

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
w Bydgoszczy



ZESZYTY NAUKOWE

Nr 6

MECHANIKA - EKSPLOATACJA

(3)

MATERIAŁY SEMINARIUM
NA TEMAT NIEZAWODNOŚCI MASZYN

10 marzec 1972 r.

BYDGOSZCZ 1973

WYŻSZA SZKOŁA INŻYNIERSKA
im. JANA I JĘDRZEJA ŚNIADECKICH
w Bydgoszczy

ZESZYTY NAUKOWE

Nr 6

MECHANIKA - EKSPLOATACJA

(3)

MATERIAŁY SEMINARIUM
NA TEMAT NIEZAWODNOŚCI MASZYN

10 marzec 1972 r.

1006

BYDGOSZCZ 1973

Redaktor naukowy: doc. dr inż. Lech M. Kamiński



Wydano za zgodą Rektora
Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Bydgoszczy

S p i s t r e ś c i

	Strona
Przedmowa	1
STEFAN ZIEMBA: Znaczenie badań urządzeń technicznych	3
BOLESŁAW WOJCIECHOWICZ: Trwałość i niezawodność na etapie eksploatacji maszyn	15
ANDRZEJ JAZDON: Badania niezawodności motorowerów w warunkach eksploatacyjnych	31
WITOLD ŁOŚ, KAZIMIERZ ZAWIŚLAK: Stany graniczne w zagadnieniach trwałości i niezawodności	57
JÓZEF SZALA: Trwałość zmęczeniowa konstrukcji - wybrane zagadnienia	67

C o n t e s

STEFAN ZIEMBA: Significance of tests of technical instalations	
BOLESŁAW WOJCIECHOWICZ: Durability and reliability on the machine exploitation	
ANDRZEJ JAZDON: Motor-Bicycle reliability tests in the condotions of exploitation	
WITOLD ŁOŚ, KAZIMIERZ ZAWIŚLAK: Limit states in the durability and reliability problems	
JÓZEF SZALA: Construction fabigue durability - drosen problems	

Стефан Земба: Значение исследований технических устройств	
Болеслав Войцехович: Надёжность и долговечность в стадии эксплуатации машин	
Андрей Яздон: Исследования надёжности моторолоскпедов в эксплуатационных условиях	
Витольд Лось, Казимеж Зависляк: Предельное состояние в вопросах надёжности и долговечности	
Юзеф Шала: Усталостная прочность конструкции - изображение вопросы	

P r z e d m o w a

Zeszyt zawiera referaty wygłoszone na Seminarium Naukowym pt.: "Zagadnienia niezawodności maszyn i urządzeń mechanicznych", zorganizowanym przez Koło Uczelniane Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wydziału Mechanicznego Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Bydgoszczy. W Seminarium uczestniczyli pracownicy Uczelni, przedstawiciele innych ośrodków naukowych i pracownicy przemysłu. Zagadnienia przedstawione na Seminarium posiadają duże znaczenie w przemyśle budowy maszyn z uwagi na podnoszenie jakości wytworów. Prace prowadzone w tym kierunku przez pracowników naszej Uczelni w powiązaniu z przemysłem wykazały możliwość rozwiązywania problemów niezawodności w urządzeniach mechanicznych. Konieczna jest jeszcze szersza współpraca Uczelni z przemysłem w zakresie badań trwałości i niezawodności, a szczególnie prac nad określeniem stanów granicznych, przyspieszonych metod badań niezawodności oraz optymalizacji konstrukcji.

W imieniu Komitetu Organizacyjnego składam podziękowanie wszystkim osobom, które przyczyniły się do zorganizowania Seminarium i powstania niniejszego zeszytu. Szczególnie gorąco dziękuję Prof. dr hab. inż. Stefanowi Ziembie i Prof. dr hab. inż. Bolesławowi Wojciechowiczowi za udzieloną pomoc.

Za Komitet Organizacyjny

/doc.dr inż. Lech M. Kamiński/

Stefan Ziemba^{x/}

Znaczenie badań urządzeń technicznych

POJĘCIE URZĄDZENIA

W języku potocznym używamy co najmniej kilkanaście nazw różnorodnych obiektów technicznych, które mogą być przedmiotem badań z punktu widzenia ich optymalnego zastosowania. Wymieniamy tutaj niektóre z nich: sprzęt techniczny, środek techniczny, układ techniczny, narzędzie, przyrząd, maszyna, aparat, aparatura, automat, instrument, mechanizm, agregat, instalacja, zestaw techniczny, wyposażenie, osprzęt, budowla. W tej sytuacji istnieje potrzeba zdecydowania się na pewną nazwę ogólną, oznaczającą dowolny obiekt techniczny bez względu na to, czy jest on mały czy duży, prosty czy złożony, mechaniczny czy elektryczny.

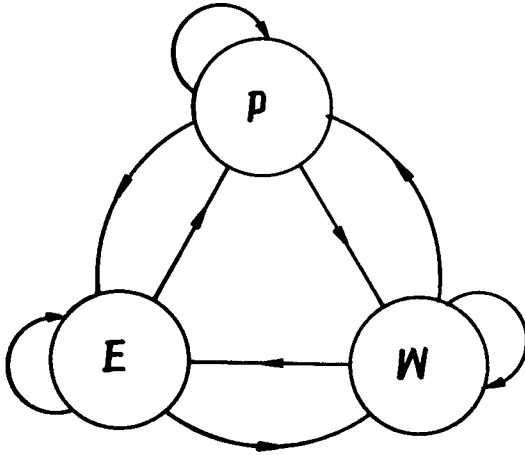
Jako nazwę ogólną na dowolny obiekt techniczny proponuje się przyjmując termin urządzenie.

Każde urządzenie charakteryzuje się pewnymi cechami ogólnymi, a mianowicie:

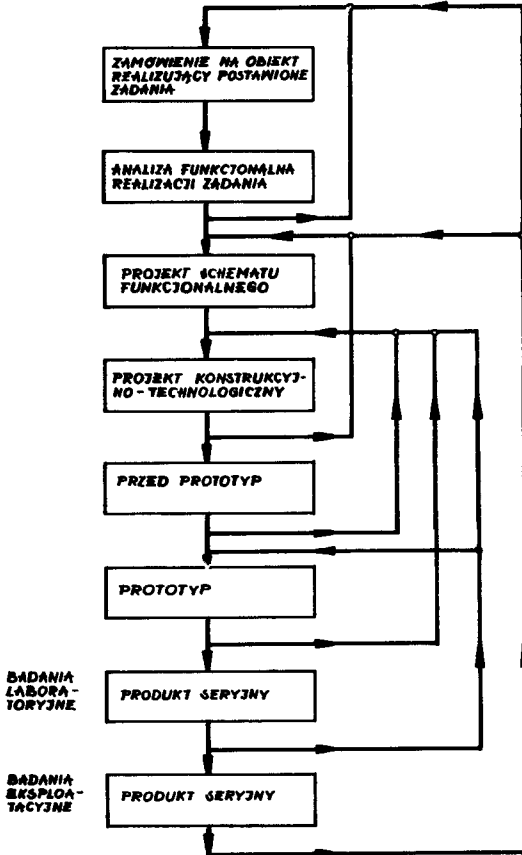
- funkcjonuje zgodnie z prawami fizyki,
- jest ono celowym wytworem człowieka z materii nieożywionej,
- ma określone przeznaczenie /zbiór możliwych zastosowań/,
- ulega uszkodzeniom i najczęściej wymaga obsługi,
- ma skończoną żywotność,
- może być celowo użytkowane tylko przez człowieka,
- przechodzi w swojej historii przez trzy kolejne fazy, konstrukcji - wytwarzania - eksploatacji /rys. 1/
- może być ulepszone /rys. 2/
- może szkodzić człowiekowi.

^{x/} prof.dr hab. inż. Stefan Ziemba

Członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk



Rys. 1.



Rys. 2.

- Każdy obiekt materialny może znajdować się w różnych stanach, tzn. w stanie zdatności lub niezdatności, jeśli idzie o możliwość wykorzystania go do określonego celu.
- Każdemu stanowi obiektu towarzyszą określone objawy,
- Wyznaczaniem stanu obiektu na podstawie obserwacji objawów /lub innej wiedzy o rozpatrywanym obiekcie/ zajmuje się diagnostyka.
- Każde realnie istniejące urządzenie techniczne charakteryzuje się pewną zawodnością. Zawodność ta jest związana z zawodnością poszczególnych elementów, z których składa się obiekt. Okoliczność ta powoduje, że obiekt składający się z n elementów może znajdować się w 2^n różnych stanach. Jeżeli wszystkie elementy obiektu są zdadne, tzn. obiekt znajduje się w stanie zdatności, to pozostaje $2^n - 1$ stanów, w których obiekt jest niezdatny.
Można wyodrębnić dwa zadania diagnostyki:
 - 1/ stwierdzenie, czy obiekt znajduje się w stanie zdadnym,
 - 2/ jeżeli obiekt jest niezdatny, to w którym ze $2^n - 1$ stanów niezdatności on się znajduje.

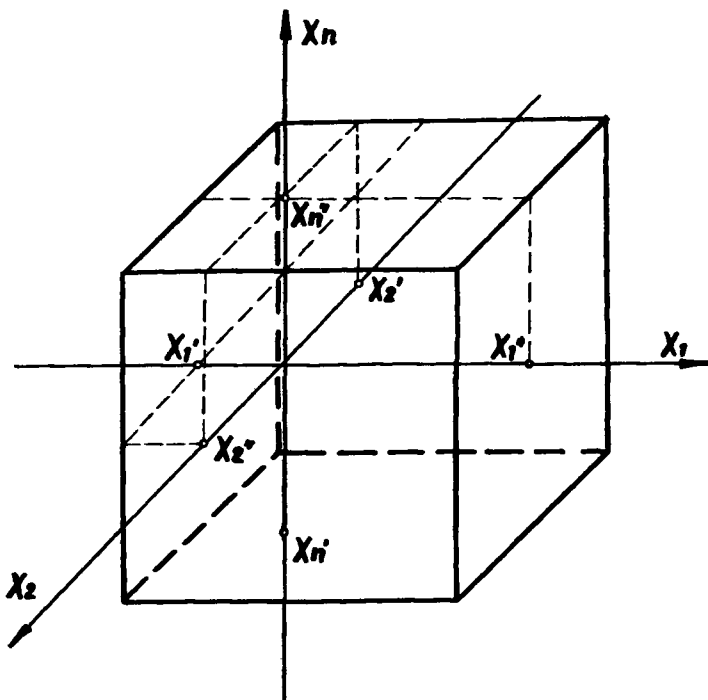
- Każdemu stanowi uszkodzonego obiektu towarzyszy określony zbiór objawów. Z reguły istnieje możliwość obserwowania tylko niektórych objawów. Dlatego każda wypowiedź co do istnienia takiego czy innego stanu nie jest pewna, Oznacza to, że znajdowanie się obiektu w określonym stanie jest zdarzeniem losowym.
- Każdy obiekt materialny, który może znajdować się więcej niż w jednym rozróżnialnym stanie, może być obiektem diagnostycznym.
- Od każdego obiektu /elementu/ wymagamy spełniania określonych czynności przez określony czas w warunkach oddziaływania zespołu, czynników, powodujących zmiany poszczególnych własności obiektu. Takimi są dla obiektów technicznych np.: temperatura obiektu, temperatura otoczenia, wilgotność otoczenia, drgania i wstrząsy spowodowane przez bodźce zewnętrzne.

Czynniki wymuszające można podzielić na dwie grupy: grupę czynników wynikających z czynności wykonywanych przez obiekt w konkretnym jego zastosowaniu, oraz grupę czynników wynikających z warunków w jakich obiekt się znajduje. Czynniki wymuszające należące do pierwszej grupy nazywamy czynnikami roboczymi, natomiast czynniki należące do grupy drugiej - czynnikami zewnętrznymi.

Robocze czynniki wymuszające znikają, gdy obiekt przestaje wykonywać czynności, do których jest przeznaczony, natomiast czynniki zewnętrzne działają na obiekt niezależnie od tego, czy znajduje się on w stanie pracy czy nie.

- Obiekty możemy scharakteryzować za pomocą dwóch zbiorów cech: zbioru cech mierzalnych oraz zbioru cech niemierzalnych.

W konkretnym zastosowaniu obiektu możemy dla każdej z cech mierzalnych podać dopuszczalne granice, tak że każda wartość cechy, zawarta w tym przedziale, odpowiada poprawnemu działaniu obiektu - a ściślej - stanowi zdadności obiektu.



Rys. 3.

Jeśli do jednoznacznego opisu stanu obiektu potrzeba n cech mierzalnych: x_1, x_2, \dots, x_n , takich, że

$$x_1' \leq x_1 \leq x_1''; \quad x_2' \leq x_2 \leq x_2''; \quad \dots \quad x_n' \leq x_n \leq x_n''$$

to przestrzeń n -wymiarową stanów obiektów można podzielić na dwie części:

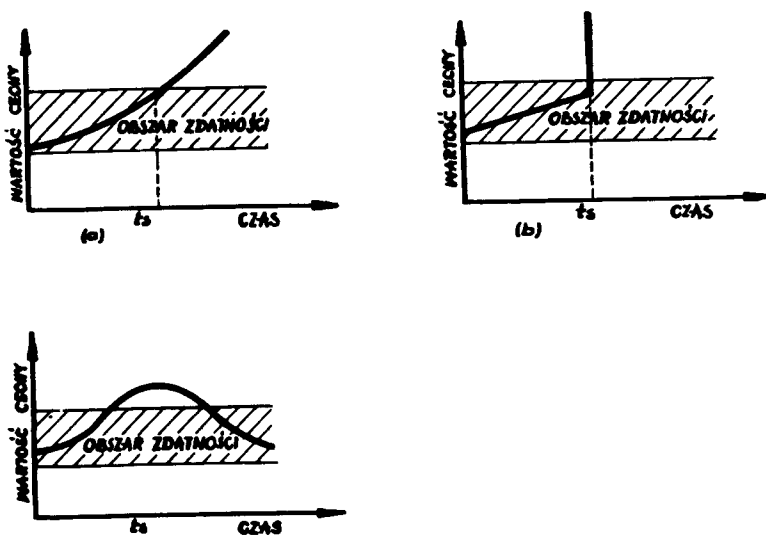
Obszar stanów zdadności - kostka n -wymiarowa

Obszar stanów niezdadności - reszta przestrzeni.

- Uszkodzeniem obiektu nazywamy zdarzenie polegające na tym, że co najmniej jedna z mierzalnych lub niemierzalnych cech obiektu przestaje spełniać wymagania.

Uszkodzenia obiektów zachodzą w trojaki sposób:

- a/ na skutek powolnych, nieodwracalnych procesów starzeniowych zachodzących w obiekcie.
- b/ w wyniku pojawienia się procesów odwracalnych, o różnej szybkości przebiegu wywołanych przez czasowe /chwilowe/ przekroczenie dopuszczalnych wartości jednego lub więcej czynników wymuszających,
- c/ w sposób skokowy, objawiający się nieciągłym przejściem jednej lub więcej cech mierzalnych bądź niemierzalnych poza granice przyjęte za dopuszczalne w danym zastosowaniu obiektu.



Rys. 4.

- Każdy element obiektu może znajdować się w dwóch stanach: w stanie zdatności lub w stanie niezdatności.
- Uszkodzenie elementu możemy zdefiniować jako przejście elementu ze stanu zdatności do stanu niezdatności /rys. 1 - punkt reprezentujący stan elementu wychodzi z kostki stanów zdatności w obszar stanów niezdatności/

- jeżeli obiekt składa się z n elementów, to liczba stanów, w jakich n może się znajdować wyznacza wzór:

$$\underline{N / E / = 2^n}$$

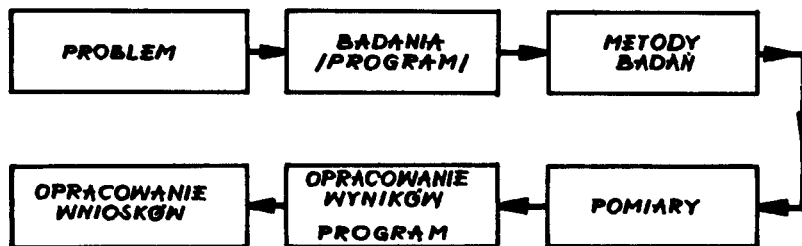
Widzimy, że ze wzrostem liczby elementów szybko wzrasta liczba stanów, w jakich może znajdować się obiekt.

BADANIA DIAGNOSTYCZNE

Badania urządzeń technicznych

Każdy proces badań danego obiektu technicznego

- jako proces roboczy - można przedstawić z pomocą schematu blokowego /rys. 5/



Rys. 5.

- badaniem diagnostycznym nazywamy pewien tok postępowania, mający na celu wyznaczenie stanu obiektu.

Szeroko rozumiane badania diagnostyczne mogą dotyczyć oceny stanu obiektu - o szerokim rozumieniu stanu - z bardzo rozmaitych punktów widzenia; dotyczyć one mogą:

- oceny funkcjonalności rozwiązania konstrukcyjnego,
- oceny rozwiązania konstrukcyjnego z punktu widzenia nowoczesności: cech dynamicznych, stabilności, drgań, sztywności dynamicznej,

wytrzymałościowego:

nośności, sztywności statycznej, doboru tworzyw,

technologiczności:

naprawialności,

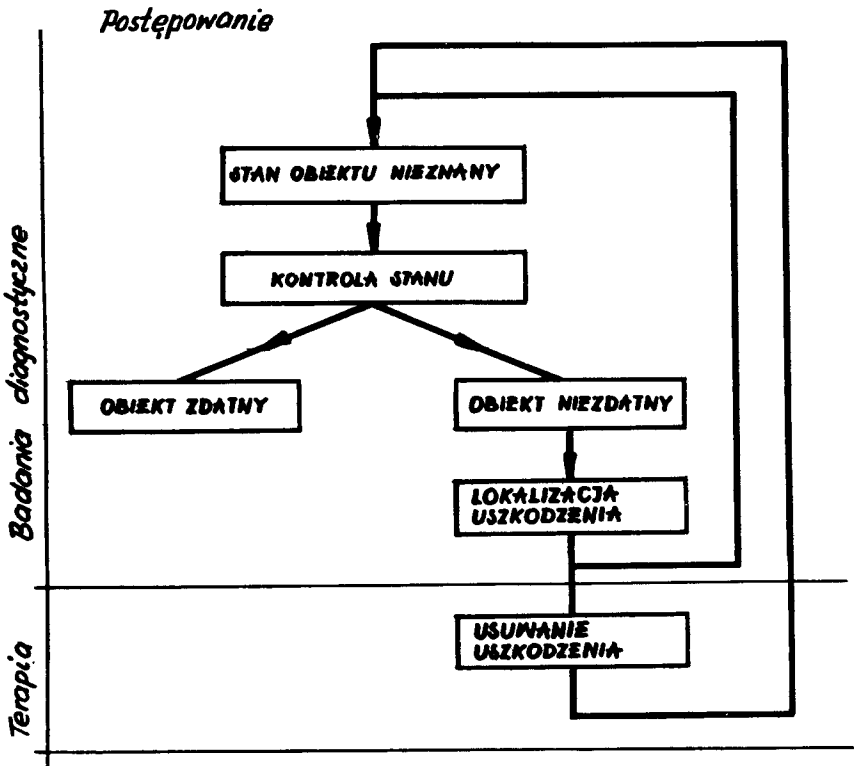
sprawności energetycznej itd.

