

1 9 6 6
Nr 3 (54)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
WARSZAWA — MIEDZESZYN

296
292

BIBLIOTEKA
Instytut Łączności

Nr _____

PRZEGLĄD ZAGADNIEŃ ŁĄCZNOŚCI



PRZEGLĄD ZAGADNIENI ŁĄCZNOŚCI



ROK 6

WARSZAWA 1966

NR 3(54)

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Ośrodek Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Kolegium Redakcyjne

Przewodniczący - mgr inż. Zenon Szpigler
Z-ca Przewodniczącego - mgr inż. Władysław Cetner

Członkowie:

mgr inż. Władysław Adaszewski, inż. Edmund Janowski,
prof. Stefan Jasiński, mgr inż. Stanisław Kobus,
mgr inż. Adam Moniuszko, mgr inż. Józef Możejko,
mgr Zofia Życińska

Sekretarz Redakcji - Irena Kulko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Ośrodek

Informacji Techniczno-Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

Redaktor: J. Borkowska Montaż tekstu: B. Drabik

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności
Format B5. Nakład 780. Druk ukończono
w czerwcu 1966 r.

PRZEGLĄD
ZAGADNIENÍ ŁĄCZNOŚCI

Niezawodność

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Niezawodność telegraficznych urządzeń końcowych - Opracował C. Niewiadomski	1
2. Ocena niezawodności urządzeń sterujących w automatycznych centralach telefonicznych - Opracował C. Niewiadomski	73
3. Określenie niezawodności sprzętu łączności metodą Monte-Carlo - Opracował C. Niewiadomski	97

621.394.36

621.3.019.3

NIEZAWODNOŚĆ TELEGRAFICZNYCH URZĄDZEŃ KOŃCOWYCH

Tłumaczył: C. Niewiadomski¹⁾

1. ZNACZENIE PROBLEMU NIEZAWODNOŚCI W TELEGRAFII

Problem niezawodności obejmuje dużą ilość skomplikowanych zagadnień, wymagających starannej analizy. Konieczność określenia dokładnych liczbowych wskaźników niezawodności wymaga przy tym rozwiązania różnych zagadnień naukowych w każdym konkretnym kierunku techniki i w każdej jej dziedzinie, ponieważ uniwersalne, wspólne tezy teorii niezawodności nie istnieją. Niedostatecznie krytyczne ich stosowanie prowadzi ponadto do mylnych wniosków i wyników.

Szerokie wdrożenie automatyzacji jest niemożliwe, jeżeli elementy składowe urządzeń zautomatyzowanych są niedostatecznie niezawodne. Właściwy zaś efekt ekonomiczny automatyzacji można zapewnić tylko wtedy, gdy niezawodność pracy układów zautomatyzowanych jest na wystarczająco wysokim poziomie.

Znaczenie niezawodności urządzeń zautomatyzowanych zwiększa się wówczas, gdy za pomocą nich trzeba wykony-

¹⁾ Pasicznik N.D., Striełkowa R.A.: Nadiożnost' koniecznojj telegrafnojj apparatury. Moskwa 1964, Izdat. Swiaż, ss. 47.

wać czynności, których charakter nie pozwala na ich powtarzanie lub których powtarzanie nie daje wymaganego efektu. Dlatego też środki w celu zapewnienia niezawodności urządzeń telegraficznych powinny być przedsięwzięte już na etapie opracowywania wymagań lub warunków technicznych, w następnych zaś etapach zagadnienia niezawodności powinny być stale w centrum uwagi projektantów. Ponadto o niezawodności nie można zapominać podczas produkcji, gdyż jakość wykonania urządzeń ma istotny wpływ na niezawodność.

W eksploatacji zapewnienie niezawodności jest stałą troską personelu technicznego. I tak techniczne obsługiwanie urządzeń prawie całkowicie składa się z przedsięwzięć zmierzających do utrzymania niezawodności pracy urządzeń przez zapobieganie niesprawnościom i ich usuwanie, poza tym zaś personel techniczny zmuszony jest stosunkowo często usuwać niedociągnięcia projektowania i wykonania urządzeń. Z tego wynika, jak stosunkowo duża jest rola pracowników eksploatacji w rozwiązywaniu problemu niezawodności.

Szczególnie ważna podczas eksploatacji jest obiektywna ocena niezawodności urządzeń w praktyce, co bynajmniej nie jest prostym zadaniem. Poza zasadniczymi wartościami niezawodności trzeba bowiem znać, jaką liczbę urządzeń należy poddać obserwacji podczas eksploatacji oraz jak długo powinna trwać obserwacja, aby ustalone kryteria niezawodności mogły służyć praktycznym celom.

Ważne jest również ustalenie niezbędnego poziomu niezawodności pracy urządzeń, ponieważ bez rozwiązania te-

go zagadnienia nie można podać wymagań projektantom i producentom. Jest przy tym niewłaściwe żądanie od urzędzeń za wysokich wymagań odnośnie niezawodności, gdyż powoduje to nieusprawiedliwione straty środków materialnych. Zdarza się bowiem, że urządzenia stają się przestarzałe pod względem rozwiązań konstrukcyjnych, zanim nastąpi ich fizyczne zużycie.

Jedną z własności łączności telegraficznej jest niezawieranie zbędnych kombinacji znaków kodowych oraz informacji. Ten warunek w połączeniu z dokumentalnym znaczeniem otrzymanej informacji telegraficznej zmuszają do stosowania w telegrafii czcionkowej specjalnych środków ostrożności w celu zapewnienia niezawodności połączeń i ochrony przed zakłóceniami przy przekazywaniu informacji.

Aparaty telegraficzne umożliwiają przyjęcie przekazywanej informacji również w nieobecności obsługującego personelu lub abonenta, gdy nie ma kto skontrolować ewentualnego zniekształcenia przekazanej wiadomości. Niezbędne jest przy tym również, aby była gwarantowana niezawodność odbioru informacji.

Ponadto obecnie obserwuje się dążność do zwiększenia szybkości telegrafowania, co z kolei powoduje zwiększenie szybkości działania elementów aparatów telegraficznych i jest w prostym stosunku z zagadnieniem niezawodności łączności telegraficznej. Dlatego też zwiększenie intensywności pracy aparatów telegraficznych, wykorzystywanie ich w systemach transmisji danych oraz w systemie EASS (Jedinaja awtomatizirowannaja siet swiazi) wy-

magają koniecznie znacznie większego niż dotychczas zwrócenia uwagi na zagadnienia ich niezawodności.

2. TERMINOLOGIA I ZASADNICZE OKREŚLENIA

Ustalenie znormalizowanych określeń teorii niezawodności jest bardzo skomplikowane. Dobór określeń zależy bowiem w znacznej mierze od subiektywnych gustów specjalistów oraz od przyzwyczajenia się do potocznego nimi posługiwania się.

Rozpatrzmy niżej zasadnicze określenia i parametry niezawodności, zgodnie z projektem terminologii niezawodności w dziedzinie radioelektroniki, opracowanym przez Komitet Terminologii Technicznej Akademii Nauk ZSRR i opublikowanym w trzecim kwartale 1962 r. (Sborniki rekomendujemych terminow, Wyp. 60, Izd. AN SSSR, 1962). Przykłady i materiał ilustracyjny wyjaśniające te określenia będą jednakże wzięte z techniki telegraficznej.

Niezawodność jest to właściwość urządzenia, zapewniająca wykonanie wymaganego od niego zadania. Inaczej mówiąc, niezawodność jest to zdolność do sprawnego wykonywania wymaganych funkcji w określonych warunkach eksploatacji i określonym czasie.

Niezawodność urządzeń zależy przede wszystkim od ich zdolności do pracy bez uszkodzeń i podatności do remontów. Zdolność do pracy bez uszkodzeń (bezotkazność) jest to właściwość urządzeń, polegająca na zachowaniu podatności do pracy ciągłej w określonym czasie i w określonych warunkach eksploatacji, a podatność do remontów jest

to właściwość urządzeń, polegająca na przystosowaniu ich do wykrywania i usuwania uszkodzeń, a także do zapobiegania uszkodzeniom.

We wszystkich tych sformułowaniach występuje pojęcie uszkodzenia, które jest stosunkowo szerokie i składające się z kilku stopniowań, odróżniających się różnym stopniem, czyli intensywnością uszkodzeń.

Uszkodzenie jest to całkowita lub częściowa utrata zdolności do pracy urządzenia, poza tym zaś jest to także taka zmiana stanu normalnego urządzenia, która wpływa w sposób istotny na wykonywanie jego funkcji. Uszkodzenia mogą być różne, przy czym jedne z nich powodują całkowitą niezdatność systemu, urządzenia lub jego elementów, podczas gdy inne uszkodzenia tak silnie pogarszają parametry systemu, urządzenia lub jego elementów, iż powstaje bezpośrednie niebezpieczeństwo utraty zdolności do dalszej pracy.

Podajmy kilka przykładów uszkodzeń z praktyki telegrafii. I tak w aparacie ST-2M nie obraca się silnik elektryczny przy włączeniu, wskutek czego aparat nie może pracować. Innym przykładem jest znaczne nagrzewanie się silnika elektrycznego podczas pracy, co z punktu widzenia teorii niezawodności jest także uszkodzeniem, ponieważ w przypadku nieprzedsięwzięcia odpowiednich środków i usunięcia przyczyn powodujących przegrzewanie silnika aparat zostanie unieruchomiony. Przykładami uszkodzeń są także samorzutne uruchomienie aparatu po zatrzymaniu lub niezatrzymanie się urządzenia na sygnał

zatrzymania oraz brak przerzutu z jednego na drugi rejestr.

Według oznak i przyczyn uszkodzeń można je sklasyfikować następująco: uszkodzenia całkowite i częściowe, nagłe i stopniowe, chwilowe lub trwałe oraz widoczne i ukryte, podczas gdy według znaczenia oraz skutków uszkodzenia można rozpatrywać ponadto jako rozregulowania, zepsucia i awarie. Każde uszkodzenie może być objęte ramami tej klasyfikacji, przy czym, na przykład brak przerzutu z rejestru na rejestr jest z punktu widzenia pracy całego aparatu uszkodzeniem częściowym, które może być jednocześnie chwilowe, to jest powstające od czasu do czasu. Brak styku w parze sprężyn zestyku nadajnika może być zaś widoczny lub ukryty, całkowity lub częściowy, albo też trwałe lub rzadko występujący. Jednym z najbardziej nieprzyjemnych rodzajów uszkodzeń są uszkodzenia nietrwałe, czyli chwilowe (zanikające), ponieważ ich przyczyny są trudne do wykrycia.

Oddzielną grupę tworzą uszkodzenia stopniowe (umowne). Uszkodzenia te wytwarzają się w przeważającej mierze wskutek starzenia elementów, powodującego pogorszenie ich parametrów.

Uszkodzenia nie należy mylić z niesprawnością, będącą takim stanem urządzenia, przy którym nie odpowiada ono w określonej chwili chociażby jednemu z wymagań, ustalonych dla zasadniczych lub drugorzędnych parametrów. Nie wszystkim niesprawnościom towarzyszą bowiem uszkodzenia, ponieważ niesprawność jest szerszym pojęciem niż uszkodzenie. I tak, na przykład, do niesprawności

zalicza się naruszenie normalnych dogodności eksploatacji lub nawet jej częściowe ograniczenie, nie powodujące jednakże przerw w pracy.

Podatność do pracy (rabotosposobność) jest to taki stan aparatu, urządzenia lub systemu, przy którym ich zasadnicze parametry odpowiadają w określonej chwili wszystkim ustalonym wymaganiom.

Zużycie jest to stopniowa zmiana parametrów, spowodowana działaniem obciążeń mechanicznych, elektrycznych i cieplnych, występujących podczas pracy. Wskutek, na przykład, zużycia mechanicznego zmieniają się wymiary elementów i jakość ich powierzchni.

Starzenie jest to proces stopniowych i stałych zmian, związany z pogorszeniem się jakości materiałów w miarę upływu czasu oraz z innymi zjawiskami, niezależnymi od warunków pracy.

Metody i sposoby badań oraz określania niezawodności obiektów technicznych wymagają, w celu uproszczenia analizy, rozczłonkowania obiektów na niektóre umowne części składowe. W teorii niezawodności ustalilo się już przy tym stopniowanie, określające strukturę badanych obiektów, według którego zwykle przyjmuje się, że obiekt jest to pewien układ składający się z urządzeń technicznych oraz że urządzenia są to zespoły poszczególnych elementów.

Poniżej są podane określenia części składowych obiektów technicznych w takim ujęciu, które najlepiej nadaje się do przyjęcia w telegrafii. I tak system jest to zespół wspólnie działających obiektów, przeznaczonych do

samodzielnego wykonywania ustalonego zadania, który może składać się z jednego lub kilku urzędzeń. Każde z tych urzędzeń zapewnia wykonanie wymaganych od niego w praktyce zadań, cząstkowych w stosunku do ogólnego przeznaczenia całego systemu.

W charakterze przykładu można wymienić system bezpośrednich łączy telegraficznych, który jest utworzony przez kilka urzędzeń, mających samodzielne przeznaczenie. Taki system składa się z trojakiego rodzaju samodzielnych urzędzeń, a mianowicie urzędzeń telegraficznych końcowych, urzędzeń komutacyjnych i kanałów.

Element jest to niepodzielny zespół części, przeznaczony do wykonywania określonych funkcji. Jako elementy mogą być rozpatrywane zarówno oddzielne części, jak i zespoły, będące z kolei częściami składowymi aparatów lub urzędzeń, wykonujące w nich określone funkcje.

W urządzeniach telegraficznych elementami są części mechaniczne, jak dźwignie, szyny szyfrujące, kabłąki, zapadki, krzywki, kondensatory. Gdy trzeba określić niezawodność urządzenia zależnie od niezawodności jego zespołów, jako elementy mogą być rozpatrywane poszczególne mechanizmy, a mianowicie zestaw drukujący, Jeszyfrator, mechanizm wybierający, klawiatura, samoczynny nadajnik zmianowy itd.

Elementy mogą być typowe i specjalne. Mechaniczne elementy urzędzeń telegraficznych są zwykle elementami specjalnymi.

Urządzenie jest to zespół elementów, połączonych w skończoną technicznie konstrukcję (na przykład aparaty

telegraficzne, nadajniki samoczynne, dziurkarki itd.), mającą odrębne przeznaczenie eksploatacyjne. Urządzenia mogą być proste lub złożone.

3. WSKAŹNIKI ILOŚCIOWE NIEZAWODNOŚCI

Metody matematyczne badań niezawodności

W celu wykorzystania niezawodności w obliczeniach, podobnie jak dowolną inną własność, należy ją określać liczbowo. Przy wyborze wskaźników ilościowych trzeba jednakże przede wszystkim ustalić, jakimi metodami matematycznymi należy posługiwać się do badań niezawodności interesujących nas urządzeń.

Aparaty telegraficzne i urządzenia automatyki składają się z setek części różnego typu, a uszkodzenie prawie każdej z nich lub rozregulowanie dowolnego podzespołu powoduje uszkodzenie całego aparatu. Niezawodność każdej części i tym samym całego urządzenia zależy od jakości i struktury materiałów, obróbki powierzchni, warunków eksploatacji, jakości obsługi itd. Jedne z tych czynników są zasadnicze, co oznacza, że między nimi i niezawodnością istnieje bardzo silna współzależność, podczas gdy inne są poboczne, drugorzędne, tylko w nieznacznej mierze wpływające na niezawodność.

