badań /lub czas t / a na osi



Rys.2. Charakterystyka dokładności pozycjonowania [26]

Fig.2. Characteristic of positioning accuracy [26]

rzędnych wartości średnie, minimalne oraz maksymalne parametru dokładności pozycjonowania. Zakreskowana część wykresu pozwala na określenie trendu dokładności pozycjonowania.

Przedstawiona charakterystyka metrologiczna robota ukazuje rzecz jasna jego chwilowy błąd. Zbadanie natomiast takiej charakterystyki w przeciągu dłuższego czasu pozwoli na wyznaczenie procesu zmian dokładności pozycjonowania. Po ocenie tego procesu i przeanalizowaniu jego właściwości probabilistycznych można będzie wyznaczyć interesujące wskaźniki niezawodności metrologicznej. Niektóre metody analizy niezawodności metrologicznej zostały podane w pracy [9].

Podobnie można postępować przy wyznaczaniu niezawodności związanej z błędem odtwarzania trajektorii.

W [20,24] podano metodykę oceny dokładności odtwarzania trajektorii ruchu. Za błąd w tym przypadku uważa się średnie odchylenie od zadanej trajektorii. Błąd ten zmienia się w czasie w zależności od zmiany parametrów kinematyki robota.

4. Uwagi końcowe

W artykule poruszono nie rozpatrywane dotąd zagadnienie niezawodności robotów przemysłowych ze względu na wymaganie dokładności.

Niezawodność katastroficzna robota wyznaczana na podstawie znanej funkcji intensywności uszkodzeń $\lambda(t)$ jest ważną charakterystyką eksploatacyjną. Nic ona jednak nie mówi o jego właściwościach metrologicznych. Właściwości te w głównej mierze określają przydatność robota. Stąd znajomość ich jest niezbędna dla właściwego zastosowania i prawidłowej eksploatacji.

Robot przemysłowy jest złożoną maszyną roboczą z zakresu mechaniki precyzyjnej optyki i mikroelektroniki. Dlatego trudno byłoby definitywnie rozstrzygnąć czy inne, nie uwzględnione w pracy, aspekty niezawodnościowe miałyby większe lub mniejsze znaczenie. Badania niezawodnościowe robotów znajdują się na razie w swojej początkowej fazie dlatego jest czas, aby dokładniej przeanalizować różne aspekty niezawodności i wypracować odpowiednie algorytmy postępowania.

LITERATURA

- [1] Badźmirowski K.: Wybrane zagadnienia rozwoju robotyzacji w przedsiębiorstwach resortu hutniczego i przemysłu maszynowego. Materiały I Krajowej Konferencji Robotyki, Tom 1. Wrocław 1985, ss.9-18