- oceny obiektu z punktu widzenia niezawodności
- oceny obiektu z punktu widzenia trwałości
- oceny obiektu z punktu widzenia żywotności względnie stadium zużycia.

Odpowiada to w przybliżeniu innemu podziałowi badań na:

- badania kontrolne
- badania diagnostyczne
- badania profilaktyczne

W węższym rozumieniu badania diagnostyczne dotyczą postępowania, mającego na celu wyznaczenie stanu zdatności /czy niezdatności/.



Rys. 6.

- Postępowanie diagnostyczne - w tym węższym rozumieniu - z którego schemat blokowy przedstawia rys.6, ze względu na konstrukcję zbioru N /E/ stanów obiektu, dzielimy na pewne fazy.

Pierwsza faza - nazywamy ogólnie kontrolą stanu.

Polega ona na rozdzielaniu wszystkich możliwych stanów na dwie grupy: grupę stanów, w których obiekt jest zdatny, grupę stanów, w których obiekt jest niezdatny.

A/ Postępowanie diagnostyczne kończymy, gdy stwierdzamy, że obiekt znajduje się - w stanie zdatności.

B/ Natomiast, gdy stwierdzimy, że obiekt jest niezdatny to przechodzimy do drugiej fazy diagnostyki, powszechnie określanej jako lokalizacja uszkodzenia.

Ponadto badany rodzaj uszkodzenia, szukamy ewentualnych przyczyn uszkodzenia jak też rozpatrujemy sposoby zapobiegania tego rodzaju uszkodzeniom - czyli opracowujemy profilaktykę.

W trzeciej fazie diagnostyki usuwamy uszkodzenie /terapia/ i przechodzimy do fazy wyjściowej tej kontroli stanu.

Trzeciej fazy w zasadzie nie zaliczamy do procesu diagnostycznego, jednak w praktyce fazy lokalizacji i fazy usuwania uszkodzenia przeplatają się wzajemnie i najczęściej ich się nie rozdziela w sposób wyraźny.

- Każdemu stanowi obiektu towarzyszą pewne zjawiska, które nazywamy objawami stanu obiektu. Są to często obserwowane pewne odchylenia parametrów obiektu od wymagań. Wykorzystanie informacji zawartej w objawach stanu obiektu pozwala często na uproszczenie procesu diagnostycznego.

- Przejście któregoś elementu obiektu ze stanu zdatności do stanu niezdatności jest zdarzeniem losowym.

Może ono zajść lub niezaistnieć.

Losowość tego zdarzenia /uszkodzenia/ uwarunkowana jest losowym charakterem czynników wymuszających.

Zatem jasne, że objawy towarzyszące określonej stanowi obiektu są zdarzeniami losowymi.

Ponieważ poszczególne zdarzenia związane z obiektem są losowe, możemy mówić tylko o szansach zajścia zdarzenia. Miarą szansy zajścia zdarzenia losowego jest jego prawdopodobieństwo.

- Każdy obiekt posiada swoją strukturę /budowę/ funkcjonalną, którą można zobrazować na schemacie.

Rozróżniamy schematy:

ideowe, blokowe, kinematyczne.

Obok struktury funkcjonalnej obiekt ma strukturę:

niezawodnościową i diagnostyczną /ta w szerokim rozumieniu diagnozy -
zależy od celu diagnozy/.

Struktura niezawodnościowa obiektu

Obiekty składają się z elementów.

Każdy element spełnia w obiekcie ściśle określoną rolę, a układ wszystkich elementów w obiekcie tworzy jego strukturę funkcjonalną.

Struktura niezawodnościowa ujęcie układu elementów w obiekcie w schemacie ilustrującym w jaki sposób niezawodność obiektu zależy od niezawodności jego elementów.

Mówimy, że obiekt ma szeregową strukturę niezawodnościową wówczas, gdy jest on w stanie zdatności, jeżeli **wszystkie** jego elementy są w stanie zdatności, znajduje się on w stanie niezdatności, jeżeli chociażby jeden z elementów jest uszkodzony. Oznacza to, że niezależnie od struktury funkcjonalnej obiektu, jeżeli uszkodzenie chociażby jednego elementu pociąga za sobą uznanie całego obiektu za uszkodzony, to takiemu obiektowi przypisujemy szeregową strukturę niezawodnościową.

Mówimy, że obiekt ma równoległą strukturę niezawodnościową, jeżeli jego uszkodzenie wiąże się z uszkodzeniem **wszystkich** elementów wchodzących w jego skład.

Istnieją również obiekty o mieszanej strukturze niezawodnościowej.

Stefan Ziemia

ZNACZENIE BADAŃ URZĄDZEŃ TECHNICZNYCH

/streszczenie/

W pierwszej części artykułu przedstawiono systematykę pojęć związanych z urządzeniami i jego stanami z punktu widzenia niezawodności.

Część druga omawia znaczenie badań urządzeń technicznych a szczególnie badań diagnostycznych.

Stefan Ziemia

SIGNIFICANCE OF TESTS OF TECHNICAL INSTALLATIONS

It is shown in the first part of the work a systemization of terminology bound with the installations and their states as to the reliability.

The second part deals with the test value of the technical installations and particularly the diagnostic tests.

Стефан Земба

Значение исследований технических устройств

В первой части статьи представлена систематика понятий связанных с устройствами и их состоянием с точки зрения надёжности.

Вторая часть описывает значение исследований механических устройств, а особенно механической диагностики.

Trwałość i niezawodność na etapie
eksploatacji maszyn

Każda maszyna czy urządzenie przechodzi trzy kolejne etapy: pro - jektowanie, wytwarzanie i eksploatację.

Konstruktor, podejmując swe zadanie, dąży przede wszystkim do za - pewnienia obiektowi wymaganych charakterystyk technicznych, wynikających z warunków realizacji przez obiekt funkcji, do których został on prze - znoszony. Równocześnie konstrukcja musi być technologiczna, zarówno z punktu widzenia wytwarzania jak i eksploatacji. Maszyna czy urządzenie posiadająca wszystkie wymienione cechy musi być jednak również nieza - wodna w eksploatacji, musi posiadać trwałość warunkującą spełnienie funkcji w założonym okresie eksploatacji. Fundamenty trwałości i niezawodności winny być założone już na etapie projektowania.

Dla rozwiązania tego zadania konstruktor posługuje się zarówno a - nalizą porównawczą różnych wariantów konstrukcji, analizą trwałości i niezawodności elementów i zespołów konstrukcji własnej i - w końcu - wy - nikami badań prototypów doświadczalnych, które dają podstawę do oceny przyjętych rozwiązań.

Warunkiem zapewnienia w seryjnej produkcji wysokiej niezawodności założonej w procesie projektowania jest zachowanie wymaganego poziomu procesu technologicznego, poziomu mechanizacji i automatyzacji, rytmiczności pracy przedsiębiorstwa oraz efektywności systemu kontroli tech - nicznej.

Wysoka niezawodność powinna być zakładana przy projektowaniu, uzyskiwana na etapie wytwarzania i zabezpieczana w procesie eksploatacji ma - szyny. W procesie eksploatacji wyróżnić możemy trzy charakterystyczne okresy:

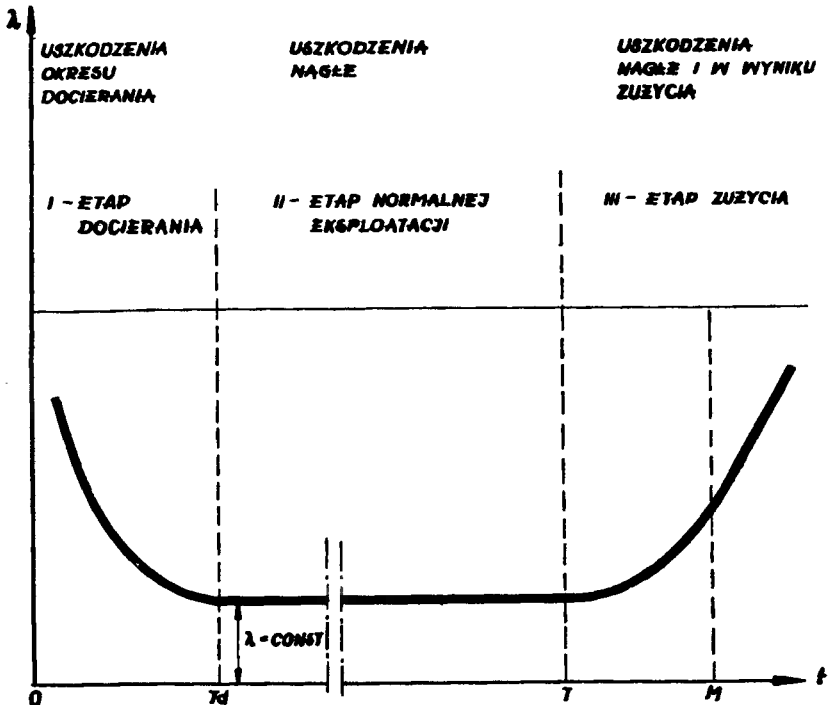
Prof.dr hab.inż. B.Wojciechowicz Dyrektor Instytutu Maszyn Roboczych
Politechniki Poznańskiej

I okres docierania, II okres normalnej eksploatacji i III okres zużycia /rys. 1/, różniące się intensywnością i charakterem występujących uszkodzeń.

W okresie docierania maszyny czy urządzenia mechanicznego, charakteryzującym się dużą intensywnością uszkodzeń, uszkodzenia następują przede wszystkim w wyniku istnienia elementów posiadających błędy produkcyjne, niewłaściwie wykonanego montażu lub t.p.

Okres II - normalnej eksploatacji przebiega w przybliżeniu ze stałą intensywnością uszkodzeń. Uszkodzenia te są przede wszystkim wynikiem wzrostu obciążeń, przekraczających obciążenia obciążeniowe. Uszkodzenia nagłe, występujące w obu tych okresach, mają charakter losowy.

W III okresie eksploatacji obok uszkodzeń nagłych występują uszkodzenia będące wynikiem zużycia i starzenia elementów i materiałów.



Rys. 1.

Zmiany intensywności uszkodzeń w procesie eksploatacji maszyny

Intensywność tych uszkodzeń szybko wzrasta i one stanowią o stanie elementu, zespołu i całego obiektu. Po osiągnięciu wartości granicznej zużycia /lub w czasie zapewniającym odpowiednie wyprzedzenie/ element lub zespół zostaje wycofany z eksploatacji.

Czas pracy elementu lub zespołu do osiągnięcia zużycia granicznego zależy przede wszystkim od ich własności /nadanych w procesie wytwarzania/ stanowiących o odporności na zużycie /wytrzymałość powierzchniowa/. Okres eksploatacji zależy również w dużym stopniu od przestrzegania w procesie eksploatacji wymogów wynikających z założeń przyjętych przez konstruktora, podanych w instrukcji technicznej obsługi obiektu.

Rozważmy, jaki wpływ na przebieg procesu zużycia dowolnego elementu mają właśnie czynniki związane z eksploatacją maszyny czy urządzenia.

Procesy zużycia rozpoczynają się w elementach i zespołach maszyny w momencie jej pierwszego uruchomienia i trwają przez cały okres eksploatacji. Procesy te zachodzą w warstwie wierzchniej^{1/} elementów podda - nych tarcia lub kontaktowym obciążeniom i prowadzą do zmian kształtu i wymiarów elementu na skutek odkształceń plastycznych lub ubytku mate - riału z powierzchni roboczej.

Przebieg zużycia - skutków zużycia - w czasie jest różny i zależy od charakteru zachodzących procesów. Na rys.2 przedstawione zostały typowe przebiegi zużycia /tzw.krzywe zużycia/.

Najbardziej charakterystyczny przebieg zużycia /rys. 2a/ zawiera w so - bie trzy okresy/:

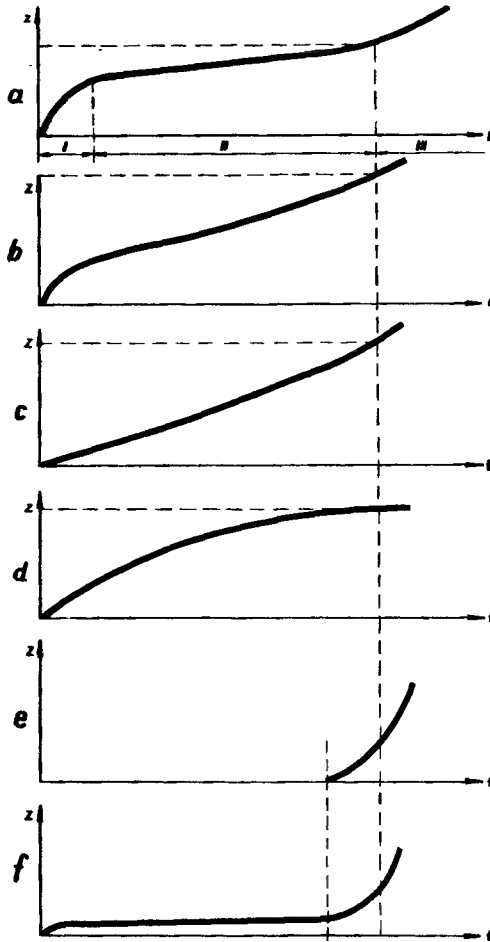
I - okres docierania, II - okres normalnej eksploatacji i III - okres zużycia awaryjnego.

W chwili rozpoczęcia procesu docierania element posiada własności ukształtowane w wyniku kolejnych operacji technologicznych wytwarzania. Własności te, to przede wszystkim:

stan warstwy wierzchniej, kształt elementu, wymiary, chropowatość po - wierzchni. W okresie docierania zachodzi "przekształcanie", dostosowa - nie tych własności do warunków pracy elementu. Np. w parze ślizgowej czop - panew zachodzi wzajemne dopasowywanie się powierzchni ślizgo - wych, zmiana struktury chropowatości powierzchni, zmiana struktury war - stwy wierzchniowej itp. W okresie docierania intensywność procesu /in - tensywność zużycia/ jest duża: jednak w miarę zbliżania się do końca tego okresu intensywność maleje.

Okres normalnej eksploatacji, w procesie przebiegającym wg krzywej 2a, charakteryzuje się w przybliżeniu ustabilizowaną intensywnością zu - życia.

1/warstwa materiału pod powierzchnią geometryczną, której własności /skład chemiczny, struktura lub tp./ różnią się od własności materia - łu znajdującego się pod tą warstwą.



Rys. 2.

Typowe przebiegi zużycia części maszyn

- a/ przeguby łańcuchów, czopy i panwie łożysk, gładzie cylindrów, pierścienie tłokowe
- b/ przeguby gąsienic, nieuszczelnione łożyska maszyn rolniczych i innych narażonych na zanieczyszczenie
- c/ grzybki i gniazda zaworów
- d/ organy robocze maszyn do prac ziemnych /rolniczych, budowlanych, melioracyjnych/
- e/ części ulegające zużyciu zmęczeniowemu /koła zębate - niektóre łożyska toczne/ oraz części ulegające zużyciu kawitacyjnemu
- f/ łożyska toczne słabo obciążone i dobrze smarowane i uszczelnione łożyska ślizgowe

Trzeci okres następuje w momencie, gdy zachwiana została stabilizacja występująca w procesie w okresie poprzednim. Wynikać to może np. z nadmiernych luzów połączenia ślizgowego, prowadzących do wzrostu dynamiczności obciążeń, przedostawania się zanieczyszczeń na powierzchnie ślizgowe, braku smaru lub tp.

Przebieg zużycia przedstawiony na rys. 2a charakterystyczny jest m.in. dla przegubów łańcuchów, czopów i panwi łożysk, gładzi cylindrów, pierścieni tłokowych.

W okresie normalnej eksploatacji wartość zużycia może nie być proporcjonalna do czasu. Często nie obserwuje się okresów docierania lub okresów zużycia awaryjnego.

Przebieg zużycia przedstawiony na rys. 2b jest charakterystyczny dla przegubów gąsienic i części układu jezdnych pojazdów gąsienicowych, nieuszczelnionych łożysk maszyn rolniczych i innych narażonych na zanieczyszczenie. Wskutek wzrostu luzów, wzrasta prawdopodobieństwo przedostawania się cząstek gleb lub gruntów w obszar tarcia. Dlatego już po okresie docierania intensywność zużycia ciągle wzrasta.

Krzywa na rys. 2c wskazuje, że intensywność zużycia elementu wzrasta już od chwili rozpoczęcia pracy. Taki przebieg zużycia jest charakterystyczny np. dla grzybków i gniazd zaworów. Pojawienie się niewielkich śladów zużycia na powierzchniach roboczych powoduje progresywny wpływ oleicy lub gazu w momentach otwierania i zamykania zaworu, co z kolei prowadzi do przyspieszania zużycia.

Dla organów roboczych maszyn i narzędzi rolniczych i do prac ziemnych charakterystyczny jest przebieg zużycia przedstawiony na rys. 2d. Początkowo zużycie lemieszów i zębów koparek zachodzi z dużą intensywnością, a następnie intensywność zużycia maleje.