Uwzględnienie działania wielorakich czynników na wszystkie części aparatu telegraficznego jest niemożliwe, gdyż do wskazania momentów występowania uszkodzeń trzeba byłoby znać wtedy indywidualne czasy życia wszystkich

części, czasy niezbędne do ich wymiany i stabilność regulacji. Z praktyki natomiast wiadomo, że wskutek różnych przyczyn czasy życia części tego samego typu waha-
ją się w szerokich granicach, a charakterystyki regula-
cji podzespołów również nie są stałe. Dlatego też, wo-
bec braku dokładnych danych wyjściowych, nie można o-
trzymać dokładnych wyników oraz nie można wskazać do-
kładnie momentu występowania uszkodzeń i okresów czasu
normalnej podatności do pracy. W wyniku tego niestatys-
tyczne metody badań i obliczeń niezawodności są nie na-
dające się do zastosowania.

Badaniem prawidłowości występowania zdarzeń, których
występowanie zależy od wielkiej liczby czynników przy-
padkowych, zajmuje się teoria prawdopodobieństwa. Za po-
mocą tej teorii można zbadać również wpływ wielkiej lic-
by czynników na niezawodność telegraficznych urządzeń
końcowych.

Zdarzenie charakteryzujące się możliwością występowania
lub niewystępowania przy każdej poszczególniej obser-
wacji lub każdym poszczególnym badaniu (doświadczeniu)
nazywa się w teorii prawdopodobieństwa zdarzeniem loso-
wym (przypadkowym). Takim typowym przykładem zdarzenia
losowego jest właśnie uszkodzenie.

Zmienną losową nazywa się wielkość zmienną, która w
wyniku obserwacji (badania) może przyjmować dowolną, u-
przednio nieznaną wartość. Czas życia części, czas pra-
cy urządzenia między uszkodzeniami, czas zużyty na re-
mont, wszystko to są zmienne losowe.

Przy badaniu całego zbioru wartości zmiennej losowej okazuje się, że podlegają one określonym zależnościom. Ponieważ zaś obiektem badań teorii niezawodności są zmienne losowe, wskaźniki ilościowe niezawodności powinny być więc oparte na takich charakterystykach, które są rozpracowane przez teorię prawdopodobieństwa do oceny zmiennych losowych. Właściwość wszystkich charakterystyk prawdopodobieństwa polega na tym, iż nie są one całkowicie pewne (gwarantowane) wobec czego określa się tylko prawdopodobieństwo, czyli poziom wiarygodności określonej wartości.

Przypomnijmy, że do wyrażania zmiennych losowych służą charakterystyki liczbowe i prawa rozkładu statystycznego. Charakterystyki liczbowe wyrażają w zwięzłej postaci najbardziej istotne właściwości rozkładu, przy czym najważniejszymi z nich są wartość oczekiwana (nadzieja matematyczna) zmiennej losowej i wariancja.

Wartością oczekiwaną $M(X)$ zmiennej losowej nazywa się sumę iloczynów wszystkich możliwych wartości zmiennej losowej i prawdopodobieństw tych wartości

$$M(X) = \sum_{i=1}^{i=n} x_i p_i \quad (1)$$

gdzie

- x_i - i -ta wartość zmiennej losowej,
- p_i - prawdopodobieństwo i -tej wartości.

Wariancją $D(X)$ nazywa się wartość oczekiwaną kwadratu odchylenia zmiennej losowej od jej wartości oczekiwanej

$$D(X) = \sum_{i=1}^{i=n} (x_i - \bar{X})^2 p_i, \quad (2)$$

gdzie $\bar{X} = M(X)$ - wartość oczekiwana.

Wariancja zmiennej losowej jest charakterystyką rozproszenia (rozrzutu) wartości zmiennej losowej wokół jej wartości oczekiwanej.

W charakterze miary rozrzutu często posługuje się odchyleniem średnim zmiennej losowej σ , które odpowiada pierwiastkowi kwadratowemu z wariancji

$$\sigma = \pm \sqrt{D(X)} \quad (3)$$

Ponadto w praktyce okazuje się niekiedy dogodną jeszcze jedna wartość liczbowa, a mianowicie wartość modalna. Wartością modalną zmiennej losowej nazywa się jej najbardziej prawdopodobną wartość.

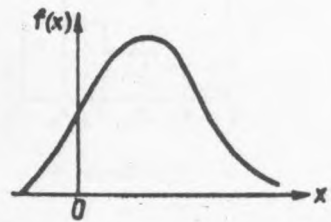
Do całkowitej, wyczerpującej charakterystyki zmiennej losowej przyjmuje się jej rozkład, przy czym rozkładem zmiennej losowej nazywa się wszelki stosunek ustalający zależność między możliwymi wartościami zmiennej losowej i prawdopodobieństwami im odpowiadającymi. Spośród kilku sposobów, którymi może być przedstawiony rozkład zmiennej losowej, najprostszym jest tablica z wyszczególnie-

niem możliwych wartości zmiennej losowej i odpowiadających im prawdopodobieństw. Taka tablica nazywa się szerzeniem rozkładu, który można przedstawić graficznie w postaci wielokąta rozkładu (rys. 1).

x_1	x_1	x_2	x_n
p_1	p_1	p_2	p_n



Rys. 1



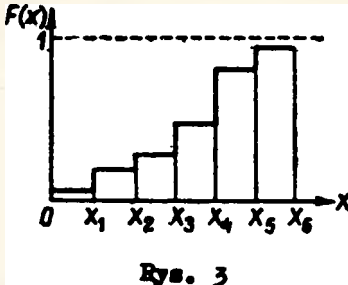
Rys. 2

W przypadku zmiennej losowej ciągłej rozkład może być wyrażony gęstością rozkładu (gęstością prawdopodobieństwa) $f(x)$, która charakteryzuje zagęszczenie rozkładu wartości zmiennej losowej w danym punkcie. Krzywa przedstawiająca gęstość prawdopodobieństwa zmiennej losowej nazywa się funkcją gęstości rozkładu (rys. 2).

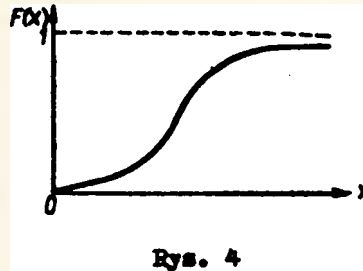
Najbardziej uniwersalną charakterystyką zmiennej losowej jest jej dystrybuanta $F(X)$, która istnieje zarówno dla ciągłych, jak i nieciągłych zmiennych losowych. Dystrybuanta, czyli scałkowany sposób przedstawienia rozkładu, określa prawdopodobieństwo, że zmienna losowa X przyjmuje podczas badania wartość mniejszą niż dowolnie określona rzeczywista liczba x :

$$F(\hat{X}) = P(X \leq x)$$

Dystrybuanta dowolnej nieciągłej zmiennej losowej jest to funkcja nieciągła, skokowa (rys. 3), a dystrybuanta ciągłej zmiennej losowej jest to zwykle funkcja ciągła we wszystkich punktach (rys. 4).



Rys. 3



Rys. 4

Każdy rozkład wyobraża pewną funkcję, a ustalenie tej funkcji całkowicie określa zmienną losową z punktu widzenia prawdopodobieństwa. Badane przez teorię niezawodności zmienne losowe podporządkowują się najczęściej poniższym rozkładom:

1. Rozkładowi normalnemu (Gaussa)

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[\frac{-(x-a)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (4)$$

gdzie:

- σ^2 - wariancja zmiennej losowej,
- a - wartość oczekiwana zmiennej losowej.

2. Rozkładowi Poissona

$$p(\xi = n) = \frac{\lambda^n}{n!} e^{-\lambda} \quad (5)$$

gdzie:

λ - średnia liczba występowania zdarzenia losowego (przypadkowego) ξ .

3. Rozkładowi gamma

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha+1) \cdot \beta^{\alpha+1}} \cdot x^\alpha \cdot \exp\left[-\frac{1}{\beta} x\right] \quad (6)$$

gdzie:

α i β - parametry rozkładu,

$\Gamma(\alpha+1)$ - funkcja gamma Eulera.

4. Rozkładowi Rayleigha

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right] \quad (7)$$

Wskaźniki niezawodności telegraficznych urządzeń końcowych

Telegraficzne urządzenia końcowe należą do rodzaju systemów nadających się do odbudowy, to znaczy systemów, które w przypadku występowania uszkodzenia mogą być odbudowane, czyli naprawione. Dla systemów nadających się do remontu przedłożono stosunkowo wiele różnych wskaźni-

ków, przy czym do oceny niezawodności urządzeń telegraficznych i aparatury automatyki najbardziej celowe są następujące wskaźniki ilościowe: średnia intensywność uszkodzeń λ_{sr} , średni czas między uszkodzeniami T , średni czas remontu T_{rem} i prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń P_0 w czasie t .

Zespół powyższych wskaźników może dać wystarczająco całkowity obraz niezawodności urządzenia telegraficznego lub aparatury automatyki. Gdy natomiast niezbędna jest głęboka analiza niezawodności telegraficznych urządzeń końcowych, mogą być wykorzystane ponadto następujące charakterystyki niezawodności: funkcja intensywności uszkodzeń w czasie, funkcja prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń, rozkład strumienia uszkodzeń, rozkład czasu między uszkodzeniami i rozkład czasu remontu.

Rozpatrzmy obecnie co wyobrażają podstawowe wskaźniki ilościowe niezawodności, a także wzory do ich określania oraz postacie odpowiadających charakterystyk czasu lub rozkładów.

Strumień uszkodzeń i intensywność uszkodzeń. Strumieniem nazywa się kolejno występujące po sobie zdarzenia. Uszkodzenia występujące przy eksploatacji urządzeń telegraficznych tworzą strumień uszkodzeń.

Różne rodzaje strumieni zdarzeń i ich własności są rozpatrywane szczegółowo w teorii procesów masowych. I tak udowodniono, że najprostszy strumień uszkodzeń występuje wtedy po zakończeniu okresu docierania, gdy system składa się z bardzo dużej liczby części o różnym czasie życia i różnych rozkładach uszkodzeń. Urządzenia

telegraficzne i aparatura automatyki zawierają właśnie kilkaset części o różnych czasach życia i różnych rozkładach uszkodzeń, przy czym czasy życia części narażonych na uszkodzenia losowe (na przykład wskutek złamania) podlegają zwykle rozkładowi wykładniczemu, a czasy życia części narażonych przede wszystkim na starzenie - rozkładowi modalnym (rozkładowi z maksimami). Dlatego też są podstawy do twierdzenia, że strumień uszkodzeń telegraficznych urządzeń końcowych jest najprostszy.

Właściwości statystyczne dużej liczby obserwacji jednego systemu w dowolnie wybranych chwilach czasu są w przypadku najprostszego strumienia analogiczne do właściwości takiej samej liczby obserwacji wielu dowolnie wybranych systemów tego samego typu w tych samych chwilach czasu. Wobec tego, badania niezawodności jednego urządzenia telegraficznego w dużym okresie czasu można zastąpić przez bardziej krótkotrwałe badania niezawodności kilku takich samych urządzeń. Właściwość ta jest bardzo ważna do określania w praktyce wskaźników niezawodności w warunkach eksploatacji.

W przypadku najprostszego strumienia uszkodzeń ich liczba w czasie t podlega rozkładowi Poissona

$$P_m(t) = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t}, \quad (8)$$

gdzie $m = 0, 1, 2 \dots$ jest liczbą uszkodzeń. I tak, na przykład, $P_1(t)$ jest to prawdopodobieństwo występowania jednego uszkodzenia w czasie t , a $P_3(t)$ - trzech uszkodzeń w czasie t itd.

Parametr λ strumienia uszkodzeń przedstawia wartość oczekiwaną liczby uszkodzeń w jednostce czasu i nazywany jest średnią intensywnością uszkodzeń. Określa się ją jako liczbę uszkodzeń w jednostce czasu, odniesioną do średniej liczby urządzeń sprawnie pracujących w danym okresie czasu:

$$\lambda_i = \frac{\Delta n_i}{(N_0 - n_i) \Delta t_i} \cdot \frac{\text{uszkodzenia}}{\text{godz.} \cdot \text{urządzenia}} \quad (9)$$

gdzie:

Δn_i - liczba uszkodzeń w okresie czasu Δt_i ,

N_0 - początkowa liczba urządzeń,

$(N_0 - n_i)$ - średnia liczba urządzeń kontynuujących pracę w końcu okresu czasu Δt_i .

Średnią intensywność uszkodzeń w okresie czasu t określa się poniższym wzorem:

$$\lambda_{\text{śr}} = \frac{\sum_{i=1}^{t/\Delta t} \lambda_i}{t/\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{m} \cdot \frac{\text{uszkodzenia}}{\text{godz.} \cdot \text{urządzenia}} \quad (10)$$

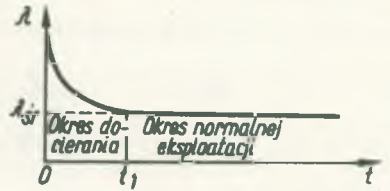
gdzie $m = \frac{t}{\Delta t}$ - liczba jednostek czasu Δt w okresie czasu t .

W czasie normalnej eksploatacji intensywność uszkodzeń jest stała, a w okresie docierania - nieco zwiększona (rys. 5). W pierwszym okresie strumień uszkodzeń

aparatów telegraficznych jest w pełni określony średnią intensywnością uszkodzeń w tym okresie λ_{sr} .

Czas między uszkodzeniami.

W przypadku urządzeń wielokrotnego stosowania jednym z najbardziej zalecanych wskaźników jest średni czas pomiędzy uszkodzeniami, to znaczy średni czas pracy między dwoma kolejnymi uszkodzeniami. W ciągu całego czasu eksploatacji w aparatach telegraficznych i urządzeniach automatyki występują właśnie liczne uszkodzenia, a czas pracy między tymi uszkodzeniami daje wobec tego bardzo dobry pogląd o niezawodności. Im większy jest czas między uszkodzeniami, tym dłużej może zachować urządzenie podatność do pracy po kolejnym remoncie bieżącym i tym lepsza jest niezawodność.



Rys. 5

Ponieważ uszkodzenia występują w czasie w sposób przypadkowy, czas między uszkodzeniami jest także zmienną losową, którą całkowicie charakteryzuje rozkład i częściowo - średnia wartość.

Średni czas między uszkodzeniami określa się ze wzoru:

$$T \approx \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} \approx \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_i}{n}, \quad (11)$$

gdzie:

n - liczba uszkodzeń urządzenia w czasie badania
 t_i ,

t_i - czas pracy bez uszkodzeń między $(i-1)$ i i -tym uszkodzeniami urządzenia.

Jeżeli badaniu poddaje się nie jedno, lecz kilka urządzeń, czas między uszkodzeniami można określić z zależności:

$$T = \frac{\sum_{j=1}^{j=N} \sum_{i=1}^{i=n_j} t_{ji}}{n}, \quad (12)$$

gdzie:

N - liczba badanych urządzeń,

n - łączna liczba uszkodzeń przy badaniu N urządzeń,

t_{ji} - czas pracy między uszkodzeniami j -tego urządzenia,

n_j - liczba uszkodzeń j -tego urządzenia.

Średni czas między uszkodzeniami oraz średnia intensywność uszkodzeń są związane zależnością:

$$T = \frac{1}{\lambda_{sr}} \quad (13)$$

Czas między uszkodzeniami wyraża się zwykle w godzinach, a intensywność uszkodzeń - liczbą uszkodzeń w 100 lub 1000 godzinach pracy.