- [2] Chalikberdyev T.U.: *Niezawodność procesu technologicznego automatycznego montażu*. Materiały I Krajowej Konferencji Robotyki, Tom 4, Wrocław 1985, ss.125-130.
- [3] Chris M.: *Robots. Planing and Implementation*. IFS. Ltd, UK. Springer - Verlag, 1984.
- [4] Duggan F., Jones R.H., KHODABANDE-HLOO J.: *Towards Developing Reliability and Safety Related Standards Using Systematic Methodologies*. Robot Technology and Applications Proceedings of the 1-st Robotic Europe Conference, Brussels, 1984 Springer - Verlag. IFS. Ltd, UK, 1985, ss.90-107.
- [5] Figurski J.: *Modele eksploatacji robotów*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Wrocław 1985, ss.135-142.
- [6] Gilby J.H., Mayer R. and,...: *Dynamic Performance Measurement of Robot Arms*. Robot Technology and Applications Proceedings of the 1-st Robotics Europe Conference, Brussels 1984, ss. 31-44.
- [7] Kaczmarczyk A.: *Roboty przemysłowe lat osiemdziesiątych*. WKŁ, Warszawa 1984, ss. 150-162.
- [8] Kałuski J.: *Niezawodność metrologiczna przyrządów pomiarowych*. Skrypt Pol. Śl. nr. 1143, Gliwice 1983.
- [9] Kałuski J.: *Metody analizy niezawodności metrologicznej*. Rozprawa habilitacyjna. ZN seria Automatyka nr. 80. Gliwice 1985.
- [10] Knapczyk J., i inni ...: *Analiza dokładności pozycjonowania i orientacji manipulatorów z sześcioma parami obrotowymi*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 2, Wrocław 1985, ss. 31-40.
- [11] Kowalowski H.: *Badania i pomiary robotów przemysłowych w praktyce projektowo - konstrukcyjnej i wdrożeniowo - eksploatacyjnej*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 4, Wrocław 1985, ss. 9-17.
- [12] Lamainour P., Cornillie O.: *Industrial Robots*. Pergamon Pres Oxford, N.Y. Volumen 2. Toronto 1985.
- [13] Porecki A.: *Robotyka - kierunki prac badawczych i aplikacyjnych na świecie i w Polsce*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 1, Wrocław 1985, ss. 27-39.
- [14] Nesculescu D., Krausz A.S.: *Operations Management Models for Industrial Robots*. Robotics and Factories of the Future Proceedings of International Conference, Charlotte, USA. Springer - Verlag 1984.
- [15] Piasecki S.: *Zakres i warunki wykorzystywania robotów w produkcji przemysłowej*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 4, Wrocław 1985, ss. 29-34.
- [16] Priel M., Schatz B.: *Project for Development of a Photogrammetric Method for the Evaluation of the Dynamic Performans of Industrial Robots*. Robot Technology and Applications Proceedings of the 1-st Robotics Europe Conference, Brussels 1984, Springer - Verlag 1985, ss. 18-30.
- [17] Szumański Z.: *Modelowanie niezawodnej pracy zrobotyzowanych elastycznych systemów produkcyjnych*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 4, Wrocław 1985, ss. 193-200.
- [18] Szaban J.: *Szkolenie poddyplomowe inżynierów z zakresu robotów przemysłowych*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 4, Wrocław 1985, ss. 55-58.
- [19] Vukobratović M., Kirčanski M.: *Kinematics and Trajectory Synthesis of Manipulation Robots*. Scientific Fundamentals of Robotics 3. Springer - Verlag 1986.
- [20] Wantuł E., Zamorski J.: *Ocena dokładności pozycjonowania robota przemysłowego*. I Krajowa Konferencja Robotyki, Tom 2, Wrocław 1985, ss. 103-108.

- [21] Wiekulow R.W., Model B.I.: Diagnostyczne metody issledowanija promyszlennykh robotow. Maszynostrojenije Wypusk No 2, Moskwa - Budapeszt 1984, ss. 74-82.
- [22] Gibkije proizvodstwiennyje komplekсы. Pod red. W.A. Losenko, Maszynostrojenije, Moskwa 1984, ss. 369-371.
- [23] Frolov K.W.: Problemy i uspiewhi sowriemennogo maszinowiedienija. Maszynostrojenije, Wypusk No 2, Moskwa - Budapeszt 1984, ss. 13-20.
- [24] Marton J., i drugiye: Issledowanije tocznostnykh charakteristik okrasocznykh robotow. Maszynostrojenije, Wypusk No 2, Moskwa - Budapeszt 1984, ss. 21-23.
- [25] Promyszlennaja robototechnika. Pod red.
- [26] Promyszlennyje roboty dla miniaturnykh izdielij. Maszynostrojenije, Moskwa 1985.
- [27] Czou W. i drugiye: Issledowanija promyszlennykh robotow i robototechniczeskikh kompleksov. Maszynostrojenije, Wypusk No 2, Moskwa - Budapeszt 1984, ss. 37-42.
- [28] Young A.C.F.: Robototechnika. Maszynostrojenije, Moskwa 1979, ss. 276-289.

Recenzent: Prof.dr h.inż. Jerzy Jaźwiński

Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Резюме

В статье, на фоне общей теории надёжности, рассмотрены вопросы надёжности промышленных роботов, связанные с определением и видами отказов. Выделены внезапные и метрологические отказы. Соответственно этим отказам к предъявляемым требованиям сформулированы модели надёжности роботов. Уделено внимание вопросам исследований надёжности роботов с учётом метрологических требований, в частности, требований соответствующей точности позиционирования и траектории движения руки. Оговорены литературные источники по этой теме.

RELIABILITY PROBLEMS FOR INDUSTRIAL ROBOTS

Summary

On the background of general reliability theory the problem of industrial robots reliability is considered. Disaster and metrologic defects are distinguished. Respectively reliability models for robots are formulated taking into account requirements. The metrological requirements are indicated to include the role of reliability investigations. Particularly the positioning accuracy and the tracking of the arms movement trajectory are found to play the important role. Many references are discussed connected with robots reliability and generally understood their exploitation in industrial conditions.