Krzywa na rys. 2e odznacza się tzw. utajonym zużyciem. W pierwszym okresie pracy wartość pomiaru zużycia jest równa zero, a raczej jest niemierzalna dostępnymi metodami pomiaru zużycia. Krzywą tę uważano za charakterystyczną dla części ulegających zużyciu zmęczeniowemu np. łożysk tocznych, niektórych kół zębatach, a także dla części ulegających zużyciu kawitacyjnemu.

Pomiary zużycia łożysk tocznych metodą atomów znaczących wykazały jednak, iż już od chwili rozpoczęcia pracy ulegają one zużyciu. Przebieg zużycia łożysk tocznych przedstawiono na rys. 2f.

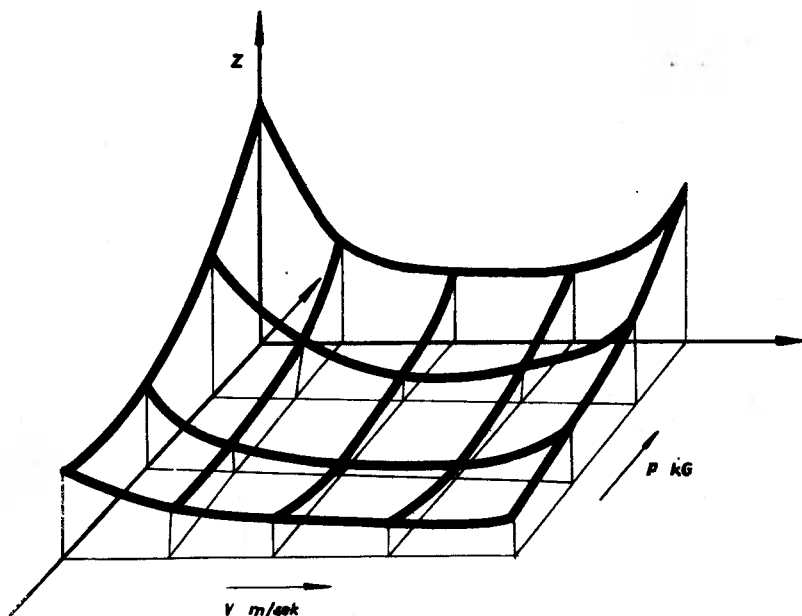
Słabo obciążone i dobrze smarowane łożyska ślizgowe mogą również długo pracować bez zauważalnego zużycia. W rezultacie pogarszania się pracy uszczelnień w obszar tarcia tych łożysk przedostają się cząstki ścierniane, a także pogarszają się warunki smarowania.

Po pewnym czasie łożyska te mogą ulegać szybkiemu zużyciu. Charakter krzywej przebiegu zużycia czopów i panwi tych łożysk, przedstawiony na

rys. 2e lub 2f, związany jest ze zmianami warunków zużycia. Omówione przebiegu zużycia dotyczą elementów maszyn pracujących przy ustalonych parametrach i w ustalonych warunkach, z zachowaniem ciągłości pracy.

Są więc one niejako wyidealizowane w stosunku do rzeczywistej eksploatacji maszyn.

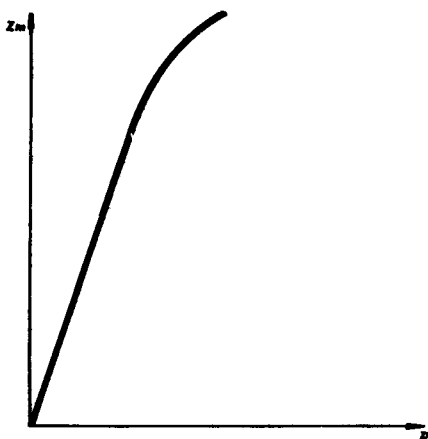
Charakterystyczne dla procesu eksploatacji większości maszyn zmiany parametrów pracy decydują o wartości obciążeń działających na elementy i węzły. Wartość obciążeń, ich charakter wpływają w sposób zasadniczy na intensywność procesu zużycia.



rys. 3.

Wykres zużycia przy tarcia pary: stal-stal
w zależności od prędkości ruchu i nacisku
nominalnego

Wykres na rys.3 ilustruje zależność intensywności zużycia od prędkości ruchu i wartości nacisku nominalnego dla pary stal-stal. Charakterystyczne są wzrosty intensywności zużycia dla dużych prędkości i dużych nacisków i małych prędkości i dużych nacisków.

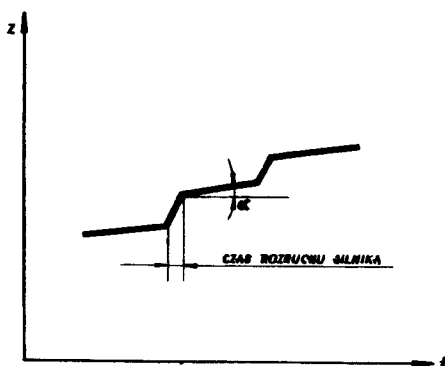


Rys. 4.

Zależność zużycia /liniowego/ od obciążenia /zużycie ścierane/ dla małych prędkości ruchu względnego

Rys.4 przedstawia przebieg zależności: zużycie - obciążenie dla pary pracującej w warunkach zużycia ściernego. Należy podkreślić, że dla określonych warunków tarcia istnieją graniczne wartości prędkości oraz graniczne wartości obciążeń, przekroczenie których prowadzi do zużycia awaryjnego.

W procesie eksploatacji większości maszyn zachodzą przerwy w pracy. Intensywność zużycia trących się części w okresie rozbiegu i wybiegu jest wyższa niż w okresie pracy ustalonej.

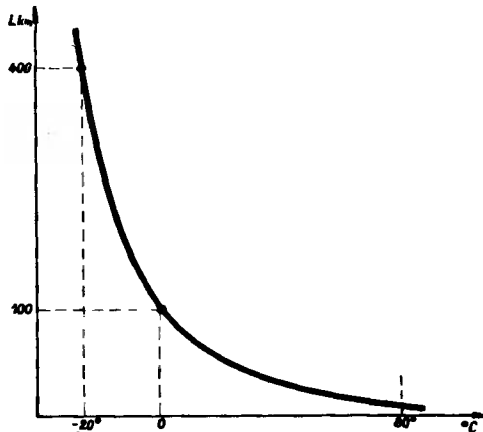


Rys. 5.

Odcinek krzywej przebiegu zużycia części silnika spalinowego w okresie normalnej eksploatacji

W takim przypadku przebieg zużycia po okresie docierania będzie miał charakter przedstawiony na rys. 5.

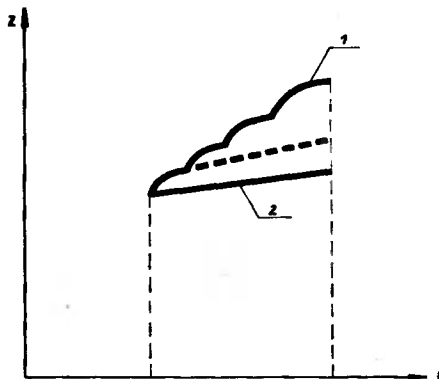
Intensywność wpływu przerw w pracy silnika na zużycie części układu: tłok - cylinder ilustrują wyniki badań przedstawione na rys. 6.



Rys. 6.

Wartość zużycia gładzi cylindrowej podczas uruchamiania silnika w zależności od temperatury otoczenia, wyrażona w równoważnej jej liczbie kilometrów przebiegu rozgrzanego silnika

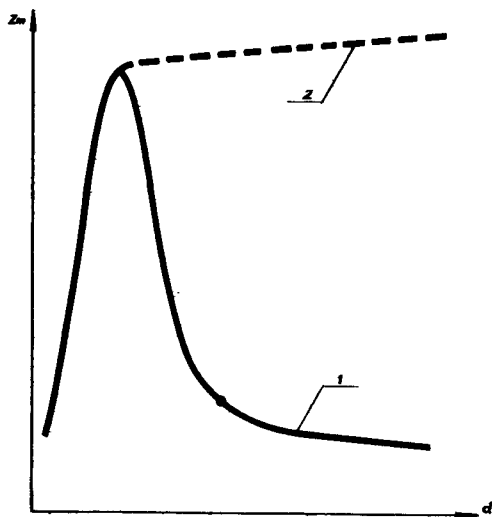
Duży wpływ na przebieg zużycia węzłów kinematycznych mają zanieczyszczenia przedostające się z otoczenia do smarów lub wprost w obszar tarcia węzłów kinematycznych. Przebieg zużycia skojarzeń ślizgowych narażonych na zanieczyszczenia cząstkami ściernymi przedstawiono na rys.7.



Rys. 7.

Odcinek krzywej przebiegu zużycia opozów i panwi łożysk ślizgowych narażonych na zanieczyszczenie cząstkami gleb /krzywa 1/ i nienarażonych /krzywa 2/

Krzywa 2 przedstawia przebieg zużycia w warunkach tarcia bez zanieczyszczeń ściernych. Krzywa 1 - przebieg zużycia tych samych części przy okresowym przedostawaniu się zanieczyszczeń ściernych w obszar tarcia. Na rys. 8 przedstawiono wyniki badań wpływu zapylenia powietrza na zużycie części silnika spalinowego.



Rys. 8.

Wpływ zapylenia powietrza na zużycie gładzi cyklin-drowej silnika spalinowego /1 - z filtrem, 2 - bez filtra/

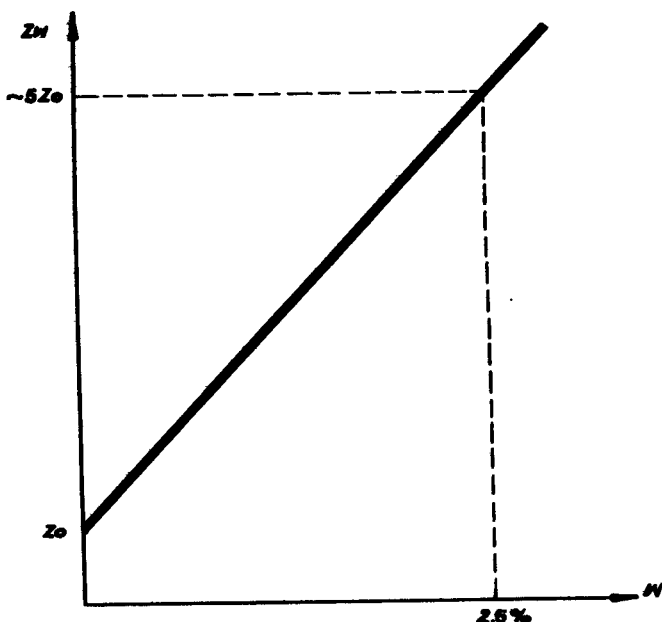
Porównanie przebiegu krzywej odpowiadającej pracy silnika z filtrem i bez filtra stanowi wymowne potwierdzenie roli filtra i potrzeby troski o jego sprawność.

Rys. 9 ilustruje wpływ ilości piasku kwarcowego zawartego w smarze plastycznym na zużycie łożysk ślizgowych.

Wprowadzenie np. 2,5 % /wagowo/ piasku powoduje ok. 5-cio krotny wzrost zużycia - w stosunku do zużycia bez udziału piasku.

Należy wreszcie podkreślić wpływ smarów i smarowania na przebieg zużycia par ślizgowych w maszynach.

Wskutek procesów fizycznych i chemicznych, zachodzących w obszarze tarcia, smary tracą swe początkowe właściwości. Wysokie ciśnienia, wysokie temperatury, obecność w smarze innych cieczy oraz gazów, a także katalityczne działania skojarzonych materiałów powodują, że procesy fizykochemicznych zmian smaru zachodzą w obszarze tarcia ze znacznie większą prędkością niż w dużych objętościach smaru przechowywanego. Również, praktycznie biorąc, nieuniknione jest zanieczyszczenie smaru produktami zużycia, pyłem, cząstkami materiałów obrabianych przez maszynę, a w sil-



Rys. 9.

Wpływ ilości piasku kwarcowego w smarze /plastycznym/ na zużycie łożysk ślizgowych

nikach spalinowych - produktami niezupełnego spalania i wodą.

Prowadzi to do wzrostu intensywności zużycia smarowanych elementów. Właściwy dobór smarów - zgodny z zaleceniami producenta - właściwe ich przechowywanie, zachowywanie wymaganej częstotliwości wymiany smaru i okresowa kontrola jego stanu w układach i punktach smarowania, są warunkiem zabezpieczenia przed nadmiernym zużyciem.

Istotne znaczenie ma eksploatacja maszyn zgodnie z ich przeznaczeniem. Nie chodzi tu tylko o grube błędy eksploatacji, takie np. jak wykonywanie zgrubnej obróbki na obrabiarkach do obróbki wykańczającej. Maszyna może nawet wykonywać przeznaczone dla niej zadania, jednak charakter obciążenia przyczynia się do nierównomiernego zużycia. Obróbka np. krótkich gwintów na obrabiarkach przeznaczonych do obróbki długich gwintów powoduje zużycie prowadnic na niewielkim odcinku. W tym przypadku przewidziana przez konstruktora kompensacja luzów obrabiarki nie będzie spełniała swego zadania.

Zmienności parametrów, warunków i środowiska eksploatacji maszyn sprawiają, że przebiegi zużycia w czasie nie są monotoniczne. W rzeczywistości krzywe przebiegu zużycia należałoby przedstawić jako nieprzerwany zbiór krzywoliniowych odcinków z niemalejącymi współrzędnymi.

Należy podkreślić, że użytkownika maszyny interesują przede wszystkim skutki zużycia, a nie samo zużycie. Skutki te ocenia się przez ocenę wielkości charakteryzujących:

- proces technologiczny lub zadania wykonywane przez maszynę,
- koszty materiałów eksploatacyjnych /smarów, paliw, surowców, energii elektrycznej/,
- koszty obsługi technicznej /regulacje, naprawy/,
- zagrożenie bezpieczeństwa i ochronę środowiska człowieka /hałas, drgania/.

Ocena tych wielkości jest w zasadzie najbardziej miarodajna dla oceny stanu technicznego maszyny. Ocena stanu technicznego na podstawie pomiaru tych wielkości zależy będzie np. od tolerancji zadań i procesów technologicznych, aktualnej polityki ocen, organizacji i technologii napraw, przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy itp.

Przebiegi zmian w czasie wartości tych wielkości, zależą od jeszcze innych czynników niż same procesy zużycia i przebiegi zużycia. Dlatego ich pomiar jest trudny i obecne kryteria wartości granicznych tych wielkości mają charakter kryteriów jakościowych. Nie znając przebiegu w czasie tych wielkości, nie można w oparciu o nie planować obsługi technicznej i napraw.

Dąży się do ustalenia kryteriów oceny stanu technicznego obiektów w oparciu o pomiary wartości zużycia. Należy w tym wypadku znać związki między wartością zużycia, a wartościami wielkości istotnych dla danego obiektu.

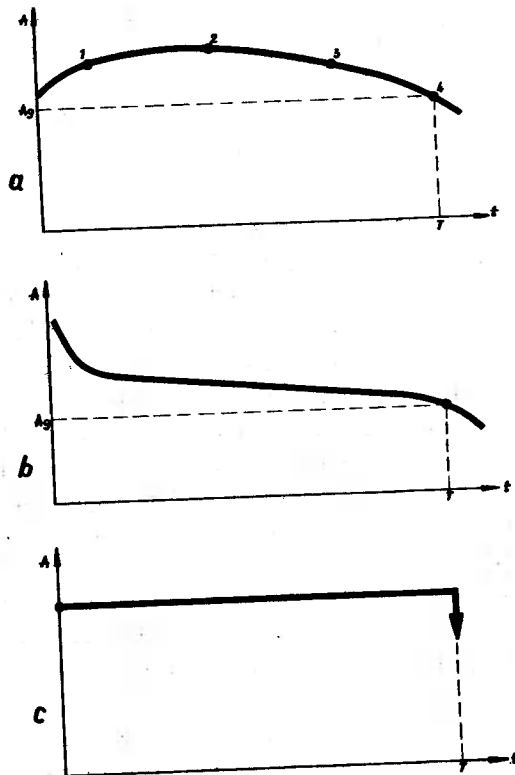
Ogólne związki między przebiegiem zużycia, a przebiegiem wartości charakteryzujących stan obiektu przedstawiono na rys. 10.

Przebieg przedstawiony na rys. 10a jest charakterystyczny dla dokładnych węzłów kinematycznych /łożysk ślizgowych i tocznych, skojarzeń ciernych/. Do momentu zakończenia docierania /punkt 1/, wartości tych wielkości /np. sprawność łożysk/ rosną i następnie osiągają maksimum.

Wzrost ten zachodzi przez pewien czas bez względu na ciągły wzrost wartości zużycia. Gdy zużycie przekroczy pewną wartość, następuje spadek wartości wielkości charakteryzującej stan obiektu, aż do wartości granicznej /punkt 4/.

Względne długości odcinków 1 + 2 i 2 + 3 podano umownie. W praktyce możliwe jest, że odcinek 1 + 2 jest bardzo krótki w porównaniu z odcinkiem 2 - 3.

Przebieg na rysunku 10a jest charakterystyczny dla części których przebieg zużycia jest przedstawiony na rys. 2a, b oraz dla części, których przebieg zużycia charakteryzuje się długim okresem zużycia utajonego /krzywe na rysunkach 2e, f/.



Rys. 10.

Typowe przebiegi zmian w czasie stanu obiektu.

Druga krzywa /rys. 10b/ ilustruje ciągłe zmniejszanie się wartości wielkości charakteryzujących stan obiektu w miarę wzrostu wartości zużycia części. Jest ona charakterystyczna dla organów roboczych sprzężel bezpieczeństwa.

Zużycie części może przez dłuższy okres eksploatacji nie miał żadnego wpływu na zdolność obiektu do wykonywania zadań, lecz po osiągnięciu pewnej wartości zużycia obiektu nagle przestanie spełniać swe zadania /rys.10c/.

Jest to charakterystyczne np. dla rurociągów transportu hydraulicznego, naczyń betoniarek, koszty przenośników itp.