W celu przeprowadzenia pogłębionej analizy określa się rodzaj rozkładu czasu między uszkodzeniami oraz, zgodnie z danymi o tym rozkładzie, wnioskuje się o najbardziej prawdopodobnych wartościach czasu między uszkodzeniami, prawdopodobieństwie czasów między uszkodzeniami różnej wielkości i rozrzucie wokół średniej wartości. Z teorii masowej obsługi wiadomo przy tym, że gdy strumień zdarzeń jest najprostszy, wówczas czasy między kolejnymi zdarzeniami podlegają funkcji wykładniczej z parametrem λ , a ponieważ wyżej wspomniano, iż strumień uszkodzeń telegraficznych urządzeń końcowych w okresie normalnej eksploatacji jest najprostszy, wynika z tego, że czas między ich uszkodzeniami powinien także podlegać funkcji wykładniczej.

W okresie docierania, gdy intensywność uszkodzeń jest zwiększona, krzywa przebiega nieco wyżej i bardziej stromo niż krzywa wykładnicza normalnego okresu eksploatacji. Okres docierania może występować nie tylko w nowym urządzeniu, po raz pierwszy dostarczonym do eksploatacji, lecz również w starym urządzeniu, po kapitalnym lub nawet profilaktycznym remoncie.

Rozkład wykładniczy w postaci różniczkowej jest następujący:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, \quad (14)$$

a w postaci całkowitej

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (15)$$

Czas remontu. Czas remontu urządzenia lub systemu wielokrotnego działania charakteryzuje jeden z najważniejszych parametrów niezawodności, a mianowicie podatność do remontów, czyli nadawanie się konstrukcji do technologii remontu.

Czas remontu może być zmienny. Jedną z przyczyn tego jest różny rodzaj uszkodzeń, gdyż, na przykład, do przyłutowania pewnej części trzeba niekiedy znacznie mniej czasu niż do wymiany innej części. Inną przyczyną zmienności czasu remontu są możliwości obsługi (jej kwalifikacja, usposobienie, zmęczenie itd.), ponadto zaś czas remontu analogicznych zespołów w urządzeniach różnego typu może być różny wskutek właściwości konstrukcji. W taki sposób na czas remontów wpływają liczne czynniki, wobec czego zalicza się go do zmiennych losowych.

W celu porównania podatności do remontów poszczególnych aparatów telegraficznych można posługiwać się średnim czasem remontu, określanym ze wzoru:

$$T_{\text{rem}} \approx \frac{t_{\text{rem } 1} + t_{\text{rem } 2} + \dots + t_{\text{rem } n}}{n_{\text{rem}}} \approx \frac{\sum_{i=1}^{i=n} t_{\text{rem } i}}{n_{\text{rem}}}, \quad (16)$$

w którym:

n_{rem} - liczba remontów

$t_{\text{rem } i}$ - czas i -tego remontu.

Bardziej wyczerpujące przedstawienie czasu remontów uzyskuje się przy wykorzystaniu rozkładu tego czasu,

przy czym z teorii procesów masowych wiadomo, że bez szczegółowego zbadania systemu obsługi, to jest systemu organizacji remontu, o rozkładzie tym niczego nie można powiedzieć uprzednio. W teoretycznych i licznych praktycznych obliczeniach duże znaczenie przykłada się do wykładniczego rozkładu czasu remontów, w przypadku którego dystrybuanta przyjmuje postać

$$F(t) = 1 - e^{-\nu t} \quad (17)$$

Wykładnik ν ma proste znaczenie fizyczne, gdyż wartość $\frac{1}{\nu}$ jest średnim czasem remontu.

W praktyce mogą występować również inne rodzaje rozkładu czasu remontów, a przy tym samym personelu obsługi mogą występować różne rodzaje rozkładu czasu remontu urządzeń, zależnie od ich typu. Dlatego też ma szczególne znaczenie znajomość, jakiemu rozkładowi podlega czas remontu aparatów telegraficznych, którego dystrybuanta umożliwia rozstrzygnąć różne ważne zagadnienia, jak na przykład, prawdopodobieństwo nieprzekroczenia przez obsługę czasu t_{rem} , najbardziej prawdopodobny czas remontowania itd.

Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń $P_0(t)$ jest to prawdopodobieństwo niewystępowania żadnego uszkodzenia w określonym czasie. Funkcja prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń najbardziej wyczerpująco określa niezawodność urządzenia.

W praktyce w celu określenia $P_0(t)$ posługuje się zależnością

$$P_0(t) \approx \frac{N_0 - \sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0}, \quad (18)$$

w której

N_0 - liczba urządzeń w początku badań,

n_i - liczba uszkodzonych urządzeń w okresie czasu Δt_i ,

t - czas, dla którego określa się prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń,

Δt - czas elementarnego okresu.

Im większa jest N_0 , tym dokładniej można określić prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń.

Często w celu określenia prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń posługuje się zależnością

$$P_0(t) = e^{-\lambda t}, \quad (19)$$

w której

$$\lambda = \frac{1}{T},$$

t - czas, dla którego określa się $P_0(t)$.

Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń aparatów telegraficznych zmniejsza się w miarę upływu czasu według wykładnika funkcji, począwszy od jedności do zera w nieskończoności.

Każda z rozpatrzonych wyżej funkcji charakteryzuje niezawodność, przy czym każda z nich odzwierciedla jed-

no z zagadnień niezawodności. Dlatego też do oceny i analizy telegraficznych urządzeń końcowych należy posługiwać się kilkoma wskaźnikami i charakterystykami niezawodności.

4. METODYKA OKREŚLANIA WSKAŹNIKÓW ILOŚCIOWYCH NIEZAWODNOŚCI W RZECZYWISTYCH WARUNKACH EKSPLOATACJI

Metoda losowa

Konieczność objęcia wskaźników niezawodności wymaganiami technicznymi produkowanych i nowo opracowywanych wyrobów jest obecnie powszechnie uznana. Oznacza to, że wymagania techniczne telegraficznych urządzeń końcowych powinny ustalać, poza zdolnością poprawiania, zniekształceniami nadajnika, stabilnością szybkości obracania się napędu elektrycznego itd., również poziom niezawodności, wyrażony w określonych wskaźnikach ilościowych.

W celu stwierdzenia stopnia zgodności urządzeń z wymaganiami technicznymi przeprowadza się pomiary różnych zasadniczych ich wskaźników w warunkach eksploatacji. Metodyka ogólna pomiaru tych wskaźników jest już opracowana, czyli że znane są stosowane do tego przyrządy pomiarowe, kolejność pomiarów, wzory obliczeniowe, dokładność wyników oraz czas trwania pomiarów. Natomiast zagadnienie określenia wskaźników niezawodności aparatów telegraficznych jest postawione dopiero po raz pierwszy i wymaga opracowania metod określania tych wskaźników.

Wskaźniki ilościowe niezawodności są charakterystyka-

mi zmiennych losowych. Zależności właściwe tym zmiennym określa się zwykle przez przeprowadzanie masowych badań i obserwacji, czyli przez wykorzystanie danych statystycznych, przy czym opracowywanie metod rejestracji, zapisu i analizy statystycznych danych doświadczalnych jest przedmiotem specjalnej nauki - statystyki matematycznej. W związku z tym w celu określenia wskaźników ilościowych niezawodności konkretnych urządzeń telegraficznych w rzeczywistych warunkach eksploatacji trzeba zorganizować obserwacje statystyczne oraz przeanalizować wyniki obserwacji metodami statystyki matematycznej.

Obserwacja statystyczna może być pełna lub losowa (wybiorcza). Obserwacja pełna daje dokładniejszą charakterystykę zmiennej losowej, lecz wymaga dużo czasu i znacznych kosztów. Dlatego też w wielu badaniach posługuje się metodą losową, w której obserwacji poddaje się niewielką grupę obiektów i w dodatku w stosunkowo niewielkim czasie.

Zbiór wszystkich wartości zmiennej losowej nazywa się zbiorowością generalną. Część zbiorowości generalnej, wybrana do badań, nazywa się próbką losową.

Przy dostatecznej ilości uzyskanych danych statystycznych wyniki obserwacji losowej charakteryzują całość występujących zjawisk. Prawdopodobieństwu w zbiorowości generalnej odpowiada częstość w próbie losowej, wartości oczekiwanej - średnia wartość, wariancji - wariancja losowa, gęstości prawdopodobieństwa - szereg statystyczny, a funkcji prawdopodobieństwa - skokowa funkcja statystyczna.

Ponieważ próbka losowa jest tylko częścią zbiorowości generalnej, a część zawsze różni się od całości, wynika z tego, że charakterystyki losowe w postaci wartości średnich i względnych różnią się z zasady od analogicznych charakterystyk zbiorowości generalnej, przy czym różnica ta nazywa się błędem reprezentatywności. Aby próbka losowa była reprezentatywna i aby prawidłowo przedstawiała zbiorowość generalną, powinna być odpowiednio wielka; im bowiem jest ona większa, tym mniejszy jest czynnik przypadkowości oraz tym wiarogodniejszy jest wynik.

Poza tym wszystkie dane statystyczne zawierają omyłki rejestracji, których wielkość zależy od jakości przeprowadzenia obserwacji, a mianowicie od dokładności rejestracji i doskonałości metodyki zbierania (gromadzenia) danych. Omyłek rejestracji nie można przy tym uniknąć (z małym wyjątkiem), podczas gdy błędy reprezentatywności mogą być zmniejszone do niezbędnego minimum przez zwiększenie wielkości próbki losowej. Dlatego też od personelu przeprowadzającego rejestrację mierzonej wielkości wymaga się szczególnej dokładności w pracy.

Ponieważ ustalenie poziomu niezawodności aparatów telegraficznych związane jest z nagromadzeniem danych statystycznych w określonym czasie, pomiar wskaźników ilościowych niezawodności jest dłuższą operacją w porównaniu z pomiarem pozostałych wskaźników. Proces pomiaru niezawodności w warunkach eksploatacji składa się przy tym z dwóch etapów:

- gromadzenia (zbierania) danych statystycznych,

- opracowania i analizy zebranych danych.

Zgodnie z powyższym metodyka określania wskaźników niezawodności powinna zawierać instrukcje o gromadzeniu i opracowywaniu danych.

Zbiór danych statystycznych

Gdy niezbędne jest zbadanie poziomu niezawodności urządzeń telegraficznych określonego typu, w centralach telegraficznych organizuje się losowe obserwacje statystyczne. Dane statystyczne należy zbierać w kilku centralach telegraficznych, ponieważ najczęściej celem jest określenie wskaźników średnich.

Do obliczenia zalecanych wskaźników dane wyjściowe powinny zawierać informacje o czasie pracy urządzeń między uszkodzeniami oraz o czasie pracy traconym na znalezienie i usunięcie uszkodzeń. Ponieważ przy ustalaniu tych czasów powstają pewne trudności, rozpatrzmy bardziej szczegółowo sposoby rejestracji danych wyjściowych.

Rejestracja czasów pracy między uszkodzeniami. Gdy w urządzeniach znajdują się liczniki godzin pracy, ich wskazania należy rejestrować w chwili włączenia urządzenia po przeprowadzeniu remontu oraz w chwili wystąpienia nowego uszkodzenia. Różnica między tymi dwoma odczytami odpowiada czasowi między uszkodzeniami w godzinach.

Gdy urządzenia mają wyposażenie do samoczynnego zatrzymywania, dany czas między uszkodzeniami odpowiada czasowi użytecznej (efektywnej) pracy. Gdy natomiast

tego wyposażenia nie ma, silniki w niektórych okresach mogą pracować jałowo wskutek nierównomiernego obciążenia dobowego łączy, przy czym jałowa praca silnika powoduje zużycie tylko niektórych zespołów urządzenia, podczas gdy większość zespołów urządzeń odbiorczych i nadawczych nie jest wtedy obciążona.

Dlatego właśnie za czas pracy aparatu telegraficznego celowe jest przyjęcie czasu pracy użytecznej, efektywnej, w związku z czym trzeba wprowadzić współczynnik efektywności K_{ef} , mniejszy niż jedność. W takim przypadku czas pracy użytecznej w badanym okresie t_{ef} wyraża się w sposób poniższy:

$$t_{ef} = t_{liczn} K_{ef}, \quad (20)$$

gdzie t_{liczn} - czas pracy urządzenia według licznika. Współczynnik ten może wahać się w granicach 0,2-0,8, a średnia jego wartość wynosi 0,5.

Bardziej skomplikowanym zagadnieniem jest ustalenie czasu pracy urządzenia włączanego okresowo, gdy nie ma ono liczników godzin pracy. W takim przypadku trzeba korzystać z pośrednich metod określania czasu pracy użytecznej, z których jedna polega na ustaleniu wykorzystania wydajności urządzenia. Aparaty telegraficzne obsługują bowiem z zasady określone łączy i wobec tego mogą przekazywać ściśle określoną liczbę telegramów, podaną w odpowiedniej dokumentacji, przy czym dla aparatów każdego typu jest ustalona średnia norma przepustowości eks-

platacyjnej W_{sr} (telegramów w ciągu godziny), uwzględniająca pewną liczbę podsumowań, potwierdzeń i poprawek. Ponieważ przepustowość rzeczywista różni się jednak w każdym konkretnym przypadku od W_{sr} i zależy od kwalifikacji telegrafistki, długości wyrazów, liczby wyrazów w telegramie itd. oraz ponieważ uwzględnienie wszystkich tych osobliwości poszczególnych łączy jest bardzo trudne, w praktyce określa się wobec tego średnią normę przepustowości dla każdego, poszczególnego aparatu. W taki sposób, znając liczbę przekazanych telegramów i średnią normę przepustowości, można z nich określić czas użytecznej pracy aparatu telegraficznego w badanym okresie

$$t_{\text{cf}} = \frac{q}{W_{\text{sr}}} \text{ , godz. ,} \quad (21)$$

gdzie q - liczba przekazanych telegramów.

W celu dokładnego określenia czasu pracy aparatu telegraficznego między uszkodzeniami należy ustalać czas pracy w ciągu każdej doby, dzięki czemu uwzględnia się nierównomierność obciążenia w ciągu poszczególnych dni, tygodni i lat. Ponieważ takie postępowanie prowadzi jednak do nadmiernej dokumentacji przy zbieraniu danych i dodatkowych obliczeń przy ich opracowywaniu, w celu zmniejszenia dokumentacji i obliczeń zaleca się korzystanie ze średniej liczby godzin pracy aparatu w ciągu doby (średnim dobowym czasem pracy aparatu). Na obliczenia średniego czasu pracy i średniej częstości uszkodzeń takie przybliżenie nie ma wpływu, natomiast jest

ono zauważalne przy określaniu rozkładu czasów między uszkodzeniami.

Średni dobowy czas pracy aparatu jest ilorazem z podzielenia użytecznego czasu pracy danego aparatu telegraficznego w badanym okresie przez liczbę dni roboczych

$$t_{\text{dob}} = \frac{t_{\text{ef}}}{N}, \text{ godz.} \quad (22)$$

Czas między uszkodzeniami jest natomiast iloczynem t_{dob} przez liczbę dni pracy między kolejnymi uszkodzeniami.

Rejestracja czasu remontu. Organizacja remontu bieżącego jest z zasady taka, iż urządzenie przekazane do warsztatu remontowego oczekuje swojej kolejki, a po remoncie, zależnie od systemu organizacji remontów, pozostaje w warsztacie jeszcze pewien czas. Czas remontu, podawany w danych statystycznych, powinien obejmować tylko rzeczywisty czas poszukiwania i usuwania uszkodzenia, gdyż czas oczekiwania i czas przestoju w warsztacie charakteryzują nie podatność do remontu urządzenia, lecz racjonalność systemu organizacji remontu.

W taki sposób, w celu określenia zasadniczych wskaźników ilościowych, trzeba dysponować następującymi informacjami:

- 1) w przypadku zainstalowania liczników godzin pracy
 - odczytem licznika w chwili włączenia urządzenia po bieżącym remoncie,

- odczytem licznika w chwili wystąpienia uszkodzenia,

- czasem zużytym na remont;

2) w przypadku braku liczników

- datami uszkodzeń,

- liczbą telegramów w badanym okresie,

- liczbą dni roboczych w badanym okresie,

- czasem zużytym na remont.

Opracowywanie danych statystycznych

Określenie średnich wskaźników. Do opracowywania danych odnośnie niezawodności urządzeń tego samego typu, otrzymanych z kilku central telegraficznych, można podejść dwójako. W celu określenia średnich wskaźników wszystkie dane łączy się i opracowuje razem, bez uwzględnienia obiektów, jakich dotyczą, lub też opracowuje dane oddzielnie dla każdej centrali, jeżeli jest potrzeba przeprowadzenia porównania między poszczególnymi centralami, co ma znaczenie, na przykład, dla wyjaśnienia wpływu na niezawodność warunków klimatycznych, systemu organizacji obsługi technicznej itd. Z wskaźników niezawodności poszczególnych central nietrudno można znaleźć następnie średnie ogólne wskaźniki danych urządzeń.

Opracowywanie danych rozpoczyna się od określenia czasu pracy między uszkodzeniami. Jeżeli dane statystyczne zawierają odczyty liczników godzin pracy, obliczenie czasów pracy między uszkodzeniami jest bardzo proste, jeżeli zaś liczników tych nie ma, czasy pracy między u-

szkodzeniami określa się z ruchu telegraficznego i średniej normy przepustowości. W tym przypadku jest dogodne sporządzenie dla każdego aparatu telegraficznego tabeli według wzoru 1 i następnie posługiwanie się tym wzorem (np. tab. 1).

Suma wartości trzeciej kolumny tabeli według wzoru 1 odpowiada liczbie dni pracy N w badanym okresie. Po określeniu średniego dobowego czasu pracy aparatu τ_{dob} z wartości q , W_{sr} i N (kolumna 6) oblicza się średni czas pracy aparatu τ_i , wyrażony w godzinach. Łączny czas $\tau_{\Sigma i}$ przedstawia narastającą sumę czasów (kolumna 5), przy czym z ostatecznej sumarycznej wartości $\tau_{\Sigma n}$ można określić średni czas pracy aparatu telegraficznego na jedno uszkodzenie (średni czas pracy między uszkodzeniami)

$$t_{\text{sr}} = \frac{\tau_{\Sigma n}}{n}, \text{ godz.} \quad (23)$$

Określenie wskaźników ilościowych. Średni czas pracy między uszkodzeniami i średni czas remontu oblicza się z zależności (12) i (16), a gdy jest sporządzona tabela według wzoru 1, średni czas pracy między uszkodzeniami oblicza się z zależności (23). Średnią intensywność uszkodzeń można zaś określić jako odwrotność średniego czasu pracy między uszkodzeniami.

Otrzymane średnie wartości nie są wartościami rzeczywistymi, ponieważ zostały one określone z próbki losowej, przy czym różnica między wartościami średniej ze zbiorowości generalnej i średniej z próbki losowej jest

Lp. uszkodzenia	Data uszkodzenia	Czas pracy N dni	Czas pracy τ_i godz.	Łączny czas pracy $\tau_{\Sigma i}$ godz.	Obliczenie średniego dobowego czasu pracy aparatu telegraficznego τ_{dob} i średniego czasu pracy na jedno uszkodzenie $\tau_{\acute{s}r}$
1	2	3	4	5	6

T a b e l a 1

Lp. uszkodzenia	Data uszkodzenia	Czas pracy N dni	Czas pracy τ_i godz.	Łączny czas pracy $\tau_{\Sigma i}$ godz.	Obliczenie średniego dobowego czasu pracy aparatu telegraficznego τ_{dob} i średniego czasu pracy na jedno uszkodzenie $\tau_{\acute{s}r}$
1	2	3	4	5	6
1	26.8	15	180	180	$\tau_{dob} = \frac{q}{W_{\acute{s}r} N}$ gdzie $q = 95500$ telegr. $W_{\acute{s}r} = 57$ telegr./godz. $N = 140$ dni $\tau_{dob} = 12$ godz. $\tau_{\acute{s}r} = \frac{\tau_{\Sigma i}}{n} = \frac{1677}{10} =$ $= \text{ok. } 168 \text{ godz.}$
2	31.8	5	60	240	
3	2.9	2	24	264	
4	26.9	24	286	550	
5	3.10	7	84	634	
6	27.10	24	286	920	
7	29.10	2	24	944	
8	5.12	37	445	1389	
9	13.12	8	96	1485	
10	29.12	16	192	1677	

n = 10

N = 140

błędem reprezentatywności, który może być dodatni albo ujemny. Zgodnie z zależnościami, którym podlegają średnie wartości, można z prawdopodobieństwem P_t stwierdzić, że rzeczywista średnia wartość znajduje się w granicach $\bar{X} \pm \Delta$.

Graniczny błąd reprezentatywności Δ zależy od poziomu ufności oszacowania niezawodności, wariancji σ^2 i liczności próbki losowej n

$$\Delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (24)$$

przy czym t określa się z tabeli rozkładu normalnego, zgodnie z przyjętym poziomem ufności oszacowania P_t (patrz tab. 1 załącznika).

W taki sposób z wartości średniej próbki losowej można wnioskować o wartości średniej zbiorowości generalnej.

W celu określenia prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń P_0 w okresie t trzeba znać liczbę uszkodzonych urządzeń począwszy od początku obserwacji do momentu t , przy czym jako początek obserwacji może być przyjęty dowolny moment czasu P_0 , określany ze wzoru

$$P_0 = \frac{N_0 - n}{N_0}, \quad (25)$$

w którym

N_0 - początkowa liczba urządzeń,

n - liczba urządzeń, które wykazały w czasie t chociażby jedno uszkodzenie.

Określenie rodzajów rozkładów. W celu przedstawienia rozkładu w postaci analitycznej trzeba opracować odpowiednio dane statystyczne. I tak, przede wszystkim grupuje się w przedziały wartości liczbowe zmiennej losowej zbliżone do siebie, przy czym liczbę tych wartości objętych jednym przedziałem nazywa się gęstością, a stosunek gęstości do liczności wartości zmiennej losowej - częstością. Dla każdego przedziału określa się jego średnią wartość (reprezentant przedziału) i przyjmuje się, że gęstość danego przedziału dotyczy tylko średniej wartości tego właśnie przedziału. Objąwszy przedziałami wartości zmiennej losowej ciągłej, otrzymuje się ciąg wartości rosnących, z których każda ma określoną powtarzalność.

Ciąg wzrastających liczbowych wartości, zgrupowanych w przedziałach z podaniem częstości powtarzania się jednakowych wartości, nazywa się szeregiem statystycznym rozkładu danej zmiennej losowej. Szereg statystyczny przedstawia się często graficznie w postaci histogramu, który sporządza się przez odkładanie wzdłuż osi odciętych przedziałów i wzdłuż osi rzędnych - stosunku gęstości do wielkości przedziału.

Hipotezę odnośnie rodzaju rozkładu przyjmuje się z kształtu histogramu, w celu zaś potwierdzenia założenia podlegania danych statystycznych hipotetycznemu rozkładowi korzysta się z kryteriów zgodności. Ocenę tę wykonuje się zwykle z dystrybuanty, do czego sporządza się

statystyczną dystrybuantę skokową, przedstawiającą w sposób narastający sumę częstości $\sum \frac{\omega_i}{n}$.

Szczególnie prosta jest weryfikacja według testu zgodności A.N. Kołmogorowa. Istota tej weryfikacji polega na ustaleniu wiarogodnych wartości krytycznych rozkładu statystycznego, przy czym w przypadku znajdowania się całego przebiegu krzywej hipotetycznej wewnątrz przedziału tych wartości krytycznych można stwierdzić z prawdopodobieństwem $K(y)$, iż dany rozkład statystyczny jest słuszny z hipotetycznym. Szerokość przedziału między wiarogodnymi wartościami krytycznymi zależy od przyjętego prawdopodobieństwa $K(y)$ (funkcji Kołmogorowa) i liczności wartości zmiennej losowej n :

$$D = \frac{y}{\sqrt{n}},$$

przy czym

D - szerokość przedziału między wartościami krytycznymi,

y - zmienna rozkładu statystyki Kołmogorowa,

n - liczność wartości zmiennej losowej.

Schemat stosowania testu Kołmogorowa polega na wykreśleniu dystrybuanty rozkładów granicznych (empirycznych) $F^*(x)$ i dystrybuanty rozkładu hipotetycznego $F(x)$ po przyjęciu prawdopodobieństwa $K(y)$, które przy liczności próbki 200 powinno wynosić 0,99. Zmienną rozkładu Kołmogorowa określa się z tab. 2 załącznika, po czym z wartości y i n oblicza się szerokość przedziału

między wartościami krytycznymi i wykreśla się go powyżej oraz poniżej dystrybuanty statystycznej skokowej. Jeżeli dystrybuanta hipotetyczna będzie znajdować się wewnątrz przedziału między krzywymi wartości granicznych, wtedy z prawdopodobieństwem $K(y)$ można stwierdzić, że dane statystyczne podlegają przyjętemu rozkładowi hipotetycznemu, Jeżeli natomiast dystrybuanta hipotetyczna wychodzi poza granice powyższego przedziału, trzeba zweryfikować nową hipotezę.

W taki sposób mogą być określone rozkłady czasu pracy między uszkodzeniami, strumienia uszkodzeń i czasu remontu. Czas pracy między uszkodzeniami oblicza się po uprzednim opracowaniu danych zgodnie z tabelą według wzoru 1, a czasy remontu znane są z danych statystycznych, wobec czego przy określaniu rozkładów czasu pracy między uszkodzeniami i czasu remontu najpierw przystępuje się do grupowania danych w przedziały, określenia gęstości i częstości wartości w określonym przedziale itd.

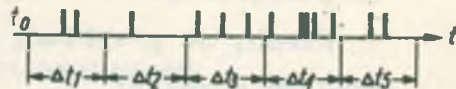
Przy określaniu rozkładu intensywności uszkodzeń badaną zmienną losową jest liczba uszkodzeń w jednostce czasu. W tym przypadku zmienna losowa jest nieciągła oraz może przyjmować tylko całkowite wartości dodatnie, wobec czego grupowanie w przedziały jest niecelowe.

W celu określenia gęstości m -tej liczby uszkodzeń w jednostce czasu dogodnie jest posługiwanie się tabelą według wzoru 2, do której sporządzenia należy wybrać przede wszystkim jednostkę czasu (na przykład 100 godz.), a następnie wszystkie uszkodzenia każdego urządzenia zgrupować w poszczególnych przedziałach czasu, co przedsta-

Lp. urzą- dze- nia	Liczba uszkodzeń w jednostce czasu					
	Δt_1	Δt_2	Δt_3	...	Δt_{k-1}	Δt_k
1	ω_{11}	ω_{12}	ω_{13}		$\omega_{1(k-1)}$	ω_{1k}
2	ω_{21}	ω_{22}	ω_{23}		$\omega_{2(k-1)}$	ω_{2k}
.						
.						
.						
n	ω_{n1}	ω_{n2}	ω_{n3}		$\omega_{n(k-1)}$	ω_{nk}

wiono graficznie na rys. 6. Na rysunku tym $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3 \dots$ są jednostkowymi przedziałami czasu, a czas początku obserwacji oznaczono przez t_0 .

Każdej jednostce czasu odpowiada pewna losowa liczba uszkodzeń. I tak na przykład na wykresie przedstawionym na rys. 6



Rys. 6

w ciągu pierwszego przedziału czasu Δt_1 wystąpiły dwa uszkodzenia, w ciągu drugiego przedziału czasu Δt_2 - jedno uszkodzenie, w ciągu trzeciego Δt_3 - trzy uszkodzenia, w ciągu czwartego Δt_4 - pięć uszkodzeń i w ciągu piątego Δt_5 - dwa uszkodzenia. W związku z tym oblicza się następnie liczbę jednostkowych przedziałów czasu z liczbą uszkodzeń m , czyli liczbę przedziałów, w których wystąpiły jedno, dwa, trzy itd. uszkodzenia, o-

trzymując w taki sposób gęstość występowania liczby m uszkodzeń w jednostce czasu. Z rys. 6 wynika, na przykład, że przedstawionemu na rysunku wykresowi odpowiada następujące gęstości uszkodzeń: $\omega_0 = 0$, $\omega_1 = 1$, $\omega_2 = 2$, $\omega_3 = 1$, $\omega_4 = 0$, $\omega_5 = 1$.

Czasy od odczytu początkowego t_0 do momentów wystąpienia pierwszego, drugiego, trzeciego itd. uszkodzenia przedstawiają łączne czasy pracy urządzenia, odpowiednio do pierwszego, drugiego, trzeciego itd. uszkodzenia, czyli narastający czas pracy. Dlatego też przy sporządzaniu tabeli według wzoru 2 należy posługiwać się wartościami podanymi w kolumnie 5 tabel sporządzonych według wzoru 1, wydzielając w tabeli według wzoru 2 dla każdego urządzenia jedną rubrykę poziomą, w której zapisuje się liczbę (gęstość) uszkodzeń w i -tych przedziałach. Następnie dla wszystkich urządzeń oblicza się łączną liczbę przedziałów z 0, 1, 2, 3 ... uszkodzeniami, otrzymując, odpowiednio, ω_0 , ω_1 , ω_2 , ω_3 ...

Niech, na przykład, narastające czasy pracy trzech urządzeń wynoszą:

dla pierwszego urządzenia: 54, 90, 110, 240, 260,
270, 320, 540;

dla drugiego urządzenia: 35, 51, 70, 150, 240, 290,
350, 380;

dla trzeciego urządzenia: 20, 40, 90, 130, 150, 220,
320, 410, 475, 530,

a jednostkowy przedział czasu wynosi 100 godz.

W tym przypadku z tab. 2, sporządzonej według wzoru 2,

wynika, że gęstość liczby uszkodzeń w przedziale jednostkowym wynosi: $\omega_0 = 3$, $\omega_1 = 6$, $\omega_2 = 5$, $\omega_3 = 3$, $\omega_4 = 1$, $\omega_5 = 0$.

T a b e l a 2

Lp. urzędze- nia	Liczba uszkodzeń w przedziałach czasu					
	0-99	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599
1	2	1	3	1	0	1
2	3	1	2	2	0	0
3	3	2	1	4	2	1

Dalsze opracowywanie danych przeprowadza się zwykłym sposobem, to znaczy określa się częstości, średnie wartości i wariancje liczby uszkodzeń w przedziale jednostkowym, a następnie przyjmuje się i weryfikuje hipotezę rozkładu uszkodzeń.