Przebiegi zużycia węzłów kinematycznych mechanizmów i maszyn nie są od siebie niezależne. Zużycie jednego węzła kinematycznego może powodować przyspieszone zużycie pozostałych. Zagadnienia granicznych wartości zużycia jest bardzo złożone i wymaga dalszych badań.

Znając przebieg zużycia elementów do osiągnięcia stanu granicznego, oraz posługując się metodami teorii prawdopodobieństwa można drogą obliczeń określić czas eksploatacji elementu. Wracając do wykresu przedstawionego na rys. 1 można powiedzieć, że wymiana elementów powinna nastąpić nie w punkcie M /odpowiadającym średniej wartości czasu eksploatacji elementów/ lecz już w punkcie T, tj. przed pojawieniem się pierwszych uszkodzeń na skutek zużycia.

Z rozważań przytoczonych w niniejszym opracowaniu wynika, że o czasie pojawienia się w konkretnej maszynie lub urządzeniu uszkodzeń będących wynikiem zużycia stanowi w dużym stopniu prawidłowość procesu eksploatacji. Trwałość i niezawodność maszyn realizuje się więc również na etapie ich eksploatacji.

Prof. dr hab.inż. Bolesław Wojciechowicz

TRWAŁOŚĆ I NIEZAWODNOŚĆ NA ETAPIE
EKSPLOATACJI MASZYN

/streszczenie/

W artykule przedstawiono przebiegi intensywności zużycia różnych elementów i organów roboczych maszyn i urządzeń mechanicznych.

Znajomość przebiegów zużycia elementów maszyn jest podstawą do oceny stanów granicznych oraz wyznaczenia prawidłowych czasów eksploatacji tych elementów.

Bolesław Wojciechowicz

**DURABILITY AND RELIABILITY ON THE STAGE
OF MACHINE EXPLOITATION**

It is shown in this work the course of wear intensity of various elements and working machines and mechanical installation units.

The knowledge of machine elements wear intensity is a basis for evaluation of the limit states and determining the proper periods of these elements exploitation.

Болеслав Войцехович

Надёжность и долговечность в стадии эксплуатации
машин

/ изложение /

В статье представлена интенсивность протекания износа разных элементов и рабочих органов машин и механических устройств.

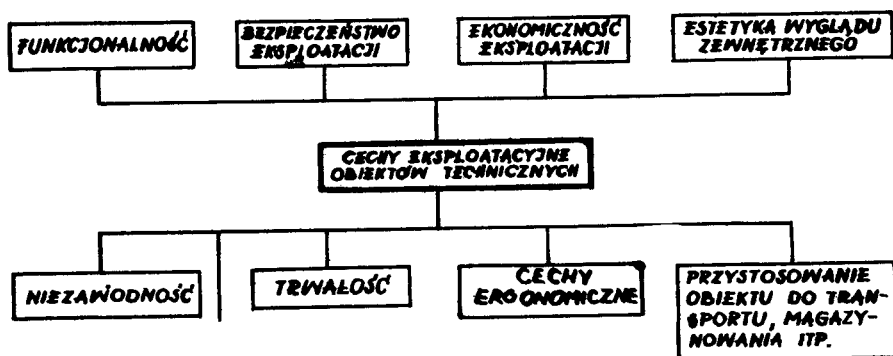
Знание протекания износа элементов машин составляет основу оценки предельного состояния, а также определения соответствующего времени их эксплуатации.

Badania niezawodności motorowców
w warunkach eksploatacyjnych

1.0.0. Wprowadzenie

Cechy eksploatacyjne obiektów technicznych, które winny być przedmiotem badań mających na celu stałe ich poprawianie, sklasyfikować można w sposób przedstawiony na rys. 1.

O ile postulaty dotyczące poprawiania funkcjonalności, bezpieczeństwa eksploatacji, ekonomiczności i estetyki są w procesie projektowania w większym lub w mniejszym stopniu przez konstruktorów uwzględniane to sytuacja w zakresie uwzględnienia pozostałych cech przedstawia się znacznie gorzej.



Rys. 1.

Cechy eksploatacyjne obiektów technicznych

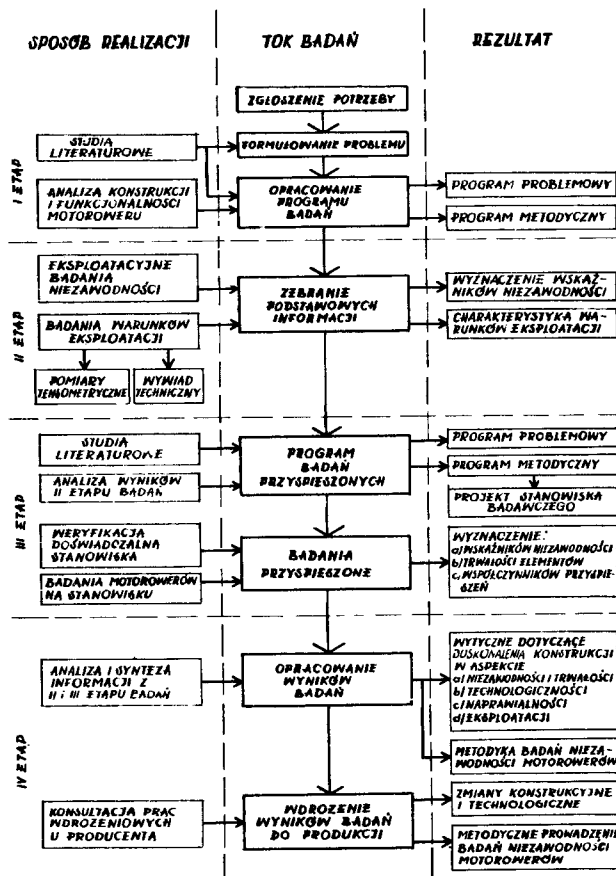
Jednymi z istotnych cech eksploatacyjnych maszyn i urządzeń są niewątpliwie niezawodność i trwałość. Są to cechy, które określają jakość maszyny

mgr inż. Andrzej Jazdon, Zespół Maszyn i Urządzeń
Rolniczych WSInż. w Bydgoszozy.

i urządzeń technicznych w funkcji czasu. W poznaniu konstrukcji maszyn i urządzeń mechanicznych poprzez wyznaczenie ich niezawodności oraz trwałości elementów tkwią znaczne rezerwy i to tak na etapie wytwarzania jak i eksploatacji. Tworzywem do wyznaczania parametrów niezawodności są dane zarejestrowane w trakcie badań.

2.0.0. Zadanie badań eksploatacyjnych w ogólnym programie badań niezawodności motorowerów.

Dla zrealizowania postawionych celów badań niezawodności i trwałości motorowerów został opracowany czterostopowy program badań /rys.2/.



Rys. 2.

Program badań niezawodności motorowerów

Eksploatacyjne badania niezawodności motorowerów objęte II etapem programu, miały zasadnicze znaczenie dla prowadzonych badań.

Zadaniem tego etapu badań było:

1. Zebranie danych niezbędnych do wyznaczenia liczbowych wartości wskaźników charakteryzujących niezawodność motorowerów oraz trwałość jego elementów.
2. Wyznaczenie charakterystyk warunków eksploatacji motorowerów mających wpływ na wartość wskaźników niezawodności a ponadto będących danymi wyjściowymi do opracowania programu badań przyspieszonych.

3.0.0. Przebieg badań

Badania eksploatacyjne przeprowadzono w latach 1970 i 1971. Osiągnięte w poszczególnych latach przebiegi oraz charakterystykę użytkowników przedstawiono w tabeli 1.

Badania eksploatacyjne zostały przeprowadzone wg. wstępnej metodyki, która obejmowała:

- a/ zasady pobierania motorowerów do badań,
- b/ przygotowanie pojazdów do badań,
- c/ zasady rejestracji pracy, uszkodzeń i napraw,
- d/ regime eksploatacji,
- e/ plan konserwacji i obsługa technicznych w okresie badań,
- f/ zasady postępowania z uszkodzonymi elementami,
- g/ wstępne kryteria oceny stanów granicznych,
- h/ wytyczne do statystycznego opracowania zebranych w czasie badań danych.

3.1.0. Zasady pobierania motorowerów do badań

Przy wyznaczaniu wskaźników niezawodności motorowerów istnieje możliwość przeprowadzenia badań częściowych czyli badań populacji próbnej. Przyjęta do badań ilość motorowerów /próbka/, winna dobrze reprezentować populację generalną, w związku z czym musi spełniać dwa warunki:

- a/ winna być dostatecznie liczna,
- b/ każdy obiekt z populacji generalnej musi mieć jednakową szansę trafienia do próbki tzn., że obiekty do próbki winny być pobierane w sposób losowy.

Z uwagi na nieznaną formę praw rozkładu badanych zmiennych losowych nie można ściśle obliczyć liczebności próbki. W związku z tym liczebność próbki ustalono w oparciu o informacje zawarte w literaturze /2/, /7/.

TABELA 1

Nr ewidenc motoro- weru	Nr reje- stra- cyjny	I etap badań				II etap badań				Łączny prze- bieg km
		Osiąg. prze- bieg km	Ilość uszkó- dzeń /Nz/	Wzrost cm	Użytkownik Waga kg	Osiąg. prze- bieg km	Ilość uszkó- dzeń /Nz/	Wzrost cm	Użytkownik Waga kg	
MR-1	BC-7857	11.007	12	170	65	6.561	12	170	65	17.568
MR-2	BC-7858	11.072	24	174	74	294	4	166	65	11.466
MR-3	BC-7859	10.870	12	168	60	5.168	12	168	60	16.038
MR-4	BC-7860	10.144	14	176	71	5.922	19	174	65	16.136
MR-5	BC-7861	10.585	16	171	65	6.329	19	166	69	16.944
MR-6	BC-7862	10.625	11	166	63	6.926	17	170	62	17.571
MR-7	BC-7863	9.625	12	176	73	7.432	12	170	75	17.057
MR-8	BC-7864	8.488	15	178	76	9.175	28	176	71	17.662
MR-9	BC-7865	9.150	23	172	65	-	-	-	-	9.150
MR-10	BC-7866	11.134	11	176	70	6.376	17	171	69	17.510
MR-11	BC-7891	9.819	13	170	62	7.819	13	170	64	17.638

Tabela 1

Intensywność eksploatacji, częstość uszkodzeń oraz charakterystyki
użytkowników motorowerów

Wynika z nich, że często z wystarczającą dokładnością można otrzymać wymagany zasób informacji przy próbie, której liczebność nie przekracza 10 sztuk.

W oparciu o powyższe oraz mając na uwadze koszt i praktyczną możliwość prowadzenia badań przyjęto do badań próbkę liczącą 10 motorowerów.

3.2.0. Przygotowanie pojazdów do badań

Przygotowanie motorowerów do badań obejmowało:

- a/ oględziny i wypróbowanie motoroweru w ruchu,
- b/ sprawdzenie elementów układu nośnego, jezdnego i zawieszenia pod kątem wykrycia pęknięć, podcięć, wad spawalniczych itp.
- c/ pomiary niektórych elementów, celem określenia ich rzeczywistych wymiarów początkowych,
- d/ sprawdzenie współdziałania poszczególnych elementów,
- e/ usunięcie drobnych usterek /słabe dokręcenie połączeń śrubowych, regulacje itp./

Dane o wszystkich wykrytych wadach produkcji notowano w "Książkach rejestracji, pracy, uszkodzeń, przestojów i napraw". Wg wyników wstępnej ekspertyzy technicznej wytypowano także elementy, w których można było oczekiwać pojawienia się uszkodzeń /pęknięcia, zużycia/ oraz zestawiono opis operacji kontrolnych do ekspertyz /przeглядów/ pośrednich.

3.4.0. Zasady rejestracji pracy, uszkodzeń i napraw

Celem otrzymania możliwie jednorodnych zbiorów danych z badań, ich rejestracja winna odbywać się wg ujednoczonych zasad. W tym celu została opracowana "Książka rejestracji pracy, uszkodzeń, przestojów i napraw", która zawierała:

- a/ krótkie wprowadzenie w istotę badań niezawodności i trwałości motorowerów,
- b/ regime eksploatacji,
- c/ plan konserwacji i obsługi technicznych pojazdów w okresie badań,
- d/ zasady rejestrowania obserwacji,
- e/ kompletny zestaw druków rejestracyjnych,
- f/ druki atestów, które były dołączane do uszkodzonych części.

Przyjęto, że "Książka rejestracji..." jest jedynym nośnikiem informacji.

3.3.0. Zasady i przebieg badań eksploatacyjnych

Badania eksploatacyjne motorowerów trwały od kwietnia 1970 r. do października 1971 r. W prowadzonych badaniach szczególną uwagę zwrócono na zapewnienie wiarygodności rejestrowanych danych.

Na kształtowanie się wartości parametrów wskaźników niezawodności ma wpływ wiele zmiennych jak np.:

- a/ warunki drogowe /rodzaj nawierzchni, ukształtowanie pionowe terenu/,
- b/ warunki klimatyczne /temperatura powietrza, nasłonecznienie, wilgotność powietrza/,
- c/ charakter użytkownika /waga, wprawa w prowadzeniu pojazdu, usposobienie/,
- d/ system eksploatacji i jakość eksploatowanych materiałów,
- e/ grupa przyczyn konstrukcyjno-technologicznych,
- f/ jakość obsługi technicznej oraz napraw.

Wpływ tak wielu zmiennych na intensywność uszkodzeń, powoduje znaczny rozrzut otrzymywanych danych. Ponieważ do badań została przyjęta próba składająca się z 10 motorowerów, starano się ograniczyć rozrzut wyników spowodowany warunkami drogowymi, klimatycznymi oraz systemem eksploatacji.

Badane motorowery eksploatowane były w podobnych a w czasie rajdów w identycznych warunkach drogowych i klimatycznych oraz przez podobnych użytkowników. W ten sposób występujący w trakcie badań rozrzut uszkodzeń zależeć będzie przede wszystkim od przyczyn konstrukcyjnych oraz technologicznych.

4.0.0. Kryteria niezawodności motoroweru oraz jego elementów

4.1.0. Ustalenia wstępne

Celem jednolitego interpretowania zjawisk oraz doboru właściwego planu badań przyjęto motorowery traktować jako obiekty naprawialne, to znaczy przystosowane przez producenta do usuwania uszkodzeń w drodze przeprowadzania napraw i obsługi technicznych. Elementy motorowerów uznano natomiast za nienaprawialne, czyli wymienione po pierwszym uszkodzeniu. Istalono ponadto, że w czasie prowadzonych badań motorowery traktowane są jako obiekty dwustanowe w sensie niezawodności, tzn. obiekty, które

opisane zostały dwoma stanami - stanem zdatności oraz stanem niezdatności. /9/

4.2.0. Uszkodzenia elementów, zespołów i urządzeń

Przez uszkodzenie rozumiano zdarzenie polegające na przejściu obiektu ze stanu zdatności do stanu niezdatności. Występujące i następnie rejestrowane w trakcie badań uszkodzenia wymagają krytycznego podejścia w ocenie ich istotności na niezawodność badanych motorowerów.

Aby wykluczyć dowolność w interpretowaniu pojęcia uszkodzenia przez użytkowników motorowerów, co miałooby wpływ na jednorodność rejestrowanych danych, istnieje konieczność jednoznacznego zdefiniowania uszkodzenia, które wprowadzało będzie motorower do stanu niezdatności.

Przez uszkodzenie takie rozumiano:

- a/ uszkodzenie uniemożliwiające wykonywanie przez motorower zadanych funkcji,
- b/ uszkodzenie, które uniemożliwiało odbywanie jazdy zgodnie z przepisami określonymi dla tych pojazdów przez kodeks drogowy,
- c/ uszkodzenie, które wprowadzało bezpośredni stan zagrożenia bezpieczeństwa jazdy.

Ponadto poza spełnieniem jednego z wyżej wymienionych podstawowych warunków, uszkodzenie wprowadzające motorower do stanu niezdatności winno charakteryzować się następującymi cechami, względnie tylko jedną z nich:

- a/ usunięcie uszkodzenia trwać będzie powyżej 0,25 godz.,
- b/ nie będzie można go usunąć narzędziami wchodzącymi w skład typowego wyposażenia,
- c/ usunięcie uszkodzenia wymagać będzie wymiany elementu.

Uwzględniając powyższe warunki, występujące uszkodzenia sklasyfikowano następująco:

- niezdatności /Nz/
- niesprawności /Np/
- uszkodzenia awaryjne /A/

Tylko niezdatności /Nz/ uwzględniano przy wyznaczaniu parametrów niezawodności.

4.3.0. Dobór wskaźników niezawodności dla motoroweru i jego elementów

Dobór wskaźników niezawodności zależy od przeznaczenia badanego obiektu. /2,7/

Poznanie konstrukcji motoroweru oraz warunków jego użytkowania z równoległą przeprowadzoną analizą wskaźników niezawodności pozwoliło na dokonanie ich doboru.

Zestawienie wybranych wskaźników niezawodności dla motoroweru i jego elementów przedstawiono w tabeli 2.

Tak dla motorowerów jak i jego elementów przebieg między uszkodzeniami, przebieg do uszkodzenia, techniczny czas odnowy oraz wymiany itp. są zmiennymi losowymi.

5.0.0. Wyniki badań

Z przeprowadzonych badań eksploatacyjnych motorowerów otrzymano znaczną ilość danych, które po uporządkowaniu i statystycznym opracowaniu przedstawić można w następujących grupach:

- a/ wskaźniki niezawodności motoroweru,
- b/ wskaźniki trwałości elementów motoroweru,
- c/ informacje dotyczące charakterystyki warunków eksploatacji w czasie badań.

5.1.0. Kolejność statystycznego opracowywania wyników

W badaniach niezawodności urządzeń technicznych istotną rolę poza metodą zbierania danych, spełnia sposób przetwarzania informacji oraz wnioskowanie na podstawie otrzymanych wyników.