Funkcja intensywności uszkodzeń

Tabela według wzoru 2 dogodna jest także przy określaniu funkcji intensywności uszkodzeń w czasie.

Przy obliczaniu intensywności uszkodzeń łączną gęstość uszkodzeń ω_i w każdym przedziale odnosi się do liczby urzędzeń pracujących w danym przedziale czasu, otrzymując w wyniku liczbę uszkodzeń na jedno urządzenie w jednostce czasu, to znaczy intensywność uszkodzeń λ_i . Z wartości λ_i ustala się funkcję zależności intensywności uszkodzeń od czasu.

Funkcja prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń

W celu określenia funkcji prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń trzeba znać dla grupy urządzeń czas od początku obserwacji do pierwszego uszkodzenia, przy czym za moment początku odczytu czasu można przyjąć, na przykład, moment rozpoczęcia pracy urządzeń po profilaktycznych remontach. W tym przypadku można posługiwać się wartościami czasu pracy do pierwszego uszkodzenia, ustalonymi z tabel według wzoru 1.

Wzór 3

Lp.	Δt_i	t_i	n_i	$\sum n_i$	$N_0 - \sum n_i$	$P_0 = \frac{N_0 - \sum n_i}{N_0}$
1	2	3	4	5	6	7

Posługując się tymi wartościami, zaleca się sporządzić tabelę według wzoru 3. W kolumnie 3 tej tabeli zapisuje się reprezentanta przedziału czasu t_i , w kolumnie 4 - liczbę urządzeń uszkodzonych w przedziale Δt_i , w kolumnie 5 - narastające wartości kolumny 4, w kolumnie 6 - liczbę urządzeń kontynuujących pracę w przedziale czasu Δt_i , a w kolumnie 7 - prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzenia w czasie t_i .

5. PRZYKŁADY OPRACOWYWANIA DANYCH STATYSTYCZNYCH

Przykład I. Należy ustalić jakość planowych remontów profilaktycznych aparatów telegraficznych typu STA w centrali telegraficznej A.

Wspomnijmy, że przy niedostatecznej jakości remontów początkowy okres pracy po uruchomieniu aparatów charakteryzuje się zwiększoną intensywnością uszkodzeń, wobec czego przeprowadźmy badania intensywności uszkodzeń w funkcji czasu dla grupy aparatów typu STA w centrali telegraficznej A. Za początek odczytu czasu przyjmijmy momenty rozpoczęcia pracy aparatów po remontach profilaktycznych.

Kolejność obliczeń będzie przy tym następująca:

1. Dla wszystkich badanych aparatów telegraficznych sporządza się tabele według wzoru 1 oraz, dysponując datami uszkodzeń każdego aparatu, znajduje się czasy pracy do uszkodzenia, wyrażone w dniach (kolumna 3).

W celu przekształcenia tych czasów pracy w czasy pracy wyrażone w godzinach oblicza się średni dobowy czas pracy każdego aparatu z poniższej zależności, uwzględniającej rzeczywisty ruch telegraficzny

$$\tau_{\text{dob}} = \frac{q}{W_{\text{śr}} \cdot N}, \text{ godz.},$$

przy czym

$W_{\text{śr}}$ - 57 telegramów/godz., średnia norma przepustowości eksploatacyjnej aparatów typu STA,

N - liczba dni pracy w badanym okresie.

Znając τ_{dob} każdego aparatu, znajduje się z kolei czas pracy w godzinach do każdego uszkodzenia (kolumna 4), po czym w kolumnie 5 zapisuje się wartości tego czasu w sposób następujący.

2. Z wartości kolumny 5 tabel dla poszczególnych aparatów sporządza się tab. 3 według wzoru 2.

Jako przedział czasu przyjmuje się 100 godz., z wyjątkiem początkowych 100 godz., które podzielono na dwa przedziały po 50 godz. w celu bardziej dokładnego ustalenia przebiegu krzywej intensywności uszkodzeń w początkowych 100 godz.

Do badań weźmiemy okres od 0 do 2500 godzin pracy po remoncie profilaktycznym. Czas pracy niektórych aparatów przekracza wprawdzie 2500 godz., lecz łączny czas pracy użytecznej między profilaktycznymi remontami wynosi przeważnie poniżej 2500 godz. Dlatego też, wobec niewielkiej liczby aparatów o czasie pracy większym niż 2500 godz., wyniki badań po tym czasie stają się mało wiarogodnymi, a dane o intensywności uszkodzeń po 2500 godz. pomija się.

3. Intensywność uszkodzeń w i -tym przedziale określa się z zależności

$$\lambda_i = \frac{\Delta n_i}{(N_0 - n_i) \Delta t_i} \cdot \frac{\text{uszkodzeń}}{\text{aparat} \cdot \text{godz.}}$$

w której

Tabela 3

I _{sp} opozycja	Liczba uszkodzeń w przedziałach czasu																											
	0-49	50-99	100-199	200-299	300-399	400-499	500-599	600-699	700-799	800-899	900-999	1000-1099	1100-1199	1200-1299	1300-1399	1400-1499	1500-1599	1600-1699	1700-1799	1800-1899	1900-1999	2000-2099	2100-2199	2200-2299	2300-2399	2400-2499		
10	3	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	3	5	5	2	1	2	0	0	2	0	1	0	1	1	3	1	
15	0	1	1	1	1	3	0	1	2	2	2	0	1	2	0	1	0	0	2	2	0	1	1	1	2	3	1	
19	4	0	1	0	1	1	0	2	2	1	2	0	2	2	0	1	0	0	2	2	0	1	1	1	2	2	2	
21	3	2	2	2	1	0	3	0	4	1	1	1	2	2	1	0	1	0	2	2	0	1	1	1	2	2	2	
30	1	0	2	3	0	1	2	0	1	1	1	2	2	1	2	0	1	0	0	2	0	1	2	1	2	2	2	
42	1	2	3	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	2	1	2	0	1	2	1	2	2	2	
48	3	2	4	2	0	3	0	1	2	2	2	4	0	0	1	2	1	1	1	2	0	1	2	1	2	2	2	
57	1	1	1	0	0	0	6	2	0	3	2	2	4	0	1	2	1	1	1	2	0	1	2	1	2	2	2	
.
Δ z ₁	177	95	173	152	140	111	124	121	109	112	100	88	68	74	66	63	45	35	34	35	25	31	34	22	47	15	15	
1/n - z ₁ /	90	90	90	89	83	79	76	73	73	66	63	59	57	52	49	44	31	29	29	29	26	24	22	18	16	13	13	
λ ₁ · 10 ⁻²	3,04	2,10	1,95	1,70	1,68	1,40	1,63	1,61	1,50	1,65	1,59	1,49	1,58	1,42	1,39	1,40	1,43	1,2	1,17	1,2	1,4	1,3	1,34	1,22	1,40	1,45	1,45	

$\lambda_{kr} = 1,56 \cdot 10^{-2}$ uszkodzeń / godz. · sprężyn

Δt_i - i -ty przedział czasu,

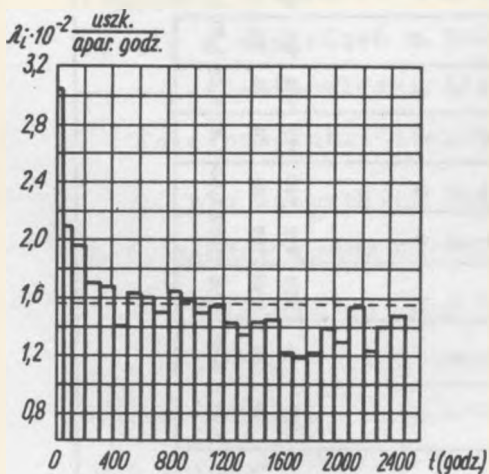
Δn_i - liczba uszkodzeń w jednostce czasu, będąca sumą uszkodzeń wszystkich aparatów w i -tym przedziale (suma wszystkich wartości i -tego przedziału),

n_i - liczba aparatów przekazanych do kolejnego remontu profilaktycznego do i -tego przedziału czasu,

$N_0 - n_i$ - liczba aparatów kontynuujących pracę w ciągu i -tego przedziału czasu.

Tabelę 3 podano przy tym tylko częściowo wobec za dużej jej wielkości.

Z wartości λ_i , otrzymanych w tabl. 3, sporządza się histogram intensywności uszkodzeń (rys. 7), odkładając wzdłuż osi odciętych czasu pracy aparatów po remoncie profilaktycznym, a wzdłuż osi rzędnych - intensywność u-



Rys. 7

szkodzeń w i -tych przedziałach czasu. Jak widać z histogramu, intensywność uszkodzeń waha się w ciągu całego rozpatrywanego okresu czasu około pewnej średniej wartości, przy czym odchylenia od tej średniej są nieznaczne. Tylko mianowicie podczas początkowych 50 godzin pracy po

remontu profilaktycznym intensywność uszkodzeń jest dwukrotnie większa niż średnia.

Można stąd wyciągnąć wniosek, że okres docierania istniejącej oraz że jego czas trwania wynosi około 50 godzin. Obecność tego okresu świadczy, że albo prace remontowe wykonano niezbyt odpowiednio, albo też część wymienionych elementów miała wady produkcyjne. Możliwy jest również jednoczesny wpływ obydwóch czynników.

Przykład II. Należy sprawdzić, czy strumień uszkodzeń aparatów telegraficznych typu STA, eksploatowanych w centrali telegraficznej B, podlega rozkładowi Poissona.

W celu uzyskania odpowiedzi na to pytanie niezbędne są dane statystyczne dotyczące dat uszkodzeń i ruchu telegraficznego w łączach, obsługiwanych przez grupę aparatów typu STA w centrali B. Zadanie polega bowiem na tym, aby korzystając z kryteriów zgodności, porównać otrzymane z opracowania danych statystycznych częstości liczby m uszkodzeń w jednostce czasu z teoretycznymi prawdopodobieństwami liczby m uszkodzeń.

Kolejność obliczeń będzie przy tym następująca:

1. Dla wszystkich badanych aparatów sporządza się tabele według wzoru 1, analogiczne do tab. 1.

2. Wartości kolumny 5 tabel według wzoru 1 zestawia się w tabeli według wzoru 2, przyjmując za jednostkę czasu 100 godz. Tabel sporządzonych według wzorów 1 i 2 nie podano wobec za dużych ich wielkości.

3. Posługując się tabelą według wzoru 2, sporządza się w poniższy sposób tab. 4.:

Tabl a 4

Lp.	m	ω_m	$\frac{\omega_m}{n}$	$\frac{\omega_m}{m}$	$\overline{m-m}$	$(\overline{m-m})^2$	$(\overline{m-m})^2 \cdot \frac{\omega_m}{n}$	P_m	D_m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	518	0,470	0,000	0,74	0,55	0,258	0,477	0,007
2	1	391	0,355	0,355	0,26	0,07	0,024	0,353	0,002
3	2	137	0,124	0,248	1,26	1,59	0,197	0,131	0,007
4	3	37	0,033	0,099	2,26	5,10	0,168	0,033	0,000
5	4	11	0,010	0,040	3,26	10,60	0,106	0,006	0,004
6	5	0	0,000	0,000	4,26	18,10	0,000	0,001	0,001

$\sigma^2 = 0,75$

$\overline{m} = 0,74$

$n = 1094$

- w kolumnie 2 zestawia się liczbę uszkodzeń m w jednostce czasu,

- do wypełnienia kolumny 3 trzeba znać gęstość liczby uszkodzeń m w jednostce czasu, w celu czego z tabeli według wzoru 2 (patrz przykład I) oblicza się liczbę przedziałów (jednostek czasu), w których nie wystąpiło jakiegokolwiek uszkodzenie (liczba klatek z 0), otrzymując $\omega_0 = 518$; następnie oblicza się liczbę przedziałów z jednym uszkodzeniem (liczba klatek z 1), otrzymując $\omega_1 = 391$, oraz analogicznie, liczbę przedziałów z dwoma, trzema, czterema i pięcioma uszkodzeniami, otrzymując odpowiednio $\omega_2 = 137$, $\omega_3 = 37$, $\omega_4 = 11$, $\omega_5 = 0$.

- w kolumnie 4 zestawia się częstości liczby m uszkodzeń $\frac{\omega_m}{n}$, przy czym łączna liczba przedziałów n wynosi 1094,

- w kolumnie 5 zestawia się iloczyny $m \frac{\omega_m}{n}$, przy czym suma wartości w kolumnie 5 przedstawia średnią liczbę uszkodzeń w jednostce czasu \bar{m} , która wynosi 0,74,

- kolumny 6, 7 i 8 są niezbędne do przeprowadzenia obliczeń wariancji σ^2 , która wynosi 0,75.

Wariancja wielkości losowej, której statystyka ma rozkład Poissona, jest równa wartości oczekiwanej zmiennej losowej. Ponieważ wartości m i σ^2 okazały się bardzo zbliżone, można przyjąć, że strumień uszkodzeń podlega rozkładowi Poissona.

Do końcowych wniosków obliczmy teoretyczne prawdopodobieństwa liczby uszkodzeń m w jednostce czasu z zależności

$$P_m = \frac{(\lambda t)^m}{m!} e^{-\lambda t},$$

w której λ jest średnią intensywnością uszkodzeń, odpowiadającą średniej liczbie uszkodzeń w jednostce czasu \bar{m} .

Ponieważ wartość \bar{m} , obliczona z danych statystycznych, wynosi 0,74, wynika z tego, że

$$\lambda = 0,74 \frac{\text{uszkodzenia}}{\text{aparat} \cdot 100 \text{ godz.}}$$

Wartość $t = 1$, ponieważ prawdopodobieństwo określa się dla jednostkowego przedziału czasu (100 godz.).

Obliczone z równania rozkładu Poissona wartości prawdopodobieństwa liczby uszkodzeń m zestawia się w kolumnie 9 tab. 4.

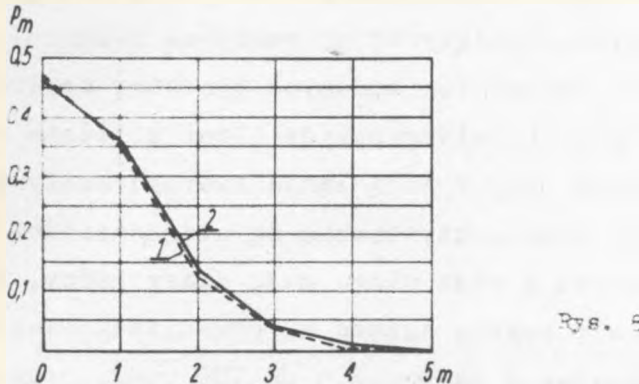
4. Przyjawszy poziom istotności 1% (0,01), oblicza się następnie maksymalne dopuszczalne odchylenia między teoretycznymi i statystycznymi wartościami D_{maks} . Ponieważ z tabeli 2 załącznika widać, że przy $K(y) = 0,99$ zmienna funkcji Kołmogorowa $y = 1,6$, wynika z tego, iż

$$D_{\text{maks}} = \frac{y}{\sqrt{n}} = 0,049,$$

gdyż $n = 1094$.

Wszystkie odchylenia D_m (kolumna 10) okazały się mniejsze niż dopuszczalne, w wyniku czego można z prawdopodobieństwem 0,99 stwierdzić, iż strumień uszkodzeń podlega rozkładowi Poissona.

5. Z wartości kolumn 2 i 9 wykreśla się wielokąty rozkładu, które umożliwiają wizualne porównanie rozrzutu między teoretycznymi (1) i statystycznymi (2) wartościami prawdopodobieństw (rys. 8).



Rys. 8

Przykład III. Trzeba porównać niezawodności operacyjne aparatów telegraficznych typu STA w centralach telegraficznych C i D pod względem średniego czasu pracy na jedno uszkodzenie oraz ustalić dokładność i wiarygodność uzyskanych wyników.

W celu określenia niezawodności aparatów telegraficznych typu STA zostaną wykorzystane dane statystyczne z central telegraficznych C i D. I tak założmy, że dysponujemy danymi o uszkodzeniach 100 aparatów centrali telegraficznej C w ciągu dwóch lat i 60 aparatów centrali telegraficznej D w ciągu jednego roku, przy czym badane aparaty obsługują stale te same łącza, na których znany jest w badanych okresach ruch telegraficzny.

Ponieważ celem opracowania danych statystycznych jest porównanie wyników, dane te zostaną opracowane oddzielnie. Przebieg obliczeń danych obydwóch central telegraficznych będzie jednakże jednakowy.

Rozpatrzmy bardziej szczegółowo opracowywanie danych statystycznych centrali telegraficznej C i sporządźmy dla każdego jej aparatu tabele według wzoru 1, analogiczne do tab. 1. Aby obliczyć średni czas pracy na uszkodzenie i średnie jego odchylenie oraz sporządzić histogram rozkładu, wykorzystajmy wartości kolumn 4 tabel według wzoru 1 wszystkich badanych aparatów centrali telegraficznej C i obejmijmy przydziałami zbliżone wartości czasów pracy przy sporządzaniu szeregu statystycznego. Ponieważ dane statystyczne są niejednorodne oraz ponieważ przeważają stosunkowo małe czasy pracy, rozbijmy przy tym cały zakres czasów na przedziały nierównomierne, wybierając w zakresie 0 do 300 godz. przedziały wielkości 20 godz. i w zakresie ponad 300 godz. przedziały wielkości 100 godz.

Następne obliczenia zestawiono w tab. 5, z której wiadać co następuje:

1. W kolumnie 1 tabeli podane są liczby porządkowe, w kolumnie 2 - granice przedziałów, a w kolumnie 3 - gęstość (liczba) czasów pracy do uszkodzenia, których wartość objęta jest granicami danego przedziału (ω_i).

2. W celu określenia częstości czasów pracy do uszkodzenia w każdym przedziale oblicza się łączną wartość czasów pracy n , będącą sumą wszystkich wartości kolumny 3 ($n = 2307$).

3. Przez podzielenie gęstości czasów pracy (kolumna 3) przez łączną wartość czasów pracy otrzymuje się, odpowiednio, częstości czasów pracy w danym przedziale ω_i/n (kolumna 4).

4. W kolumnie 6 zapisuje się średnie wartości przedziałów, tzn. reprezentantów przedziałów t_i .

5. W kolumnie 7 zestawia się iloczyny t_i i wartości kolumny 4, tzn. $t_i \cdot \omega_i/n$, przy czym suma wartości kolumny 7 przedstawia średni czas pracy na uszkodzenie, zgodnie z zależnością

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{t/\Delta t} t_i \omega_i}{n}$$

6. Wariancję określa się z zależności

$$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^{t/\Delta t} (t_i - T)^2 \omega_i}{n}$$

W kolumnie 8 zestawione są kwadraty różnicy między średnimi odpowiedniego przedziału t_i i średnią wartością T , a w kolumnie 9 - iloczyny wartości kolumny 8 i częstości ω_i/n . Suma wartości kolumny 9 przedstawia wariancję $D(t)$, natomiast średnie odchylenie oblicza się z wariancji zgodnie z zależnością

$$\sigma = \pm \sqrt{D(t)}$$

Średnie odchylenie wynosi 76 godz.

W celu oceny dokładności określenia średniego czasu pracy na jedno uszkodzenie przyjmijmy poziom ufności 0,99, któremu odpowiada, zgodnie z tab. 1 załącznika, $t = 2,6$. Tak więc graniczny błąd reprezentatywności wynosi

$$\Delta = \frac{t\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{2,6 \cdot 77}{\sqrt{2230}} = \text{ok. } 5 \text{ godz.},$$

$$\beta = \frac{\Delta}{t_{\text{sr}}} \cdot 100 = \text{ok. } 8\%,$$

wobec czego można stwierdzić z prawdopodobieństwem 0,99, że średni czas pracy na jedno uszkodzenie waha się w granicach od 56 do 66 godz.

Z wartości kolumny 4 wykreślono ponadto histogram rozkładu czasów pracy na jedno uszkodzenie (histogram 2 na rys. 9), odkładając wzdłuż osi odciętych przedziały czasu (kolumna 2, tab. 5), a wzdłuż osi rzędnych - częstości czasów pracy w przedziałach (kolumna 4).

Analogicznie opracowano dane statystyczne centrali telegraficznej D, które w stanie opracowanym przedstawia tab. 6. Wartość średniego czasu pracy na jedno uszkodzenie T wynosi w tym przypadku 129 godz., a średnie odchylenie $\sigma = \pm 140$ godz.

Dokładność określenia średniego czasu pracy na jedno uszkodzenie przy poziomie ufności 0,99 ($t = 2,6$) wynosi

$$\Delta = \frac{2,6 \cdot 140}{\sqrt{1150}} = \text{ok. } 11 \text{ godz.},$$

Tabela 5

Lp.	Przedzia- ły czasu godz.	ω_1	$\frac{\omega_1}{n}$	$\Sigma \frac{\omega_1}{n}$	t_1	$t_1 \frac{\omega_1}{n}$	$/t_1 - T/2$	$/t_1 - T/2$ $\frac{\omega_1}{n}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0- 19	828	0,362	0,362	10	3,62	2510	970
2	20- 39	414	0,180	0,542	30	5,40	900	162
3	40-59	311	0,135	0,677	50	6,75	100	13
4	60-79	167	0,071	0,748	70	4,97	100	6
5	80-99	170	0,074	0,823	90	6,65	900	67
6	100-119	119	0,050	0,872	110	5,50	2500	125
7	120-139	62	0,027	0,899	130	3,51	4900	132
8	140-159	48	0,021	0,920	150	3,15	8100	170
9	160-179	46	0,020	0,940	170	3,40	12100	242
10	180-199	32	0,014	0,954	190	2,66	16900	237
11	200-219	21	0,009	0,963	210	1,89	22500	198
12	220-239	22	0,010	0,973	230	2,30	28900	289
13	240-259	12	0,005	0,978	250	1,25	36500	182
14	260-279	9	0,004	0,984	270	1,08	44100	176
15	280-299	10	0,004	0,986	290	1,16	53000	212
16	300-399	19	0,008	0,992	350	2,80	84000	671
17	400-499	11	0,005	0,998	450	2,25	152000	760
18	500-599	3	0,001	0,999	550	0,55	240000	240
19	600-899	6	0,002	1,001	750	2,10	348000	1040
$n = 2307$		$T = \text{ok. } 61 \text{ godz.}$				$D/t/ = 5792$		
		$\sigma = \pm 76 \text{ godz.}$						

Tabela 6

Lp.	Przedziały czasu godz.	ω_1	$\frac{\omega_1}{n}$	$\sum \frac{\omega_1}{n}$	t_1	$t_1 \frac{\omega_1}{n}$	$/t_1 - T/2$	$/t_1 - T/2$	$\frac{\omega_1}{n}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	0-19	178	0,157	0,157	10	1,55	13200	2070	
2	20-39	152	0,135	0,292	30	3,96	9000	1210	
3	40-59	113	0,100	0,392	50	4,90	5600	560	
4	60-79	113	0,100	0,492	70	6,86	3000	300	
5	80-99	85	0,075	0,567	90	6,65	1220	91	
6	100-119	78	0,069	0,636	110	7,48	225	6	
7	120-139	62	0,055	0,691	130	7,02	25	1	
8	140-159	38	0,033	0,724	150	4,95	625	20	
9	160-179	32	0,028	0,752	170	4,76	2030	57	
10	180-199	43	0,038	0,790	190	7,04	4240	161	
11	200-219	28	0,025	0,815	210	5,04	7000	175	
12	220-239	25	0,022	0,837	230	5,06	10500	231	
13	240-259	33	0,029	0,866	250	7,35	15600	453	
14	260-279	15	0,013	0,879	270	3,51	21000	273	
15	280-299	22	0,019	0,898	290	5,51	27100	515	
16	300-349	40	0,035	0,933	325	11,90	40000	1400	
17	350-399	13	0,011	0,944	375	4,13	62500	676	
18	400-449	20	0,018	0,962	425	7,22	90000	1620	
19	450-499	11	0,010	0,972	475	4,75	122000	1220	
20	500-549	5	0,004	0,976	525	2,10	160000	640	
21	550-599	7	0,006	0,982	575	3,45	203000	1218	
22	600-699	10	0,009	0,991	650	5,85	275000	2480	
23	700-799	4	0,004	0,995	750	3,00	390000	1530	
24	800-899	4	0,004	0,999	850	3,40	530000	2120	
n = 1131					129,44 T = ok. 129		D/t/ = 19027 σ = ± 140 godz.		

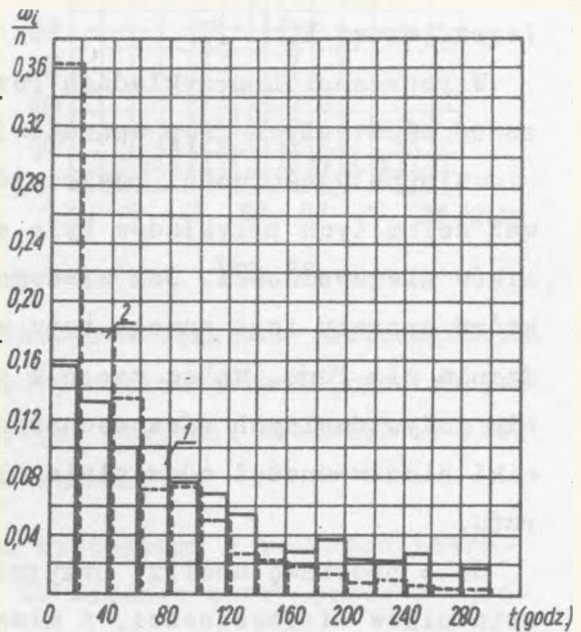
a

$$\beta = \frac{11 \cdot 100}{140} = \text{ok. } 8\%$$

wobec czego można stwierdzić z prawdopodobieństwem 0,99, że rzeczywisty średni czas pracy na jedno uszkodzenie badanej grupy aparatów typu STA centrali telegraficznej D waha się w granicach od 114 do 136 godz.

Histogram rozkładu, sporządzony z wartości kolumny 4, podano dla tej centrali na rys. 9 (histogram 1).

Z porównania średnich czasów pracy na jedno uszkodzenie central telegraficznych C i D można wyciągnąć wniosek, iż niezawodność operacyjna aparatów STA centrali telegraficznej C jest gorsza niż centrali telegraficznej D (odpowiednio 61 godz. i 129 godz.). Przyczynę tej różnicy wyjaśnia histogram rozkładu



Rys. 9

średnich czasów (rys. 9), z którego widać, że aparaty centrali telegraficznej C charakteryzują się nadmiernie dużym procentem małych czasów pracy na jedno uszkodzenie. I tak na przykład, czasy pracy wielkości do 20 godzin wynoszą 36% wszystkich czasów pracy, wobec czego

histogram 1 ma mniej stromy przebieg od początku do końca niż histogram 2, w którym stosunkowo duży procent stanowią duże czasy pracy na jedno uszkodzenie aparatu. W taki sposób, jeżeli przyjmiemy, że błędy rejestracji w obydwóch centralach telegraficznych są tego samego rzędu, okazuje się, iż średnie czasy pracy na jedno uszkodzenie różnią się w nich około dwukrotnie.

Przykład IV. Trzeba porównać niezawodności poszczególnych aparatów telegraficznych typu STA w centrali telegraficznej E.

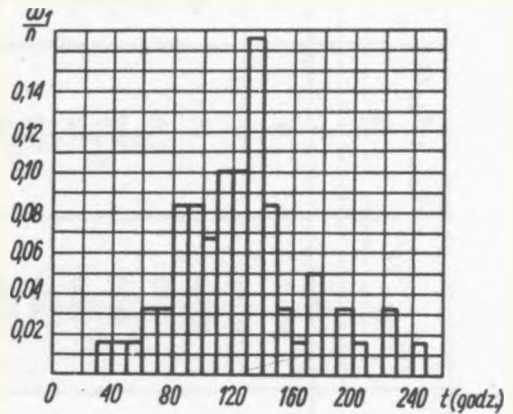
W poprzednich przykładach rozpatrywano wskaźniki niezawodności całych grup aparatów, bez uwzględnienia indywidualnych właściwości poszczególnych aparatów, ponieważ celem tych przykładów było określenie średnich wskaźników niezawodności. Jak wiadomo jednak z praktyki, niektóre aparaty tego samego typu wykazują częstsze uszkodzenia niż inne, wobec czego w celu wykazania i omówienia indywidualnych niezawodności należy określić wskaźniki niezawodności oddzielnie dla każdego badanego aparatu.

Jako podstawę analizy przyjmiemy jeden z zasadniczych wskaźników niezawodności, a mianowicie czas pracy między uszkodzeniami. Drogą obliczeń będą określone oddzielnie dla każdego aparatu wartości średnich czasów pracy do uszkodzenia, ich wariancje oraz rodzaj rozkładu średnich czasów, przy zachowaniu poniższej kolejności postępowania:

1. Dla każdego aparatu sporządza się tabelę według wzoru 1.

2. Ostatnia wartość kolumny 5 przedstawia łączny czas pracy w badanym okresie czasu. Po podzieleniu tej wartości przez liczbę uszkodzeń otrzymuje się średni czas pracy na jedno uszkodzenie $t_{\text{śr.}}$ danego aparatu, który następnie oblicza się tak samo dokładnie dla wszystkich pozostałych aparatów.

3. Ogólny średni czas pracy na jedno uszkodzenie dla grupy aparatów $T_{\text{śr.}}$, wariację poszczególnych średnich czasów pracy oraz ich rozkład określa się zwykłym sposobem (tab. 7).



Rys. 10

4. Z wartości kolumny 5 tabeli sporządza się histogram rozkładu poszczególnych średnich czasów pracy między uszkodzeniami (rys. 10), odkładając wzdłuż osi odciętych wartości średnich czasów, a wzdłuż osi rzędnych ich częstości.

5. Wychodząc z postaci histogramu i rozważań teoretycznych, przyjmuje się, że średnie czasy pracy na jedno uszkodzenie podlegają rozkładowi normalnemu.