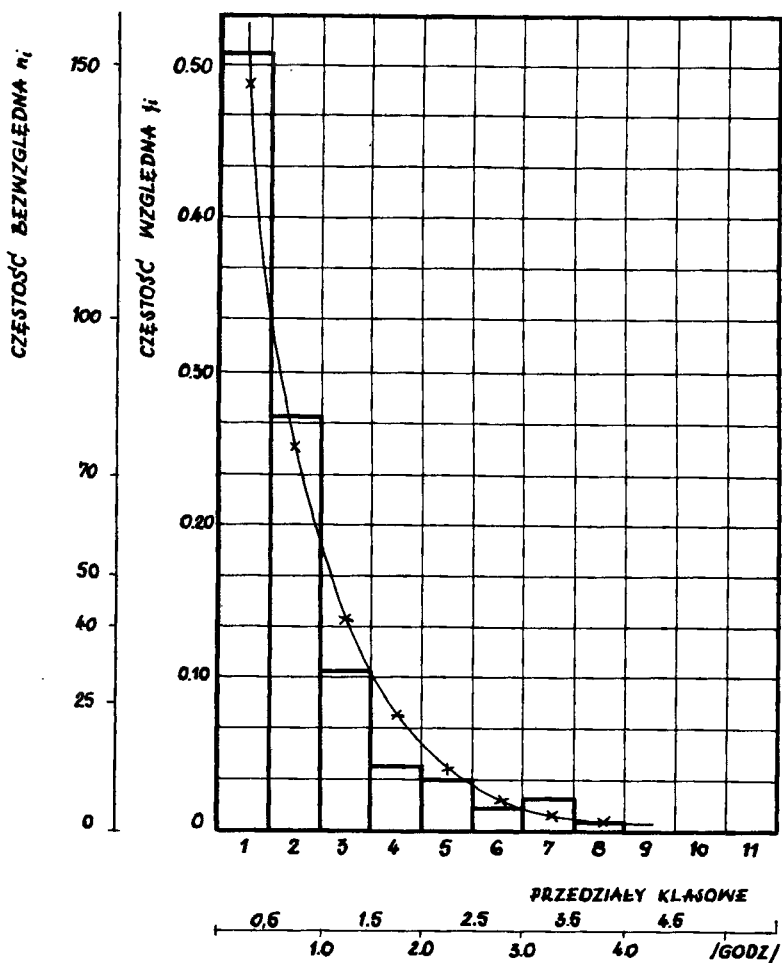
Dla wyznaczenia podstawowych parametrów wskaźników niezawodności przyjęto następującą kolejność opracowania statystycznego:

- a/ uporządkowanie zawartych w "Książkach rejestracji..." danych - opracowanie zbiorczych kart informacyjnych,
- b/ naniesienie danych dotyczących szacowanej, zmiennej losowej na "Karty zbiorcze danych statystycznych",
- c/ ocena jednorodności zbioru realizacji celem zweryfikowania wartości wyraźnie odbiegających od innych,
- d/ opracowanie statystycznego szeregu rozdzielczego,

Lp.	Nazwa i oznaczenie wskaźnika	Jedn. miary	Wzór obliczeniowy	Wyznaczono dla		Charakterystyczne własności	Uwagi
				Motorowemu i zespołom naprawial.	Zespołów i elementów nie-naprawial.		
1.	Średni przebieg między uszkodzeniami / L_{sr}	km	$L_{\text{sr}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m l_i$	+	-	Poprawność działania	
2.	Średni przebieg do uszkodzenia / L_e	km	$L_e = \frac{1}{n} l_1$	-	+	trwałość	
3.	Oczekiwany techniczny czas odnowy / T_{oj}	godz.	$T_{\text{oj}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \tau_i$	+	-	Naprawialność obiektu	
4.	Średni techniczny czas wymiaru / T_{oj}	godz.	$T_{\text{oj}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \tau_i$	-	+	- " -	
5.	Współczynnik uszkodzeń i-tego zespołu elementu / K_n	-	$K_n = \frac{n_i}{n}$	-	+	Wskaźniki ogólne	
6.	Współczynnik przestojów względnych ze względu na i-ty element / K_p	-	$K_p = \frac{T_{\text{oj}}}{T_{\text{ot}}}$	-	+		
7.	Prawdopodobieństwo poprawnej pracy / $P(t)$	-	$P(t_1 < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} \phi(t) dt$	+	+	Poprawność działania	
8.	Wskaźnik kosztów wymien. części / K_{oz}	-	$K_{\text{oz}} = \frac{C_{\text{oz}}}{C_0}$	+	-	Wskaźniki ogólne	Odnoszone do przebiegu 10.000 km
9.	Wskaźnik kosztów robocizny / K_{r}	-	$K_{\text{r}} = \frac{C_{\text{r}}}{C_0}$	+	-		
10.	Wskaźnik kosztów eksploatac. / K_e	-	$K_e = \frac{C_e}{C_0}$	+	-	- " -	- " -

Tabela 2. Podstawowe wskaźniki niezawodności motorowemu i jego elementów

- e/ wyznaczenie charakterystyk liczbowych szeregu rozdzielczego,
 f/ wykreślenie histogramu - wykres empiryczny gęstości rozkładu rys.3,



Rys. 3.

Histogram oraz krzywa gęstości rozkładu dla technicznego czasu odnowy Tot /całość badań/

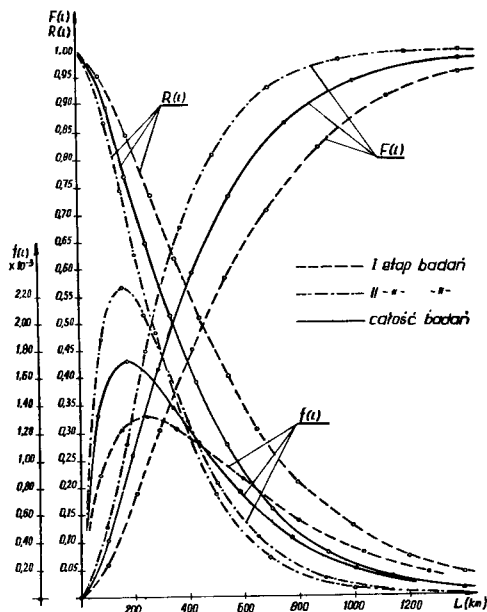
- g/ graficzne sprawdzenie zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym przez wykreślenie dystrybuanty empirycznej na siatkach rozkładu prawdopodobieństwa,
 h/ wnioskowanie co do typu rozkładu,

- i/ wyrównanie empirycznego rozkładu rozkładem teoretycznym rys.3,
 j/ sprawdzenie hipotezy o zgodności rozkładu empirycznego z rozkładem teoretycznym
 - testem χ^2 Pearsona
 - testem λ Kołmogorowa
 k/ wyznaczenie przedziału ufności dla parametrów rozkładu pokrywającego szacowaną wartość przy ustalonym poziomie ufności.

5.2.0. Wskaźniki niezawodności motoroweru

5.2.1. Przebieg między uszkodzeniami /L/

Na podstawie opracowania statystycznego stwierdzono, że przebieg pomiędzy uszkodzeniami da się przybliżyć rozkładem gamma (Γ). Otrzymane wyniki dotyczące przebiegu pomiędzy uszkodzeniami zebrano w tabeli 3. W celu graficznego przedstawienia kształtowania się niezawodności motorowerów w zależności od żądanego bezawaryjnego przebiegu, przedstawiono na rys. 4 wykres funkcji niezawodności dla przedziału przebiegu poprawnej pracy od 0 do 1300 km. Na rysunku tym naniesiono również wartość funkcji gęstości, oraz dystrybuanty.



Rys. 4.
 Przebieg funkcji gęstości $f(l)$, niezawodności $R(l)$
 i dystrybuanty $F(l)$.

	I etap - 1970r	II etap - 1971r	Całość badań
Jedno syka młoty			
Ilość danych	157	146	298
Średni przebieg / \bar{l} /	554,66 km	325,62	424,16
Średnie odchylenie kwadratowe / S /	411,41 km	231,87	322,68
Współczynnik zmienności / ψ /	0,742	0,712	0,761
Funkcja gęstości $f(l)$	$f(l) = \frac{\lambda^p}{\Gamma(p)} l^{p-1} \exp(-\lambda l)$ dla $l \geq 0$		
Parametry rozkładu	$\lambda = 0,0033$; $p = 1,8176$	$\lambda = 0,0061$; $p = 1,9720$	$\lambda = 0,0041$; $p = 1,7279$
Przedział ufności	$488,10 < \bar{l} < 637,86$ km	$286,54 < \bar{l} < 374,46$	$385,98 < \bar{l} < 466,57$

Tabela 3

Informacje dotyczące przebiegu między uszkodzeniami /L/

5.2.2. Oczekiwany techniczny czas odnowy /Tot/

Oczekiwany techniczny czas odnowy /Tot/ charakteryzuje naprawialność obiektu technicznego, czyli stopień przystosowania motoroweru do wykrywania a następnie usuwania uszkodzeń. Pożądanym byłoby aby wartość tego wskaźnika była jak najmniejsza.

Na podstawie otrzymanych informacji stwierdzono, że techniczny czas odnowy podlega rozkładowi wykładniczemu. Wyniki zestawiono w tabeli.4. Porównanie tych wyników wykazuje, że różnice pomiędzy wartością technicznego czasu odnawiania w poszczególnych etapach badań są minimalne co wskazuje na dotrzymanie warunków badań.

TABLICA 4

	Jednostka miary	I etap badań 1970 rok	II etap badań 1971 rok	Całość badań
Ilość informacji /n _i /	—	159	147	305
Średni techniczny czas odnowy /t/	godz.	0,829	0,809	0,810
Średnie odchylenie kwadratowe /S/	godz.	0,688	0,629	0,642
Parametr rozkładu $\lambda \cong \frac{1}{S} = \frac{1}{t}$	$\frac{1}{\text{godz.}}$	1,2069	1,2369	1,2344
Funkcja gęstości f /t/	—	$f/t/ = 1,21e^{1,21t}$	$f/t/ = 1,24e^{1,24t}$	$f/t/ = 1,23e^{1,23t}$
Przedział ufności	godz.	$0,752 < \bar{t} < 0,953$	$0,712 < \bar{t} < 0,930$	$0,74 < \bar{t} < 0,891$

Informacje charakteryzujące techniczny czas odnowy
/Tot/

5.2.3. Trwałość motorowców

Jako wskaźnik trwałości motorowców przyjęto przebieg osiągnięty przez motorowca do stanu granicznego kwalifikującego go do naprawy głównej.

Ocenę stanu granicznego przeprowadzono za pomocą:

- a/ oceny stanu technicznego motorowca dokonanej na podstawie analizy stopnia zużycia najważniejszych jego zespołów i elementów,
- b/ osiągniętych parametrów pracy silnika /Mo, Ne, ge/,
- c/ osiągniętego wskaźnika kosztów eksploatacji /Ke/ wyrażającego stosunek kosztów poniesionych na obsłudze do kosztu motorowca.

Otrzymane wyniki /5/ wykazują, że badane motorowce nie osiągnęły jeszcze stanu granicznego, aczkolwiek niektóre z nich zbliżyły się już znacznie do tej granicy. Należy więc przypuszczać, że oczekiwana trwałość motorowców wyrażona przebiegiem do naprawy głównej kształtować się będzie w granicach 18.000 km.

5.3.0. Wskaźniki niezawodności elementów motorowca

Niezawodność obiektu technicznego jest zależna od trwałości jego elementów. Dlatego dla producenta, który pragnie poprawić niezawodność swojego produktu bardzo istotną informacją jest sposób kształtowania się trwałości elementów.

5.3.1. Trwałość elementów motorowca

Trwałość tę wyrażono przebiegiem do uszkodzenia /Le/ wyliczonym z zależności:

$$Le = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad /km/$$

l_i - przebieg i-tego elementu do uszkodzenia,

n - ilość uszkodzonych elementów w czasie badań.

Otrzymane na podstawie przeprowadzonych badań dane dotyczące kształtowania się trwałości elementów motorowca zestawiono w tabelicy 5.

Porównanie informacji zawartych w tabeli 5 i 6 wskazuje na konieczność uwzględniania technicznego czasu wymiany. Spośród elementów charakteryzujących się podobnymi częstościami uszkodzeń bardziej niezawodne są te, dla których nakłady na naprawy są mniejsze.

Przy analizie uszkodzonych elementów uwzględnić należy także czynnik ekonomiczny uwzględniający koszty ponoszone na zakup oraz wymianę tych elementów.

Informacje takie otrzymane budując diagram przedstawiający kolejność uszkodzonych elementów motoroweru w zależności od wielkości iloczynu: ilość uszkodzeń razy koszt jednostkowy usunięcia uszkodzenia $/n_i C_e/$.

Omówione powyżej diagramy dostarczają informacji ilościowych, natomiast eechy jakościowe uszkodzonych elementów przedstawione zostały w analizie postaci i przyczyn uszkodzeń, opracowanej na podstawie obserwacji i pomiarów uszkodzonych elementów, które razem z atestami gromadzone były przez okres badań.

Wspominając o fizycznym aspekcie uszkodzeń należy podkreślić zarysowany się problem kryteriów ocen stanów granicznych. Tylko niektóre uszkodzenia są oczywiste i nie wymagają od użytkownika podjęcia decyzji co do uznania urządzenia czy elementu za uszkodzony bądź nieuszkodzony. Większość uszkodzeń fizycznych ma charakter ciągły, narasta w czasie. Dla tych właśnie uszkodzeń należy opracować kryteria ocen stanów granicznych.

5.4.0. Charakterystyka warunków eksploatacji

Przy ocenie niezawodności pojazdów, konieczna jest analiza warunków eksploatacyjnych. Dane zarejestrowane w trakcie badań eksploatacyjnych, otrzymane na ich podstawie wyniki należy odnosić do warunków, w jakich te badania były przeprowadzone. Pozwoli to na właściwą interpretację wyników badań przeprowadzonych w różnych warunkach. Wpływ warunków eksploatacji, w tym przede wszystkim topografii terenu, na kształtowanie się trwałości elementów i zespołów samochodów ciężarowych wykazał N.Lenkiewicz /8/.

Celem scharakteryzowania warunków eksploatacyjnych badań niezawodności, zarejestrowano a następnie opracowano informacje dotyczące:

- a/ topografii terenu,
- b/ rodzaju nawierzchni dróg,
- c/ charakteru jazdy,
- d/ charakterystyki użytkownika,
- e/ sposobu obciążenia motoroweru,

- f/ warunków klimatycznych,
g/ liczby zadziałań mechanizmów sterowania.

Poniżej socharakteryzowane zostaną tylko niektóre z wymienionych czynników charakteryzujących warunki eksploatacji.

5.4.1. Topografia terenu

Z uwagi na kształtowanie się profilu pionowego drogi dokonano po -
działu terenu na:

- a/ teren płaski /Tp/
b/ teren falisty o spadku i podjazdach dochodzących do 8% /Tf/,
c/ teren górzasty, który cechuje się stałym występowaniem spadków i pod-
jazdów o wartościach przekraczających 8%.

Udział poszczególnych konfiguracji terenu w odniesieniu do poszczególnych lat eksploatacji oraz do całych badań zestawiono w tab.7.

TABLICA 7

	Przebieg ogółem km	Tp		Tf		Tg	
		km	%	km	%	km	%
I etap badań	112.529	57.511	51,0	41.342	36,5	13.676	12,5
II etap badań	62.212	42.440	68,0	16.655	27,0	3.117	5,0
Całość badań	174.741	99.951	57,0	57.997	33,4	16.793	9,6

Kształtowanie się profilu pionowego dróg, po których odbywała się eksploatacja motorowerów
Tp - teren płaski, Tf - teren falisty, Tg - teren górzasty

5.4.2. Rodzaj nawierzchni dróg.

Wyodrębniono trzy podstawowe typy nawierzchni dróg:

- drogi o nawierzchni asfaltowej /A/,
- drogi brukowane, kostka /B/,
- drogi polne, bezdroża o nawierzchni nieutwardzonej /L/.

Na takich nawierzchniach przeprowadzono też pomiary tensometryczne jazdy Na takich nawierzchniach przeprowadzono też pomiary tensometryczne sił i naprężeń w elementach motoroweru /4/. Ponieważ warunki jazdy po tych nawierzchniach będą odwzorowywane na stanowisku do przyspieszonych badań motorowerów istotna jest znajomość relacji poszczególnych rodzajów nawierzchni w trakcie eksploatacji. Otrzymane wyniki przedstawia tab.8.

TABLICA 8

	Przebieg ogółem km	A		B		L	
		km	%	km	%	km	%
I etap badań	112.529	89.974	79,5	17.612	15,8	4.943	4,7
II etap badań	62.212	49.794	79,5	10.334	16,8	2.084	3,7
Całość badań	174.741	139.768	79,5	27.946	16,0	7.027	4,5

Udział dróg o nawierzchniach: asfaltowej /A/,
brukowanej /B/ i nieutwardzonej /L/ podczas
badań eksploatacyjnych.

5.4.3. Charakter jazdy

Na trwałość niektórych elementów motoroweru /opony, linki, ręczki i dźwignie biegów, hamulcy, sprzęgła, elementy skrzynki biegów, itd./ duże znaczenie ma fakt czy jazda odbywa się w warunkach miejskich /M/, którą cechuje częste hamowanie i przyspieszenie co związane jest z częstym używaniem mechanizmów sterowania, czy w warunkach poza obszarami zabudowanymi /Te/.

Z powyższych względów polecono użytkownikom motorowerów rejestrowanie tych warunków jazdy. Uzyskane wyniki obrazuje tab.9.

TABLICA 9

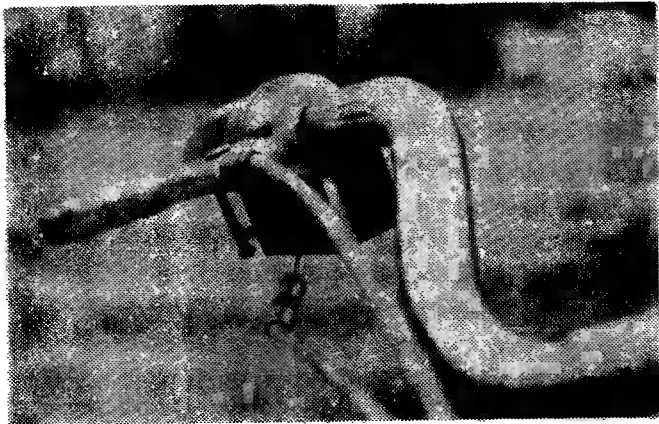
	Przebieg km	Te		M	
		km	%	km	%
I etap badań	112.529 /101.395/	80.124	79,0	21.271	21
II etap badań	62.212	42.648	68,0	19.564	32
Całość badań	174.741 /163.607/	122.772	75,0	40.835	25

Udział eksploatacji motorowerów w warunkach
miejskich /M/ oraz poza terenami zabudowanymi
/Te/

5.4.4. Częstość zdarzeń mechanizmów sterowania w zależności od warunków eksploatacji

Trwałość niektórych elementów motoroweru a w tym przede wszystkim mechanizmów i elementów sterowania winno się wyrażać nie przebiegiem lecz liczbą zdarzeń. Celem zorientowania się w ilości włączeń sprzęgła oraz hamulcy na pięciu badanych motorowerach zainstalowano liczniki zdarzeń. Fot.1.