6. Dystrybuantę rozkładu normalnego znajduje się, posługując się znormalizowanymi tablicami dla wartości dystrybuanty $\Phi(t)$, przy czym

$$t = \frac{t_{\text{śr}} - T_{\text{śr}}}{\sigma}$$

T a b e l a 7

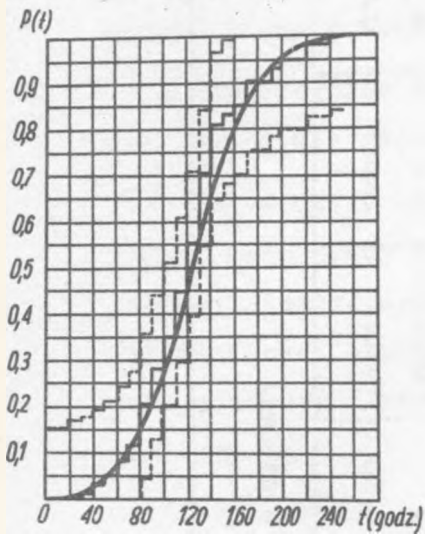
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Przedzia- ły czasu godz.	ω_1	$\frac{\omega_1}{n}$	$\Sigma \frac{\omega_1}{n}$	$t_{\text{gr.1}}$	$t_{\text{gr.1}} \frac{\omega_1}{n}$	$\frac{\omega_1}{n}$	$\frac{t_{\text{gr.1}} - T_{\text{gr}}}{\omega_1} \cdot \frac{\omega_1}{n}$	$\frac{t_{\text{gr.1}} - T_{\text{gr}}}{\sigma}$	$\phi / \%$	D
1	0-9	0	0	0	5	0	14400	0	-2,80	0,0026	0,0026
2	10-19	0	0	0	15	0	12100	0	-2,56	0,0053	0,0053
3	20-29	0	0	0	25	0	10000	0	-2,33	0,0100	0,0100
4	30-39	1	0,0167	0,0167	35	0,585	8100	135	-2,10	0,0179	0,0012
5	40-49	1	0,0167	0,0334	45	0,750	6400	107	-1,86	0,0314	0,0020
6	50-59	1	0,0167	0,0501	55	0,920	4900	82	-1,63	0,0516	0,0015
7	60-69	2	0,0334	0,0835	65	2,170	3600	120	-1,40	0,0808	0,0026
8	70-79	2	0,0334	0,1169	75	2,500	2500	83	-1,16	0,1230	0,0061
9	80-89	5	0,0834	0,2003	85	7,100	1600	133	-0,93	0,1762	0,0231
10	90-99	5	0,0834	0,2837	95	7,920	900	75	-0,70	0,2420	0,0417
11	100-109	4	0,0667	0,3504	105	7,010	400	27	-0,47	0,3192	0,0312
12	110-119	6	0,1000	0,4504	115	11,500	100	10	-0,23	0,4090	0,0414
13	120-129	6	0,1000	0,5504	125	12,500	0	0	0	0,5000	0,0504
14	130-139	10	0,1670	0,7174	135	22,600	100	17	+0,23	0,5909	0,1265
15	140-149	5	0,0834	0,8008	145	12,100	400	33	+0,47	0,6808	0,1200

d.e. tabell 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	150-159	2	0,0334	0,8342	155	5,180	900	30	+0,70	0,7580	0,0762
17	160-169	1	0,0167	0,8509	165	2,760	1600	27	+0,93	0,8238	0,0271
18	170-179	3	0,0500	0,9009	175	8,750	2500	125	+1,16	0,8770	0,0239
19	180-189	0	0	0,9009	185	0	3600	0	+1,40	0,9192	0,0183
20	190-199	2	0,0334	0,9343	195	6,500	4900	164	+1,63	0,9483	0,0141
21	200-209	1	0,0167	0,9510	205	3,420	6400	107	+1,86	0,9685	0,0175
22	210-219	0	0	0,9510	215	0	8100	0	+2,10	0,9821	0,0311
23	220-229	2	0,0334	0,9844	225	7,500	10000	334	+2,33	0,9901	0,0057
24	230-239	0	0	0,9844	235	0	12100	0	+2,56	0,9948	0,0109
25	240-249	1	0,0167	1,0011	245	4,100	14400	240	+2,80	0,9974	0,0037

 $\bar{Z}_{\text{Er}} = 125 \text{ gods.}$
 $D/\bar{t} = 1849$
 $\sigma = \pm 43 \text{ gods.}$
 $n = 60$

Wartości t , odpowiadające określonym wartościom $t_{\text{sr.}}$ (tab. 7. kolumna 10), oblicza się, podstawiając wartości $T_{\text{sr.}} = 125$ godz. i $\sigma = \pm 43$, podane w tab. 7, znając zaś wartości t , znajduje się z kolci wartości dystrybuanty $\Phi(t)$ (kolumna 11).



Rys. 11

Załącznika znajdujemy, że zmienna rozkładu Kolmogorowa przy poziomie istotności 0,10, czyli przy $K(y) = 0,90$, wynosi 1,2, wobec czego maksymalna dopuszczalna rozbieżność między krzywą teoretyczną i statystyczną wynosi

$$D_{\text{maks}} = \frac{y}{\sqrt{n}} = \frac{1,2}{\sqrt{60}} = 0,155.$$

9. Po odłożeniu z obydwóch stron krzywej statystycznej powyższej wartości D_{maks} otrzymuje się obszar krytyczny, przy czym jak widać z rys. 11, krzywa teoretyczna znajduje się całkowicie w tym obszarze. Z tego wyni-

7. Z wartości $\Phi(t)$ wykreśla się teoretyczną dystrybuantę rozkładu (rys. 11) oraz na tym samym rysunku wykreśla się również statystyczną skokową krzywą rozkładu.

8. Do oceny stopnia zgodności danych statystycznych z rozkładem normalnym posługuje się testem zgodności Kolmogorowa, przyjmując poziom istotności równy 0,10. Z tabeli 2

ka więc, że można stwierdzić z prawdopodobieństwem 0,90, iż rozkład poszczególnych średnich czasów pracy na uszkodzenie jest rozkładem normalnym o $T_{\text{sr}} = 125$ godz. i $\sigma = \pm 43$ godz.

Wyniki opracowania danych statystycznych centrali telegraficznej E wykazują, co następuje:

- poszczególne aparaty telegraficzne typu STA znacznie różnią się między sobą pod względem niezawodności,
- jak widać z histogramu przedstawionego na rys. 10, średni czas pracy między uszkodzeniami aparatów o najgorszej niezawodności wynosi 30-50 godz., a o najlepszej niezawodności - ponad 200 godz., wobec czego niezawodność poszczególnych aparatów może być 4-5 razy gorsza niż innych,
- najczęściej występujący średni czas pracy między uszkodzeniami aparatów typu STA wynosi 130-140 godz.,
- z prawdopodobieństwem 0,90 można stwierdzić, że rozkład statystyczny średnich czasów pracy na jedno uszkodzenie jest normalny.

Przykład V. W celu zbadania podatności do remontów aparatów telegraficznych typu STA-2M trzeba określić średnią wartość, wariancję oraz rodzaj rozkładu czasu remontu.

Do uzyskania średnich danych dotyczących czasu remontu wykorzystano wyniki obserwacji czasów remontów bieżących aparatów typu STA-2M w kilku centralach telegraficznych. Łączna liczba obserwowanych remontów wynosiła 463.

Przeprowadzone obliczenia zestawiono w tab. 8, która jest podobna do tab. 5 z przykładu III, wobec czego wyjaśnienia o sposobie jej sporządzania pominięto. Z wartości kolumny 4 tab. 8 sporządzono histogram rozkładu czasu remontu (rys. 12), na którym wzdłuż osi odciętych odłożono czas remontu w minutach, a wzdłuż osi rzędnych - częstość określonej wielkości czasu remontu. Ponieważ z postaci sporządzonego histogramu można przyjąć, że czasy remontów podlegają rozkładowi gamma, w celu potwierdzenia tego założenia zostaną porównane dystrybuanty statystyczna i teoretyczna czasu remontu, przy czym wartości dystrybuanty statystycznej podane są w kolumnie 5 tab. 8, a wartości dystrybuanty teoretycznej trzeba znaleźć.

Dystrybuanta rozkładu, tak zwana niekompletna funkcja gamma, ma poniższą postać

$$F_{\alpha}(z) = \int_0^z \frac{1}{\Gamma(\alpha+1)} \cdot z^{\alpha} \cdot e^{-z} dz,$$

gdzie

α i β - parametry rozkładu gamma,

$$z = \frac{x}{\beta},$$

$\Gamma(\alpha+1)$ - symbol, oznaczający tak zwaną funkcję gamma, określaną za pomocą całki Eulera

$$\Gamma(\alpha+1) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{\alpha} dt$$

Ponieważ istnieją tablice obejmujące w szerokich granicach niekompletną funkcję gamma, znając α i β oraz posługując się tymi tablicami, można w taki sposób określić wartości niekompletnej funkcji gamma.

. Między średnimi wartościami $M(X)$, wariancją $D(X)$ oraz parametrami α i β rozkładu gamma istnieją następujące zależności

$$M(X) = \beta (\alpha + 1),$$

$$D(X) = \beta^2 (\alpha + 1),$$

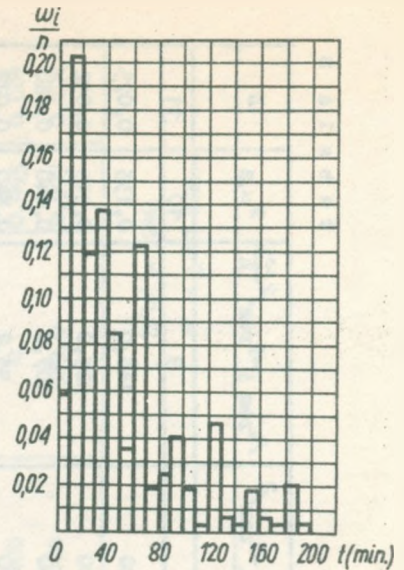
skąd

$$\beta = \frac{D(X)}{M(X)},$$

$$\alpha = \frac{M(X)}{\beta} - 1$$

Podstawiając $M(X) = T_{\text{rem}} = 55$ min i $\sigma = 61$ min, otrzymuje się, że $\alpha = -0,19$ i $\beta = 68$, z tabel zaś wartości niekompletnej funkcji gamma i funkcji prawdopodobieństwa χ^2 określa się wartości funkcji odpowiadające reprezentantom przedziałów w tab. 8.

Do oceny stopnia zgodności danych statystycznych z rozkładem gamma posłużono się testem Kołmogorowa, przyjmując poziom istotności 0,01. Ponieważ zmienna Kołmogorowa przy $K(y) = 0,99$ wynosi $y = 1,6$ (tab. 2 załączni-



Rys. 12

Tabela 8

1p.	Przedzia- ły czasu godz.	ω_1	$\frac{\omega_1}{\Sigma}$	$\frac{\omega_1}{\Sigma}$	$t_{rem 1}$	$t_{rem 1} \frac{\omega_1}{\Sigma}$	$t_{rem 1}$	$\frac{\omega_1}{\Sigma}$	$t_{rem 1} \frac{\omega_1}{\Sigma}$	$t_{rem 1} \frac{\omega_1}{\Sigma}$	$\frac{\omega_1}{\Sigma}$	$F_{\alpha, \beta}$	D
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
1	0-9	27	0,0583	0,0583	5	0,29	2500	146,0	0,133	0,075			
2	10-19	94	0,2030	0,2613	15	3,05	1600	325,0	0,313	0,052			
3	20-29	55	0,1190	0,3803	25	2,98	900	107,0	0,440	0,060			
4	30-39	64	0,1318	0,5183	35	4,84	400	55,2	0,540	0,022			
5	40-49	39	0,0844	0,6027	45	3,80	100	8,4	0,620	0,017			
6	50-59	16	0,0346	0,6373	55	1,90	0	0	0,685	0,048			
7	60-69	57	0,1230	0,7603	65	8,00	100	12,3	0,734	0,026			
8	70-79	9	0,0194	0,7797	75	1,45	400	7,7	0,780	0			
9	80-89	12	0,0259	0,8056	85	2,20	900	23,3	0,820	0,015			
10	90-99	19	0,0410	0,8466	95	3,90	1600	65,5	0,847	0,001			
11	100-109	9	0,0194	0,8660	105	2,04	2500	48,5	0,870	0,004			
12	110-119	1	0,0022	0,8682	115	0,25	3600	7,9	0,895	0,027			
13	120-129	21	0,0455	0,9137	125	5,69	4900	223,0	0,912	0,002			
14	130-139	3	0,0065	0,9202	135	0,88	6400	41,6	0,924	0,004			
15	140-149	1	0,0022	0,9224	145	0,32	8100	17,8	0,939	0,017			

o.d. Tabell 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	150-159	9	0,0194	0,9418	155	3,01	10000	194,0	0,947	0,005
17	160-169	3	0,0065	0,9483	165	1,07	12100	78,6	0,955	0,007
18	170-179	1	0,0022	0,9505	175	0,38	14400	30,8	0,964	0,014
19	180-189	10	0,0216	0,9721	185	0,40	16900	365,0	0,970	0,002
20	190-199	1	0,0022	0,9743	195	0,43	19600	43,1	0,974	0
21	200-249	2	0,0043	0,9786	225	0,97	28900	124,0	0,979	0,005
22	250-299	1	0,0022	0,9808	275	0,60	48400	106,0	0,982	0,002
23	300-349	7	0,0151	0,9959	325	4,90	72900	1110,0	0,993	0,003
24	350-399	0	0	0,9959	375	0	102400	0	0,995	0,001
25	400-449	2	0,0043	1,0002	425	1,83	137000	589,0	0,999	0,001

n = 468

T_{rem} = ok. 55 min

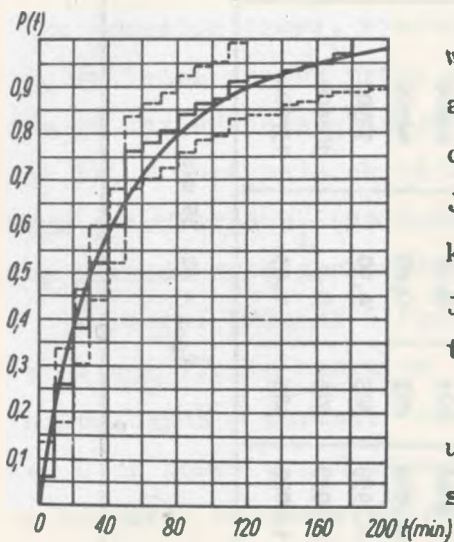
D/4/ = 3740

σ = ± 61 min

ka), maksymalne dopuszczalne odchylenie między wartościami statystycznymi i teoretycznymi równa się

$$D_{\text{maks}} = \frac{y}{\sqrt{n}} = \frac{1,6}{\sqrt{468}} = \text{ok. } 0,078.$$

Rzeczywiste odchylenia (kolumna 11) nie przekraczają tej wartości, wobec czego dane statystyczne nie są sprzeczne z rozkładem gamma.



Rys. 13

Na rysunku 13 wykreślono w celu porównania dystrybuantę skokową statystyczną i dystrybuantę hipotetyczną. Jak widać z rysunku, cała krzywa hipotetyczna znajduje się wewnątrz obszaru krytycznego.

Przeprowadzona analiza umożliwia wyciągnięcie następujących wniosków:

- średni czas remontu aparatu telegraficznego typu STA-2M wynosi około godziny ($T_{\text{rem}} = 55 \text{ min}$),

- najczęściej remont trwa 20-30-40 min, podczas gdy dłuższe remonty są rzadkie,

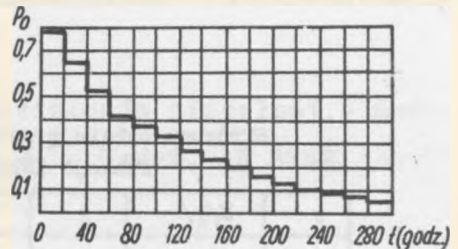
- z histogramu przedstawionego na rys. 12 widać, że dane statystyczne zawierają błędy obserwacji, wynikające z niedokładnego podawania czasów remontów przez re-

jestrujących, którzy wolą go zaokrągląć do jednej, dwóch lub trzech godzin, wskutek czego na histogramie są wyraźnie widoczne rozrzuty w przedziałach 60-70, 180-190 i 240-250 min.