Dane otrzymane z poszczególnych motorowerów były bardzo zbliżone co pozwala na ich uogólnienie. Uśrednione wyniki przedstawia tab.10.



Fot. 1.
Licznik włączeń hamulca przedniego

TABLICA 10

Charakter eksploatac.	Eksploatac. w warunkach miejskich	Eksploatac. poza terenami zabud.	Srednio w całym okresie eksploatac.
Sprzęgło	302	149	227
Hamulec tylny	200	104	152
Hamulec przedni	99	42	70

Srednie dzienne przebiegi badanych motorowerów w różnych okresach eksploatacji.

5.4.5. Intensywność eksploatacji

W uzupełnieniu przedstawionych warunków eksploatacji podano w tab. 11 kształtowanie się średnich dziennych przebiegów w zależności od okresu eksploatacji. Przedstawione wyniki wskazują w jak znaczny sposób na stopień przyspieszenia badań wpływają rajdy kontrolne.

W 1970 r. ilość dni rajdu kontrolnego stanowiła 29 % ogólnej ilości dni eksploatacji. W tym czasie osiągnięto przebieg stanowiący 51% łącznego przebiegu I etapu badań.

TABLICA 11

	Jedn. miary	Okres rajdu	Pozostały okres	Ogółem
I etap	km/dzień	172	67	97,4
II etap	km/dzień	158	50	68,2

Średnie dzienne przebiegi badanych motorowerów w różnych okresach eksploatacji

Niezależnie od przyspieszenia badań rajdy kontrolne cechuje wiele innych zalet jak:

- eksploatacja odbywa się w jednakowych warunkach,
- w trakcie rajdu istnieją dogodne warunki do bezpośredniego nadzorowania przebiegu eksploatacji,
- można w czasie rajdu przeprowadzać różne próby i pomiary jak np. pomiar zużycia paliwa w różnych warunkach eksploatacji, pomiar ciśnienia sprężania w cylindrze, wydłużenie łańcuchów itp.

5.4.6. Podsumowanie dotyczące warunków eksploatacji motorowerów

Przedstawione w niniejszym rozdziale tylko niektóre informacje dotyczące warunków eksploatacji wskazują na potrzebę ich uwzględnienia przy omawianiu wyników eksploatacyjnych badań niezawodności i trwałości pojazdów mechanicznych.

Porównywanie wskaźników niezawodności z różnych badań eksploatacyjnych bez podania warunków badań, prowadzić może do wyciągania błędnych wniosków. Ponadto znajomość warunków badań eksploatacyjnych pozwoli na odosobnienie wyników badań przyspieszonych do rzeczywistych warunków eksploatacji.



6.0.0. Zakończenie

Przeprowadzone dwuletnie badania niezawodności motorowerów w warunkach eksploatacyjnych umożliwiły zebranie bogatego materiału i w konsekwencji na:

- wyznaczenie wskaźników niezawodności motorowerów,
- ocenę trwałości elementów motoroweru,
- przeprowadzenie analizy postaci i przyczyn uszkodzeń.

Zebrane informacje pozwoliły na opracowanie szeregu bezpośrednich zaleceń i wniosków dla producenta motorowerów dotyczących zmian konstrukcyjnych i technologicznych. Z uwagi na brak porównywalnych wskaźników niezawodności i trwałości dla motorowerów innych producentów a także z uwagi na fakt, że przeprowadzone badania niezawodności motorowerów były pierwszymi badaniami tego typu w Polsce, sprecyzowanie wniosku co do niezawodności i trwałości motorowerów jest trudne. Wydaje się jednak, że przy stosunkowo wysokiej trwałości motoroweru istnieje szereg "słabych ogniw" w jego konstrukcji, które wpływają na obniżenie niezawodności. Od likwidacji tych "słabych ogniw" winna rozpocząć się poprawa jakości motorowerów "KOMAR".

Wyniki badań mają nie tylko znaczenie bieżące. Winny się stać dla konstruktorów Z.R. "ROMET" cennymi informacjami także przy opracowywaniu nowych konstrukcji motorowerów, winny stanowić załączek "banku informacji".

Przeprowadzone badania poza bezpośrednim celem użytkowym dotyczą - cym oceny niezawodności i trwałości badanych motorowerów, posiadały także cel poznawczy. Pozwoliły na zweryfikowanie wstępnej metodyki badań niezawodności motorowerów a także na zebranie podstawowego materiału, który obok wyników z pomiarów tensometrycznych oraz badań ankietowych umożliwia opracowanie metody badań przyspieszonych niezawodności i trwałości motorowerów.

L i t e r a t u r a

1. Z. Helwig - "Elementy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej"
2. R.P.Haviland - "Niezawodności urządzeń technicznych" PWN, Warszawa 1968 r.
3. A.Jazdon - "Program badań niezawodności i trwałości motorowerów i rowerów" Biuletyn Informacyjny IMER Nr 11/70
4. A.Jazdon
J.Szala - "Badania niezawodności i trwałości motorowerów i rowerów".
Część I - Pomiary tensometryczne obciążeń w elementach motoroweru i roweru w warunkach eksploatacji.
Zeszyt Naukowy Wyższej Szkoły Inżynierskiej Nr 2 "Mechanika - Konstrukcje" 1971 r.
5. A.Jazdon - "Sprawozdanie z eksploatacyjnych badań niezawodności motorowerów" Bydgoszcz, 1971 r.
6. A.Jazdon - "Badania niezawodności motorowerów KOMAR typ 2330".
Zeszyt Naukowy Politechniki Poznańskiej pt. "Metodyczne problemy badań niezawodności urządzeń mechanicznych", Poznań 1972 r.
7. R.W.Kugel - "Trwałość samochodów", W.K. i Ł. Warszawa 1965.
8. W.Lenkiewicz - Badania nad trwałością elementów i zespołów samochodów eksploatowanych w różnych warunkach terenowych. Zagadnienia tarcia, zużycia i smarowania - Zeszyt Nr 2/1967 r.
9. Projekt PN-69/
N-04000 - "Niezawodność. Terminy, określenia i symbole" - 1969 r.
10. Zb.Smalko - "Metodyka eksploatacyjnych badań niezawodności i trwałości maszyn i urządzeń mechanicznych", IMER, Warszawa 1968 r.

Andrzej Jazdon

BADANIA NIEZAWODNOŚCI MOTOROWERÓW
W WARUNKACH EKSPLOATACYJNYCH

/streszczenie/

W opracowaniu przedstawiono organizację i przebieg badań niezawodności motorowerów w warunkach eksploatacyjnych.

Przeprowadzone badania pozwoliły na:

- wyznaczenie liczbowych wartości wskaźników niezawodności,
- wyznaczenie słabych ogniw konstrukcji pojazdów,
- opracowanie charakterystyki warunków eksploatacji podczas badań.

Uzyskane wyniki pozwoliły na opracowanie zaleceń dotyczących doskonalenia konstrukcji motorowerów w kierunku poprawy ich niezawodności oraz trwałości zespołów i elementów tych pojazdów.

Andrzej Jazdon

MOTOR-BICYCLE RELIABILITY TESTS
IN THE CONDITIONS OF EXPLOITATION

It is shown in this work an organization and course of motor-bicycles reliability tests in the conditions of exploitation.

The performed tests enabled to:

- determine numeral values of reliability factors,
- determine weak vehicle construction elements,
- work up exploitation conditions characteristics during the tests.

The received results made it possible to work up recommendations of the motor-bicycles construction improvement as to the correction of their reliability and vehicle units and elements durability.

Анджей Яздонь

Исследования надёжности мотовелосипедов в
эксплуатационных условиях

/ изложение /

В работе описывается организация и ход исследований надёжности мотовелосипедов в эксплуатационных условиях. Проведённые исследования дали возможность:

- определения численных значений показателей надёжности
- определения слабых звеньев конструкции средств передвижения
- разработки характеристики условий эксплуатационных исследований.

Witold Łoś, Kazimierz Zawiaślak^{x/}

STANY GRANICZNE W ZAGADNIENIACH TRWAŁOŚCI I NIEZAWODNOŚCI

W artykule omówiono ogólnie stany graniczne maszyn w zagadnieniach trwałości oraz na przykładzie łańcucha rolkowego 083-1-110 pz PN-67/M - 84168 określono stan graniczny. Przeprowadzono analizę stanu granicznego i dopuszczalnego wydłużenia łańcucha rolkowego na podstawie wyników otrzymanych z badań eksploatacyjnych motorowerów.

1. WSTĘP

W maszynach i urządzeniach mechanicznych w czasie eksploatacji zachodzą różnorodne procesy niszczące, doprowadzające obiekt do stanu granicznego. "Stanem granicznym maszyny lub urządzenia w zagadnieniach trwałości określa się stan, w którym z przyczyn fizycznych, ekonomicznych, środowiskowych lub innych obiekt nie może lub nie powinien dalej spełniać wyznaczonych jemu funkcji" [1].

Z przyczyn fizycznych najbardziej istotne dla oceny stanów granicznych obiektów są:

- cechy funkcjonalne
- cechy techniczne.

Cechy funkcjonalne - to spełnienie przez obiekt podstawowych zadań w sensie jego działania i spełniania wymogów jakości pracy.

Cechy techniczne - wynikają z cech konstrukcyjnych obiektu, a więc cech geometrycznych, materiałowych i dynamicznych. Utrata tych cech w procesie eksploatacji może nastąpić w wyniku zużycia, utraty wytrzymałości itp.

^{x/} mgr inż. Witold Łoś, mgr inż. Kazimierz Zawiaślak,
 Zespół Podstaw Konstrukcji Maszyn WSI w Bydgoszczy

Nie mniej ważne dla oceny stanów granicznych są przyczyny ekonomiczne, które wynikają bezpośrednio z ekonomiczności eksploatacji obiektu z uwzględnieniem jego utrzymania i napraw.

Pod pojęciem przyczyn środowiskowych osiągnięcia stanów granicznych rozumie się zespół takich przyczyn, które wynikają z warunków naturalnych, socjologicznych i innych, stanowiących tak zwane otoczenie /środowisko/ eksploatowanego obiektu. W przypadku motorowerów do przyczyn naturalnych można zaliczyć klimat, warunki terenowe i inne.

Z innych przyczyn, które mają wpływ na stan graniczny obiektu można wymienić bezpieczeństwo pracy /jazdy/ lub nawet brak wyrobów na rynku.

W każdym jednak przypadku dla ustalenia stanu granicznego elementu, zespołu lub maszyny niezbędne jest wyznaczenie odpowiednich kryteriów oceny takiego stanu. Kryteria te na ogół różnią się w zależności od rodzaju obiektu jego otoczenia stąd inne kryteria oceny stanu granicznego będą ustalone w przypadku obiektów prostych, jak np.: elementów i niewielkich zespołów a inne w przypadku złożonych obiektów.

Probleem ocen stanów granicznych posiada duże znaczenie nie tylko dla właściwej eksploatacji maszyn i urządzeń, lecz również dla właściwego ich projektowania i wytwarzania. Właściwa ocena tych stanów może być podstawą do optymalizacji ich konstrukcji.

Prowadzone przez nas badania trwałości i niezawodności motorowerów miały na celu między innymi ustalenie stanów granicznych dla wytypowania elementów jak np.: łańcucha, kół łańcuchowych, łożysk, piast, szcęk hamulcowych i innych, oraz określenie kryteriów oceny tych stanów.

Ustalenie stanów granicznych dla najbardziej zużywających się części pozwoli na bardziej racjonalną gospodarkę i produkcję części zamiennych.

Na przykładzie łańcucha rolkowego stosowanego w zespole napędowym motoroweru omówiono sposób wyznaczania stanu granicznego w oparciu o kryterium techniczne czyli graniczne dopuszczalne wydłużenie łańcucha.

Na podstawie otrzymanych wyników z badań eksploatacyjnych przeprowadzono analizę możliwości zwiększenia dotychczasowej trwałości łańcucha.

2. OKREŚLENIE STANU GRANICZNEGO DLA ŁAŃCUCHA ROLKOWEGO

Na rys. 1 przedstawiony jest łańcuch rolkowy współpracujący z kołem łańcuchowym w dwóch położeniach. Położenie pierwsze odpowiada stanowi początkowemu czyli zazębieniu nowego łańcucha o dodatnim błędzie podziałki z kołem łańcuchowym o prostym profilu zęba. W czasie eksploatacji na skutek przyrostu podziałki ogniwa łańcucha osiadają na coraz więk-

szym kole. W rezultacie następuje zeskakiwanie łańcucha z koła. Taki stan nazywamy stanem krytycznym. Jako stan graniczny przyjęto także wydłużenie podziałki łańcucha, przy którym łańcuch może jeszcze współpracować z kołem, co odpowiada na rys. 1 położeniu drugiemu.

Z cech geometrycznych łańcucha i współpracującego z nim koła określamy graniczne wydłużenie podziałki łańcucha [2]:

$$\Delta t = 2 \cdot \frac{t}{z} \cdot c \cdot d \quad \text{mm} \quad /1/$$

gdzie:

- Δt - dopuszczalne wydłużenie podziałki łańcucha w mm
- z - ilość zębów koła łańcuchowego
- d - średnica rolki łańcucha w mm
- c - współczynnik, który określa dopuszczalny promień położenia środków przegubów ogniw łańcucha.

Współczynnik c określa wzór:

$$c = \frac{\Psi}{d} \cos \frac{\beta}{2} \left[d \cdot (0,5 \operatorname{tg} \varphi + \frac{b}{\cos \varphi}) + \frac{t}{2 \sin \varphi} \left(\frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} - \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} \right) \right] \quad /2/$$

gdzie:

$\Psi = \frac{a}{A}$ - współczynnik wykorzystania długości bocznej zęba

β - kąt wrębów

φ - kąt zaostrenia zęba

$$b = \frac{R_w - R_p}{d} \quad \text{- współczynnik wysokości zęba}$$

t - podziałka łańcucha w mm

α - kąt obejmujący podziałkę

Jak wynika z powyższych zależności stan graniczny określony dopuszczalnym wydłużeniem podziałki łańcucha zależy od wielu czynników, z których najistotniejszymi są ilość zębów w kole łańcuchowym oraz współczynnik wykorzystania długości bocznej zęba zależny od jego profilu.

3. WYZNACZENIE STANU GRANICZNEGO DLA ŁANCUCHA ROLKOWEGO 083-1-110 pz PN-67/M-84168

Łańcuch rolkowy 083-1-110 pz PN-67/M-84168 jest stosowany w zespole napędowym motoroweru "KOMAR" i współpracuje z kołami łańcuchowymi o profilu zęba wykonanym zgodnie z PN-62/M-84161.

Dane charakterystyczne łańcucha i kół

Łańcuch rolkowy 083-1-110 pz PN-67/M-84168

Podziałka nominalna łańcucha $t = 12,7 \text{ mm}$

Średnica rolki łańcucha $d = 7,75 \text{ mm}$

Ilość zębów koła zdawczego $z_1 = 12$

Ilość zębów koła napędzanego $z_2 = 35$

Kąt obejmujący podziałkę koła napędzanego $\alpha = \frac{360}{z} = 10^{\circ}16'$

Kąt wrębów koła napędzanego $\beta = 60^{\circ}$

Kąt zaostrenia zęba koła napędzanego $\varphi = 30 - \frac{180}{z} = 35^{\circ}10'$

Promień podziałowy koła napędzanego $R_p = \frac{t}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = 70,85 \text{ mm}$

Promień wierzchołków zębów koła napędzanego $R_w = 75,85 \text{ mm}$

Współczynnik wykorzystania długości bocznej zęba napędzanego $\Psi = 0,4$

Korzystając z zależności /1/ i /2/ obliczono dopuszczalny przyrost podziałki łańcucha rolkowego stosowanego w zespole napędowym motoroweru "KOMAR"
 $\Delta t = 0,426 \text{ mm}$ co odpowiada $\Delta = 3,4 \%$ podziałki nominalnej.

4. PRZEBIEG ZUŻYCIA ŁANCUCHA ROLKOWEGO 083-1-110 pz PN-67/M-84168

Przebieg zużycia łańcucha rolkowego 083-1-110 pz PN-67/M-84168 wyznaczono na podstawie wyników otrzymanych z badań eksploatacyjnych motorowerów "KOMAR" [4] .

Dla określenia tego przebiegu poddano badaniom eksploatacyjnym próbkę $n = 30$ łańcuchów. Łańcuchy były mierzone w stanie początkowym, w czasie eksploatacji oraz po zakończeniu eksploatacji.

Jako kryterium wymiany łańcucha przyjęto maksymalne jego wydłużenie na jakie pozwalało urządzenie kompensujące.

Na podstawie wyników z badań oszacowano metodą najmniejszych kwadratów prostą regresji [3]

$$\Delta t = 0,11 + 0,03 T \quad \text{mm}$$

5. ANALIZA WYNIKÓW /rys. 2/

Na rys. 2 przedstawiono przebieg zużycia oraz ocenę stanu granicznego łańcucha wynikającą z analizy wyników obliczeń i badań eksploatacyjnych.

Na wykres przebiegu zużycia łańcucha naniesiono stan graniczny /obliczony w punkcie 3/, dopuszczalne wydłużenie wg PN oraz trwałość łańcucha określoną na podstawie wyników badań eksploatacyjnych.

Przy założeniu, że trwałość badanych łańcuchów wyrażona w tys. km przebiegu motoroweru od stanu początkowego do stanu na jaki pozwalało urządzenie kompensujące, jest zmienną losową o rozkładzie normalnym $N/m, \sigma$, /założenie to zweryfikowano przy pomocy testu zgodności A. Kołmogorowa/, dla prawdopodobieństwa 95 %, nieznaną trwałość łańcucha objęta jest przedziałem ufności

$$4,8 \text{ tys. km} < m < 5,9 \text{ tys. km.}$$

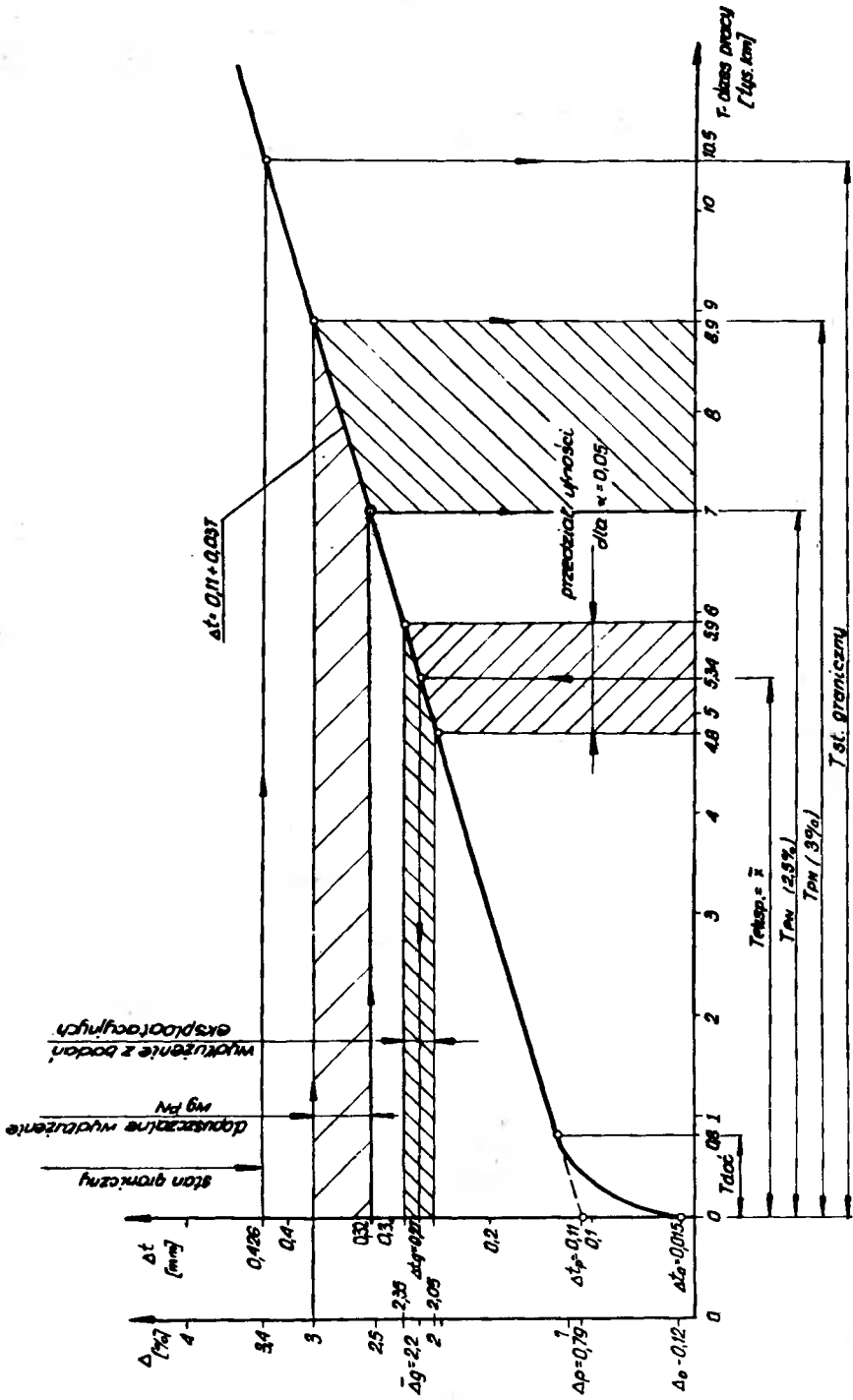
Trwałości określonej w warunkach eksploatacji odpowiada wydłużenie podziałki łańcucha w przedziale 2,05 - 2,35 %, a więc poniżej dopuszczalnego wydłużenia wg PN i stanu granicznego.

Gdyby łańcuch osiągnął wydłużenie 2,5 % to trwałość jego wynosiłaby 7 tys. km.

6. WNIOSKI

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

- dotychczasowa konstrukcja urządzenia kompensującego wydłużenia łańcucha nie zezwala na osiągnięcie przez łańcuch stanu granicznego.



Rys. 2.

Przebieg zużycia oraz ocena stanu granicznego żakoucha
rolkowego 083-1-110 pz PN-67/M-84169

- przy okreśianiu dopuszczalnego wydłużenia łańcucha należy uwzględnić tak ważne czynniki jakimi są ilość zębów w kole łańcuchowym oraz współczynnik wykorzystania długości bocznej zęba.

LITERATURA:

1. M. Mikołajczak - "Kryteria oceny stanów granicznych elementów i zespołów maszyn rolniczych w zagadnieniach trwałości". Praca doktorska - Politechnika Poznańska 1971 r.
2. N.W. Worobiew - Przekładnie łańcuchowe "Maszgiz - 1951 r.
3. J. Greń - "Modele i zadania statystyki matematycznej" PWN, Warszawa 1968 r.
4. Witold Łoś
Kazimierz Zawisłak - Trwałość oraz przebieg zużycia łańcucha
rokowego 083-1-110 pz PN-67/M/84168.
Praca oddana do druku WSI Bydgoszcz. Zeszyty Naukowe. Mechanika

Witold Łoś, Kazimierz Zawisłak

STANY GRANICZNE W ZAGADNIENIACH
TRWAŁOŚCI I NIEZAWODNOŚCI

/streszczenie/

W artykule omówiono ogólnie stany graniczne maszyn w zagadnieniach trwałości oraz na przykładzie łańcucha rolkowego 083-1-110 pz PN-67/M-84168 określono stan graniczny. Przeprowadzono analizę stanu granicznego i dopuszczalnego wydłużenia łańcucha rolkowego na podstawie wyników otrzymanych z badań eksploatacyjnych motorowerów.

Witold Łoś
Kazimierz Zawiaślak

LIMIT STATES IN THE DURABILITY
AND RELIABILITY PROBLEMS

This article deals in general with the machine limit states as to the problems of durability on the example of the roller chain 083-1-110 pz PN-67/M-84168.

It has been performed an analysis on the limit state and permissible roller chain elongation on the basis of received motor-bicycle exploitation research.

Витольд Лось, Казимеж Зависляк

Предельное состояние в вопросах надёжности и долговечности

/ изложение /

В статье даётся описание предельного состояния машин в вопросах надёжности, пользуясь примером роликовой цепи 083 - I - IIO **PN** - 67/ M - 84 I68 для которой определено предельное состояние.

Проведён анализ предельного состояния и допускаемое удлинение роликовой цепи на основании результатов эксплуатационных исследований мотовелосипедов.

Józef Szala^{x/}

TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

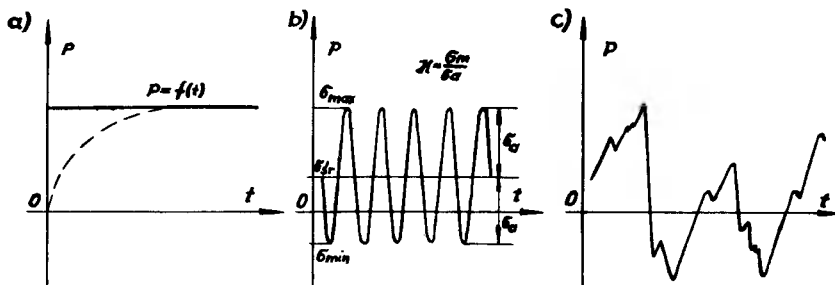
WYBRANE ZAGADNIENIA

WPROWADZENIE

Dążenie do maksymalnego wykorzystania tworzywa, lekkości konstrukcji przy zapewnieniu dostatecznej jej nośności względnie trwałości wymaga stosowania skutecznych metod obliczeń i badań.

Dotyczy to szczególnie maszyn i urządzeń produkowanych masowo lub w dużych seriach.

Zasadniczym zadaniem układów mechanicznych jest przenoszenie obciążeń. Zasadnicze rodzaje obciążeń podano na rysunku 1.



Rys. 1.

Przebieg obciążenia: a - stałego, b - okresowo zmiennego, c - losowego.

W przypadku obciążeń stałych istnieje konieczność zachowania warunku, że wytrzymałość najsłabszego przekroju $[W_{min}]$ będzie przewyższała jego obciążenie $[P_{max}]$ wyrażone w jednostkach siły.

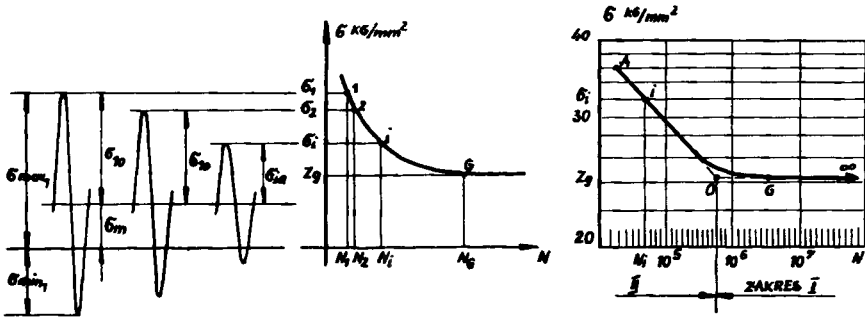
x/ mgr inż. Józef Szala, Zespół Podstaw Konstrukcji Maszyn WSInż.
w Bydgoszczy

$$W_{\min} > P_{\max}$$

Podstawą oceny trwałości zmęczeniowej przy obciążeniach zmiennych jest znajomość charakterystyki zmęczeniowej $\sigma-N$ i przebiegu obciążeń konstrukcji.

Charakterystyka zmęczeniowa stali /rys.2/ w układzie logarytmicznym składa się z dwóch części:

- poziomej, określającej zakres I, tzw. nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej;
- skośnej, określającej zakres II, tzw. ograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej.



Rys. 2.

Charakterystyka zmęczeniowa /krzywa Wöhlera/

Obliczenia wytrzymałościowe dokonywane w zakresie I dopuszczają deterministyczne określenie parametrów wytrzymałościowych konstrukcji, ponieważ każde naprężenie nie przekraczające granicy nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej pozwala na nieograniczony czas pracy.

$$\sigma_{\max} < \sigma_g$$

Określenie trwałości zmęczeniowej w zakresie II charakterystyki w przypadku okresowych zmian naprężeń o stałej amplitudzie i o stałej wartości średniej nie przedstawia poważniejszych trudności, dla naprężeń σ_i /rys. 2/ trwałość wynosi N_i cykli zmian obciążenia. Wymienione przypadki obciążeń należą jednak do rzadkości.

Powstaje zatem pytanie - jak ocenić trwałość zmęczeniową w przypadku obciążeń zmiennych losowo?.

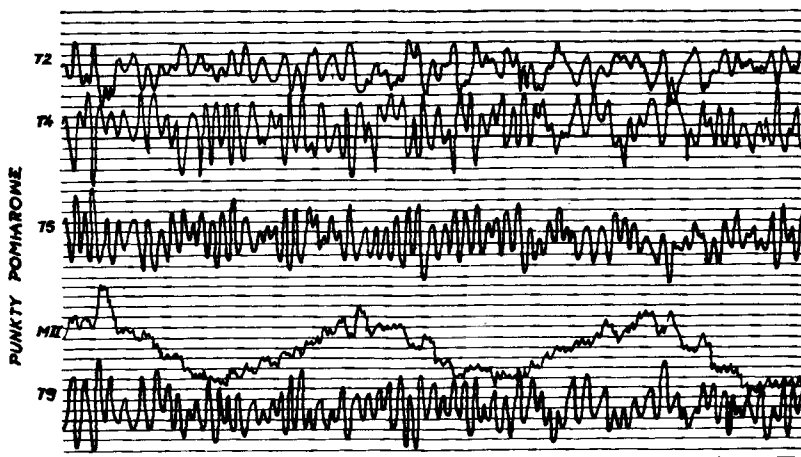
Należy w pierwszym rzędzie bliżej scharakteryzować losowy przebieg obciążenia i sposób opracowania pomiarów.

W artykule posłużono się przykładem z badań trwałości i niezawodności rowerów.

1. POMIARY TENSOMETRYCZNE - źródłem informacji o obciążeniach

Typowym przykładem losowego przebiegu jest obciążenie układu nośnego pojazdów, wynikające z nierówności nawierzchni drogi [1], wykonywanych manewrów przyspieszania i hamowania, oddziaływania układu napędowego i.t.d.

Przeprowadzając pomiary tensometryczne w warunkach eksploatacji na odpowiednio dobranych odcinkach pomiarowych otrzymujemy zapis zmian obciążenia na taśmie oscylografu rys. 3 bądź na taśmie magnetycznej [2]



Rys. 3.

Fragment oscylogramu

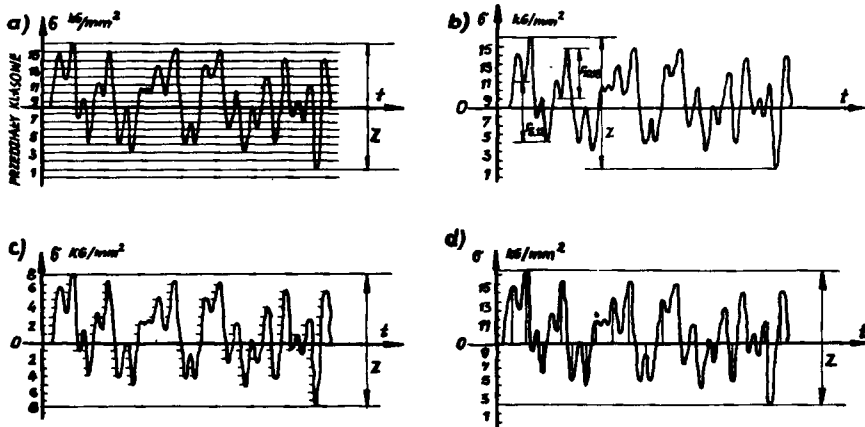
Opracowanie zapisów /oscylogramów/ polega na określeniu:

- charakterystyki obciążenia w punkcie pomiarowym, w którym osiągają wartości maksymalne;
- widma obciążeń dla tego punktu.

Charakterystykę obciążeń określa się przez podanie:

- wykresu mierzonej wielkości w funkcji współrzędnej uogólnionej;
- średniej wartości mierzonej wielkości;
- maksymalnej i minimalnej wartości;
- częstości występowania określonej wartości, wielkości mierzonych czyli tzw. histogramów.

Opracowania zapisów /oscylogramów/ można dokonać według jednej z niżej podanych metod: rys.4.



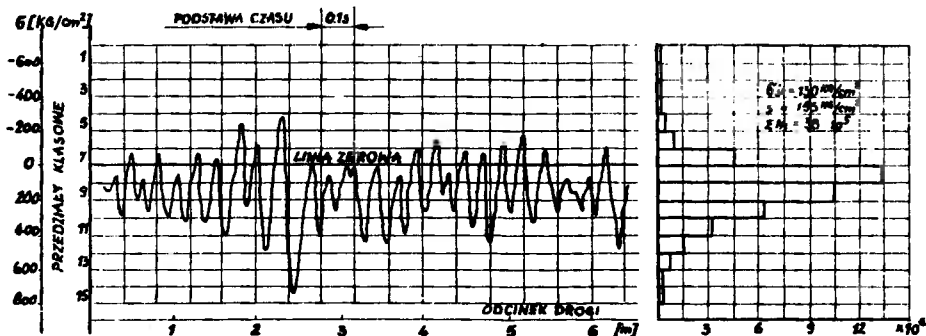
Rys. 4.

Metody opracowania zapisów /oscylogramów/

- a/ zliczania punktów szczytowych /maksimów i minimów lub tylko maksimów/
- b/ zliczania rozpiętości;
- c/ zliczania przekroczeń poziomów;
- d/ zliczania wielkości rzędnych.

Do dalszych rozważań przyjęto metodę zliczania punktów szczytowych rys. 5.

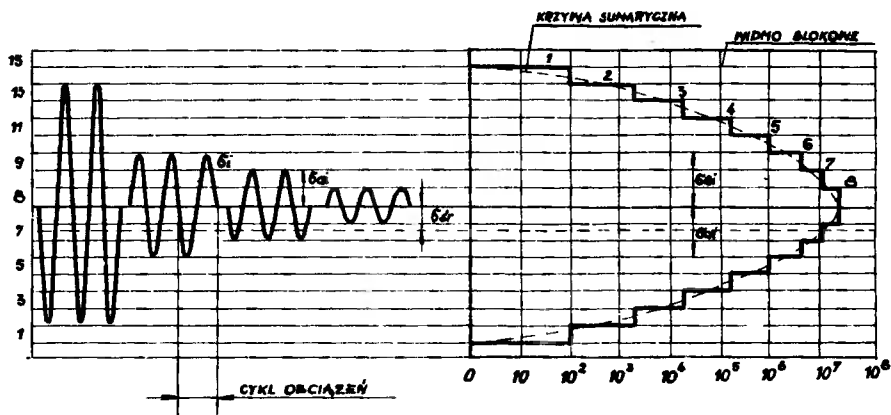
Histogram częstości występowania wartości szczytowych w poszczególnych przedziałach klasowych jest podstawą do opracowania zbiorczego widma obciążeń.



Rys. 5.
Przebieg zmian naprężeń w punkcie pomiarowym T_5

2. WIDMO OBCIĄŻEŃ - punktem wyjścia analizy trwałości obciążeniowej i doświadczalnej.

Widmo obciążeń ustala się zastępując losowy przebieg zmian naprężeń przebiegiem okresowo zmiennym wokół średniej wartości naprężeń rys. 6 o zmiennej amplitudzie σ_{a_i} .



Rys. 6.
Widmo obciążeń

Ilość cykli zmian obciążenia jest połową sumy wartości szczytowych, bowiem na 1 cykl przypadają dwie wartości szczytowe. W większości przypadków rozkład częstości występowania wartości szczytowych w poszczególnych przedziałach klasowych jest rozkładem normalnym. Przyjmując rozkład normalny o parametrach rozkładu empirycznego, możemy

wykreślić dystrybuantę, która będzie jednocześnie krzywą sumaryczną określającą ilość amplitud odpowiednich wartości w widmie obciążeń.

Rys. 6 przedstawia tę zależność w układzie półlogarytmicznym.

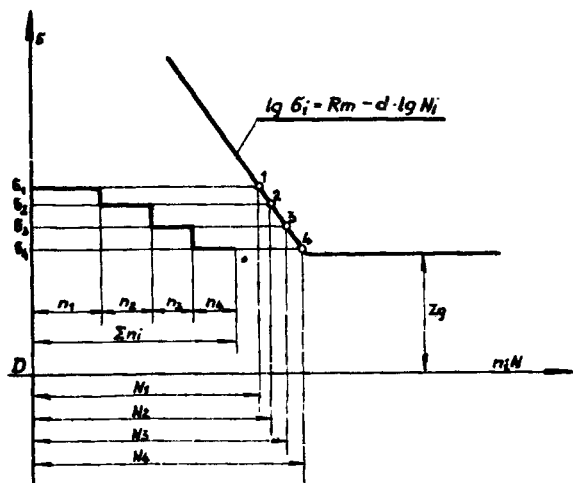
Do obliczeń lub ustalenia programu obciążeń na stanowisku badawczym, wygodniej jest zastąpić widmo ciągle /linia przerywana/ blokowym, przy czym ilość bloków nie powinna być mniejsza od 6. [5], [7]

Do obliczeń ilości cykli poszczególnych wartości amplitud można posłużyć się tablicami dla dystrybuanty rozkładu normalnego przyjmując krańce stopni jako granice przedziałów klasowych. Należy zwrócić uwagę, że ilość stopni widma jest niezależna od ilości klas przyjętych do opracowania zapisu /oscylogramu/.

Tak opracowane widmo obciążeń stanowi punkt wyjścia do analizy trwałości obliczeniowej i doświadczalnej.

3. OBLICZENIOWE WYZNACZANIE TRWAŁOŚCI ZMECZENIOWEJ na podstawie hipotezy Minera - Palmgrena.

Uszkodzenie zmęczeniowe konstrukcji zachodzi wtedy, gdy naprężenie σ_1 powtarza się N_1 razy, $\lg \sigma_1$ i $\lg N_1$ są współrzędnymi punktów leżących w II zakresie charakterystyki zmęczeniowej zbudowanej dla danego typu obciążenia, rys. 7.



Rys. 7.

Ilustracyjne przedstawienie hipotezy liniowego sumowania uszkodzeń zmęczeniowych

Jeżeli w najsłabszym miejscu układu powtarzają się naprężenia σ_1 , σ_2 , ... σ_j odpowiednio n_1 , n_2 , ... n_j razy, wtedy według hipotezy sumowania uszkodzeń zmęczeniowych Minera - Palmgrena uszkodzenie nastąpi gdy:

$$\sum_{i=1}^j \frac{n_i}{N_i} = 1 \quad /1/$$

gdzie:

j - ilość bloków w widmie obciążeń.

$N_i / N_1, N_2, \dots, N_j /$ - graniczna liczba zmian naprężeń przy której następuje zniszczenie konstrukcji obciążonej naprężeniem σ_i .

Hipoteza ta charakteryzuje utratę zmęczeniowej nośności konstrukcji dla przypadku $\sigma_i > \sigma_g$.

Według niej zakłada się, że osłabienie materiału wywołane każdym układem obciążeń nie zależy od ich kolejności oraz, że wielkość $\frac{n_i}{N_i}$ dla naprężeń o różnej wartości powodują ten sam efekt osłabienia /uszkodzenia/.

Zmodyfikowana hipoteza Minera - Palmgrena wyraża się wzorem:

$$\sum_{i=1}^j \frac{n_i}{N_i} = X \quad /2/$$

gdzie:

X - określa się indywidualnie dla danego materiału, ilości cykli i kolejności bloków o różnych amplitudach. Dokładne informacje o wartościach współczynnika X dla wybranych czynników podane są w literaturze /8/, /9/.

Badania nad złożonymi widmami obciążeń wykazały, że wytrzymałość zmęczeniowa ograniczona w tych przypadkach zależy od:

- kolejności występowania poszczególnych wartości naprężeń w widmie;
- kształtu stosowanego cyklu zastępczego;
- czasu przyłożenia poszczególnych wartości naprężeń w widmie;
- przerw w obciążeniu;
- przeciążeń i niedociążeń.

Tych dodatkowych aspektów zagadnienia hipoteza Minera - Palmgrena nie uwzględnia.

Mimo niedoskonałości hipoteza ta jest najpopularniejszą i chętnie stosowaną do oceny i obliczenia trwałości zmęczeniowej w warunkach widma zmęczeniowego, w którym występują naprężenia o różnej wartości.

Z rys. 7 wynika, że równanie prostej skośnej w charakterystyce zmęczeniowej ma postać [3]

$$\lg \bar{\sigma}_i = R_m - d \cdot \lg N_i \quad /3/$$

$$\lg \bar{\sigma}_1 = R_m - d \cdot \lg N_1 \quad /3a/$$

gdzie:

R_m - wytrzymałość doraźna konstrukcji

d - współczynnik kierunkowy prostej skośnej

N_0 - liczba cykli niszczących konstrukcję pod wpływem naj -
większego naprężenia $\bar{\sigma}_1$ obciążającego konstrukcję n_1
razy.

Odejmując stronami równania /3/ i /3a/ otrzymujemy:

$$\frac{\bar{\sigma}_i}{\bar{\sigma}_1} = \left(\frac{N_1}{N_i} \right)^\alpha \quad /4/$$

Podstawiając do równania /1/ $n_1 = \alpha_1 \cdot N$ otrzymamy:

$$\sum_{i=1}^j \alpha_i \frac{N}{N_i} = 1 \quad /5/$$

gdzie:

N - liczba cykli złożonego widma obciążeń konstrukcji naprężeniami $\bar{\sigma}_1, \bar{\sigma}_2, \dots, \bar{\sigma}_j$, aż do jej zniszczenia.

Udzieląc i mnożąc lewą stronę przez N_1 otrzymamy:

$$\frac{N}{N_1} \sum_{i=1}^j \alpha_i \frac{N_1}{N_i} = 1 \quad /6/$$

a po wykorzystaniu równania /4/

$$\frac{N}{N_1} \sum_{i=1}^j \alpha_i \left(\frac{\bar{\sigma}_i}{\bar{\sigma}_1} \right)^{1/d} = 1 \quad /7/$$

stąd liczba cykli niszczących konstrukcję wyniesie:

$$N = \frac{N_1}{\sum_{i=1}^j \alpha_i \left(\frac{\bar{\sigma}_i}{\bar{\sigma}_1} \right)^{1/d}} \quad /8/$$

Z ilości przeniesionych przez układ cykli obciążeń N możemy określić czas pracy T lub przebieg L w km badanego układu.

Dokładniejszą ocenę trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem wpływu niektórych czynników, dają programowe badania zmęczeniowe.

4. PROGRAMOWE BADANIA ZMĘCZENIOWE /4/

Zasadniczym problemem w programowych badaniach zmęczeniowych jest możliwość wierne odtworzenie obciążeń eksploatacyjnych na stanowisku badawczym.

Wierne odwzorowanie obciążeń eksploatacyjnych na stanowisku badawczym jest niemożliwe, najlepszym przybliżeniem byłoby odwzorowanie obciążeń z odcinka pomiarowego o typowych nawierzchniach, zarejestrowanych na taśmie magnetycznej przy pomocy wzбудników elektromagnetycznych bądź hydraulicznych.

Możliwe jest także wykorzystanie generatora impulsów /elektrycznych, akustycznych itp./ o odpowiednim rozkładzie, który przez układ przetworników mógłby sterować odpowiednimi wzбудnikami. Wymienione urządzenia są jednak bardzo kosztowne i rzadko spotykane.

Możliwość wykorzystania na stanowisku badawczym prostych urządzeń mechanicznych, hydraulicznych, pneumatycznych, elektromagnetycznych lub ich kombinacji daje uproszczony blokowy program obciążeń.

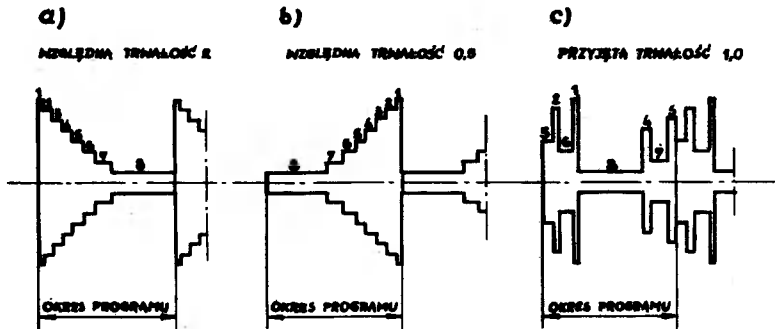
Uproszczenie to polega na zastąpieniu losowych zmian naprężeń w czasie eksploatacji, zmianami okresowo zmiennymi wokół średniej wartości naprężenia, realizowanymi blokami.

Celem opracowania programu, należy dokonać analizy szeregu czynników: najważniejsze z nich to:

- następstwo wartości amplitud i ilości bloków programu,
- ilość okresów realizowanych w programie;
- wpływ przerw w obciążeniach;
- wpływ przeciążeń i niedociążeń;
- wpływ częstości zmian obciążenia.

Wpływ ukształtowania programu na trwałość zmęczeniową obrazuje rys. 8. Przyjmując trwałość układu obciążonego według programu c, tj. programu obciążeń zbliżonych najbardziej do warunków eksploatacji za równy 1, to względna trwałość zmęczeniowa wg programu a, będzie równa 2, wg programu b, równa 0,5 [5]

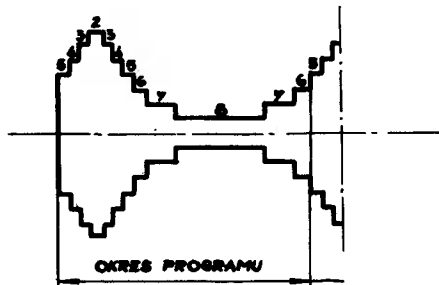
Na podstawie opublikowanych wyników badań [5]-[7] można stwierdzić, że najlepszy byłby program o losowej zmianie wartości amplitud, o 6 do 8 blokach zawierający od 10 do 20 okresów.



Rys. 8.

Formy programu

Program przyjęty do badań ramy rowerowej przedstawia rys. 9 charakterystykę widma i programu obciążeń podaje tabela

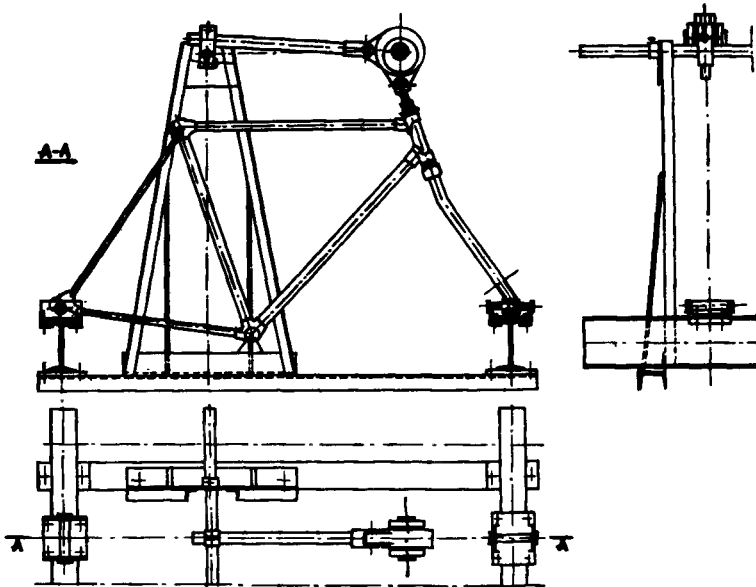


Rys. 9.

Program przyjęty do badań

W programie tym przyjęto 20 okresów, 8 bloków zmian amplitudy i następstwo, począwszy od średniego 5 bloku, rosnące do maksymalnej, następnie stopniowo malejące do minimalnej wartości. Częstość zmian naprężeń w warunkach eksploatacji równa jest w przybliżeniu 20 Hz, w badaniach stanowiskowych wahać się będzie w zależności od wielkości amplitudy naprężeń od 25 do 50 Hz. Częstości od 10 - 50 Hz nie mają wpływu na zmianę trwałości zmęczeniowej.

W programie także uwzględniono naprężenia mniejsze od nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej, ponieważ w obszarze 30% poniżej nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej obserwuje się zmiany trwałości zmęczeniowej w kierunku jej zmniejszenia.



Rys. 10.

Urządzenie do badań trwałości ram rowerowych

Do realizacji obciążeń zmiennych na stanowisku badawczym zastosowano wibrator mechaniczny rys. 10, utrudnione byłoby z powodu jego dużej bezwładności realizowanie losowej zmiany wartości amplitud obciążeń, co wiązałoby się ze znaczną różnicą obrotów w kolejnych blokach.

5. PODSUMOWANIE

Określenie trwałości zmęczeniowej układu możliwe jest na drodze obliczeń i badań stanowiskowych. Analiza taka polega na określeniu widma obciążeń i charakterystyki zmęczeniowej układu.

Ze względu na możliwość uwzględnienia w badaniach stanowiskowych szeregu czynników mających wpływ na trwałość zmęczeniową układów należy uznać ich wyższość nad obliczeniami opartymi o hipotezę liniowego sumowania uszkodzeń Minera - Palmgren'a.

Stosowanie podanych metod przy projektowaniu układów, dopuszcza obciążenia wywołujące naprężenia $\sqrt{\sigma_i} > Z_R$ większe niż nieograniczona wytrzymałość zmęczeniowa, co daje układ o mniejszym ciężarze i o wymaganej trwałości zmęczeniowej, ma to szczególne znaczenie gdy ilość cykli przeciążenia jest niewielka.

Nr poziomu obciążenia	Napięcie średnie	Amplituda napięć chwilowych	Ilość cykli napięć dla danego poziomu	
			w widmie obc.	w okresie prog.
1	2	3	4	5
1	130	800	100	-
2	130	700	1 600	1x80
3	130	600	22 500	2x562
4	130	500	184400	2x4 610
5	130	400	760 000	2x19 000
6	130	300	2 682 000	2x67 050
7	130	200	6 180 000	2x154 500
8	130	100	9 200 000	1x460 000
			19 030 600	951 530

Tabela 1

Charakterystyka widma i programu obciążeń



LITERATURA

1. Rybak M. Ziemia S.
Statystyczne cechy profilu jezdni jako podstawa analizy dynamiki ruchu pojazdu.
Zeszyt Naukowy Politechniki Poznańskiej Mechanizacja i Elektrofikacja Rolnictwa Nr 8 1967 r.
2. Jazdon A., Szala J.
Badania niezawodności i trwałości motorowerów i rowerów w warunkach eksploatacji oz.I.
Zeszyt Naukowy Nr 2 "Mechanika - Konstrukcje" Zeszyt 1 WSI Bydgoszcz 1971 r.
3. Hajduk J.
Deterministyczna i probabilistyczna wytrzymałość konstrukcji:
Przysąd Mechaniczny Nr 19, 1971 r.
4. Szala J.
Programowanie obciążeń na stanowisku do badań zmęczeniowych.
Zeszyt Naukowy "Mechanika - Konstrukcje" Zeszyt 2 WSI - Bydgoszcz - w druku.
5. Łapiński Z.
Programowe badania zmęczeniowe
Wybrane Materiały II Krajowej Konferencji Wytrzymałościowej SIMP - WAT 1961 r.
6. Sjerjensjen S.W., Kogajew N.P., Sznjejdjerowicz R.M.
Njesuszozaja sposobnost i rasczjoty djetalnej maszin
Maszgil Moskwa 1963 r.
7. Hertel H.
Ermüdungsfestigkeit der Konstruktionen
Springer - Verlag Berlin Heidelberg New York 1969 r.

8. Esuwałow S.A.

Dołgowiecznost djetaljej maszin pri pjerjemjennych nagruzkach i sumirowanije ustałosti

Wjestnik maszinostrojenija 5/1959 r.

9. Sjerjensjen S.W., Kogajew W.P.

Dołgowiecznost djetaljej maszin s uozjetom wjerojatnosti razruszjenija pri njestacjonarnom pjerjemjennom nagrużjenii

Wjestnik maszinostrojenija 1/1966 r.

Józef Szala

TRWAŁOŚĆ ZMĘCZENIOWA KONSTRUKCJI

WYBRANE ZAGADNIENIA

/streszczenie/

W artykule omówiono analizę obciążeń będących procesem losowym, obliczeniową metodę wyznaczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji opartą o hipotezę kumulacji liniowej uszkodzeń zmęczeniowych Minera - Palmgrena oraz badań konstrukcji na stanowisku do badań trwałości zmęczeniowej w zastosowaniu do ram rowerowych.

Józef Szala

CONSTRUCTION FATIGUE DURABILITY

-CHOSEN PROBLEMS-

This work contains an analysis of the loads being a chance process, a calculation method of determining construction fatigue durability based on linear cumulation hypothesis of Miner-Palgram fatigue damage and construction tests on the fatigue durability test stand applied to the bicycle frames.

Юзеф Шаля

Усталостная прочность конструкции – избранные вопросы

В статье даётся анализ нагрузок являющихся стохастическим процессом, а также расчётный метод определения усталостной прочности конструкции на основании гипотеза Минера – Пальм-грена линейной купуляции усталостных отказов, а также исследований конструкции на установке для усталостных испытаний велосипедных рам.

Biblioteka Główna ATR
w Bydgoszczy

Cx

1006

613

1996



BYDGOSZCZ

Cena zł 10,-