Przykład VI. Z posiadanych danych statystycznych trzeba wykonać wykres funkcji prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń dla grupy aparatów telegraficznych STA.

W celu określenia wartości statystycznej funkcji prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń, odpowiadających różnym momentom czasu, sporządza się tabelę 9 według wzoru 3. Wartości czasów pracy od początku obserwacji do pierwszego uszkodzenia grupuje się w przedziały czasów (kolumna 2), a następnie określa się liczbę czasów pracy w każdym przedziale n_i (kolumna 4), która oznacza także liczbę uszkodzonych aparatów w przedziale Δt_i .

Wartości kolumny 5 przedstawiają liczbę aparatów uszkodzonych w okresie czasu od 0 do końca przedziału Δt_i , w kolumnie 6 podane są liczby aparatów kontynuujących pracę w przedziale Δt_i , a w kolumnie 7 znajdują się wartości prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń, z których właśnie sporządza się wykres funkcji prawdopodobieństwa pracy bez uszkodzeń (rys. 14).



Rys. 14

Z wykresu na rys. 14 i tab. 9 widać, że na przykład w ciągu 50 godzin prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń wynosi 0,5, co oznacza, iż w ciągu 50 godzin pracy można

oczekiwać uszkodzenia 50% urządzeń. Pozostałe 50% urządzeń zachowa natomiast swoją zdolność do pracy.

Załącznik

Tabela 1

Skrócona tabela rozkładu normalnego

t	P_t	t	P_t	t	P_t	t	P_t
0,1	0,0797	1,1	0,7287	2,1	0,9643	3,1	0,9981
0,2	0,1585	1,2	0,7699	2,2	0,9722	3,2	0,9986
0,3	0,2358	1,3	0,8064	2,3	0,9786	3,3	0,9990
0,4	0,3108	1,4	0,8385	2,4	0,9836	3,4	0,9993
0,5	0,3829	1,5	0,8664	2,5	0,9876	3,5	0,9995
0,6	0,4515	1,6	0,8904	2,6	0,9907	3,6	0,9997
0,7	0,5161	1,7	0,9109	2,7	0,9931	3,7	0,9998
0,8	0,5763	1,8	0,9281	2,8	0,9949	3,8	0,9999
0,9	0,6319	1,9	0,9426	2,9	0,9963	3,9	0,9999
1,0	0,6827	2,0	0,9545	3,0	0,9973	4,0	0,9999

Tabela 2

Skrócona tabela prawdopodobieństwa $K/y/$
funkcji Kolmogorowa

y	$K/y/$	y	$K/y/$	y	$K/y/$
0,0	0	0,7	0,289	1,4	0,960
0,1	0	0,8	0,456	1,5	0,978
0,2	0	0,9	0,607	1,6	0,988
0,3	0	1,0	0,730	1,7	0,996
0,4	0,003	1,1	0,820	1,8	0,997
0,5	0,036	1,2	0,888	1,9	0,998
0,6	0,136	1,3	0,932	2,0	0,999

WYKAZ LITERATURY

1. Dunin- Barkowski I.W., Smirnow N.W.: Teorja wierojatnostiej i matiematiczeskaja statistika w tiechnicie (obszczaja czast'). Gostiechizdat, 1955.
2. Wentzel E.S.: Teorja wierojatnostiej. Fizmatgiz, 1958.
3. Szeremietiew A.W., Żitkiewicz R.G.: Obrabotka riezultatow izmierienij elektriczeskich charakteristik mietodami matiematiczeskiej statistiki. Swiazizdat, 1951.
4. Razgoworow A.W.: Wyborocznyj mietod i jego primienjenje w priedprijatjach swiazi. Swiazizdat, 1961.
5. Bronsztejn I.N., Siemiendiajew K.A.: Sprawocznik po matiematike dla inżynierow i uczaszczichsia wtuzow. Gostiechizdat, 1955.
6. Słucki E.E.: Tablicy dla wyczislenja niepołnoj.- funkcji i funkcji wierojatnosti χ^2 . Izdat. AN SSSR, 1950.
7. Malikow I.M. i in.: Osnowy teorji i rarczota nadiożnosti. Sudpromgiz, 1960.
8. Rozenberg W.Ja., Prochorow A.I.: Czto takoje teorja massowogo obsłużiwania. Sow. Radio, 1962.
9. Szor Ja. B.: Statisticzeskije mietody analiza i kontrola kaczestwa i nadiożnosti. Sow. Radio, 1962.

10. Teorja nadiożnosti w oblasti radioelektroniki.
Sbornik riekomiendujemych tierminow, Wyp. 60, Izdat.
AN SSSR, 1962.
11. Lebediew W.A.: Słuczajnyje processy w elektricze-
skich i tiechniczeskich sistiemach. Fizmatgiz, 1958.
12. Jermak I.I.: Nadiożnost' i dołgowiecznost' maszin -
ważniejszij rezerw maszinostrojenja. Micchanizacija
i Awtomatizacija Proizwodstwa (1961) (12).
13. Woprosy tocznosti i nadiożnosti w maszinostrojenji.
Izdat. AN SSSR, 1962.
14. Bielow F.I.: Tierminy nadiożnosti. Radioelektronna-
ja promyszlennost' (1959) (14).

OCENA NIEZAWODNOŚCI URZĄDZEŃ STERUJĄCYCH
W AUTOMATYCZNYCH CENTRALACH TELEFONICZNYCH

Tłumaczył: C. Niewiadomski¹⁾

Rozwój telefonii charakteryzuje się obecnie wprowadzaniem automatycznych central telefonicznych systemu krzyżowego, w których sterowanie ważniejszymi grupami wyposażenia jest scentralizowane. W wielu przypadkach, w celu przyspieszenia procesów sterowania i zwiększenia wykorzystania urządzeń sterujących, przewiduje się wprowadzenie elementów elektronicznych.

Centralizacja sterowania i wprowadzenie elementów elektronicznych wysunęły zagadnienie zwiększenia niezawodności urządzeń automatycznych central telefonicznych, ponieważ trzeba przy tym uwzględnić, że elementy urządzeń sterujących nie są całkowicie niezawodne oraz że po upływie pewnego czasu istnieje określone prawdopodobieństwo ich uszkodzenia. Wskutek tego więc, poza zwykłymi stratami, wynikającymi z ograniczonej liczby elementów i dróg połączeniowych, występują w centrali także straty spowodowane brakiem połączeń z powodu uszkodzonych elementów i awarii zespołów sterujących. Dlate-

¹⁾ Глаз Е.И.: Об оценке надёжности устройств управления АТС. Сборник Трудов НИИТС, Ленинград 1964, nr 13, s. 120-132.

go też należy właśnie rozpatrzyć zagadnienie, w jaki sposób oceniać niezawodność pracy centrali oraz jak ją uwzględnić przy projektowaniu.

Pod względem ciągłości, kosztu obsługi i kosztów nakładowych pracę urządzeń sterujących automatycznych central telefonicznych można oceniać z punktu widzenia abonenta albo z punktu widzenia administracji łączności. Z punktu widzenia abonenta dobra jakość pracy centrali polega na ciągłości obsługi, czyli na możliwości uzyskania połączenia zawsze, gdy jest ono potrzebne. Ponieważ abonent zwykle otrzymuje stosunkowo często sygnał zajętości, wskutek tego że potrzebna linia jest zajęta, w przypadku usterki sygnał ten nie spowoduje u abonenta szczególnego niezadowolenia, jeżeli nie będzie ona występować za często. Natomiast większe niezadowolenie abonenta spowoduje nieprawidłowe połączenie, a jeszcze większe - brak jakiegokolwiek sygnału z centrali i wynikająca z tego niemożliwość uzyskania potrzebnego połączenia. Dlatego też z punktu widzenia abonenta dopuszczalne jest zakłócenie łączności w ciągu niezbyt długiego czasu, jeżeli odczuwa on to jako sygnał zajętości po wykręceniu tarczy numerowej.

Administracja łączności musi inaczej oceniać zakłócenia działania organów komutacyjnych. Panujący przy tym dawniej pogląd, że żadna strata połączenia spowodowana uszkodzeniami organów jest niedopuszczalna, należy uznać za błędny, gdyż dążenie do całkowitego wyeliminowania strat połączeń prowadziłoby do nieuzasadnionego technicznie zwiększenia personelu obsługi.

Przy ocenie uszkodzeń automatycznych central telefonicznych należy mianowicie uwzględniać ważność danego uszkodzenia i jego wpływu na ustalone normy strat połączeń telefonicznych, co w rezultacie końcowym jest najważniejszym wskaźnikiem określającym jakość łączności. Największe wymagania stawiane są w związku z tym scentralizowanym, wspólnym urządzeniom centrali, w przypadku których należy dążyć do uzyskania układu o "absolutnej" niezawodności. Taki, absolutnie niezawodny układ praktycznie jednakże nie jest możliwy do uzyskania wobec ograniczonej niezawodności elementów urządzeń.

Tym niemniej do rozwiązania tego zadania można zbliżyć się przez zastosowanie właściwego rezerwowania oraz zapewnienia naprawy uszkodzonych urządzeń we właściwym czasie; jakkolwiek koszty nakładowe takich urządzeń będą większe wskutek zastosowania w nich rezerwowego wyposażenia oraz związanych z nim organów kontrolnych i przełączających. Do polepszenia niezawodności całego urządzenia prowadzi także skrócenie czasu naprawy, wobec czego należy zawsze dążyć do konstrukcji blokowej poszczególnych zespołów; konstrukcja blokowa z sygnalizacją miejsca uszkodzenia umożliwia bowiem zmniejszenie personelu obsługi centrali oraz zatrudnienie obsługi o mniejszych kwalifikacjach dzięki możliwości wymiany bloków (zespołów). Także prosty schemat bloków funkcjonalnych i możliwie mała różnorodność ich typów umożliwia zmniejszenie kosztów napraw, co wraz z uprzednio wspomnianymi środkami sprzyja zmniejszeniu kosztu eksploatacji.

Urządzenia sterujące automatycznych central telefonicznych charakteryzuje różna ważność poszczególnych obwodów i organów. I tak można wyodrębnić w nich zespoły obsługujące jednego abonenta lub małą grupę abonentów, wyposażenie obsługujące grupę łączny lub dużą grupę abonentów oraz wyposażenie wspólne całej centrali. Uszkodzenia elementów poszczególnych grup wyposażenia powodują różnej ważności nieprawidłowości pracy automatycznych central telefonicznych.

Jest oczywiste wobec tego, że ocena niezawodności i sposoby jej polepszenia także powinny być odmienne dla różnych grup wyposażenia, gdyż, zależnie od schematu działania, w niektórych przypadkach uszkodzenie poszczególnych elementów wyposażenia grupowego nie zakłóca pracy centrali, a tylko nieznacznie zwiększa straty. Największa niezawodność powinna być oczywiście wymagana od wyposażenia wspólnego centrali, podczas gdy niezawodność wyposażenia obsługujących abonentów może być mniejsza. Inaczej mówiąc, wyposażenie obsługujące poszczególnych abonentów i małe grupy abonentów powinny spełniać wymagania niezawodności z punktu widzenia abonenta, podczas gdy wyposażenie obsługujące duże grupy abonentów i wyposażenie wspólne centrali - z punktu widzenia administracji łączności. W dalszych rozważaniach będą rozpatrywane tylko urządzenia obsługujące duże grupy abonentów i wspólne wyposażenie centrali.

Ponieważ zasadniczym wskaźnikiem niezawodnej pracy centrali jest ciągłość oraz ponieważ urządzenia centrali mogą być naprawiane podczas pracy, rozpatrywany sy-

stem można zaliczyć pod względem niezawodności do trzeciej klasy, którą charakteryzuje współczynnik gotowości. Współczynnik ten w przypadku układów bez elementów rezerwowych wyraża się zależnością

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_b},$$

w której

t_p - średni czas pracy bez uszkodzeń,

t_b - średni czas remontu.

Wskaźnik ten w danym przypadku charakteryzuje urządzenie tylko pod względem łatwości remontu.

W przypadku urządzeń z elementami rezerwowymi współczynnik gotowości ma znaczenie inne, a mianowicie probabilistyczne oraz może być rozpatrywany jako zasadnicza charakterystyka urządzeń naprawialnych. W tego rodzaju przypadku jako współczynnik gotowości rozumie się prawdopodobieństwo nieprzekroczenia w urządzeniu, w dowolnym momencie czasu, liczby bloków rezerwowych (zespołów wymiennych) przez liczbę bloków uszkodzonych, znajdujących się w naprawie (z uwzględnieniem czasu naprawy).

W pracy centrali telefonicznej nieodzowne jest rezerwowanie, gdyż bez niego zapewnienie ciągłości jej pracy jest niemożliwe. Dlatego też jej praca może być dostatecznie wyczerpująco scharakteryzowana współczynnikiem gotowości w ostatnio wspomnianym sensie, to znaczy w sensie probabilistycznym.

Jak to widać z dalszych rozważań, do obliczenia współczynnika gotowości o charakterze probabilistycznym trze-

ba znać łączną intensywność uszkodzeń λ_s w układzie oraz średni czas remontu. Znając przy tym intensywność uszkodzeń λ_s , można z kolei obliczyć średni czas pracy bez uszkodzeń

$$T_{sr} = \frac{1}{\lambda_s}$$

lub czas pracy bez uszkodzeń z przyjętym prawdopodobieństwem.

Średni czas pracy bez uszkodzeń oraz średni czas napraw są zasadniczymi parametrami niezawodności wyposażenia podstawowego (bez rezerw). Ponieważ zaś współczynnik gotowości nie jest wskaźnikiem wystarczająco pogłębionym, najważniejszym wskaźnikiem układu z elementami rezerwowymi, nadającego się do naprawy, jest także średni czas pracy bez uszkodzeń.

Poza powyższymi można przyjąć różne inne wielkości szacunkowe lub współczynniki, spośród których można wymienić dwie wielkości o charakterze ekonomicznym, a mianowicie współczynnik kosztu eksploatacji i współczynnik kosztu niezawodności. Współczynnik kosztu eksploatacji jest to stosunek kosztu rocznej eksploatacji urządzeń do ich kosztów nakładowych, charakteryzujący potrzeby obsługi urządzeń i liczbę elementów zapasowych zużytych do wymiany elementów uszkodzonych. Współczynnik kosztu niezawodności jest to zaś stosunek kosztów urządzeń zasadniczych do łącznego kosztu urządzeń zasadniczych wraz ze wszystkimi częściami rezerwowymi i dodatkowymi, zapewniającymi polepszenie niezawodności, charakteryzujący dodatkowe koszty.

Z powyższych wielkości szacunkowych korzysta się przy obliczaniu niezawodności różnych urządzeń elektronicznych. W celu uwzględnienia specyfiki telefonii trzeba jednakże utworzyć takie wielkości szacunkowe, które uwzględniają zarówno niezawodność, jak i zmiany wskaźników sprawności usługowej, czyli wielkości szacunkowe łączące niezawodność ze stratami.

Jak wspomniano wyżej, w celu zapewnienia ciągłej pracy centrali trzeba niezbędnie przewidywać rezerwę jej wyposażenia sterującego. W przypadku urządzeń sterujących niescentralizowanych rezerwowanie jest uwarunkowane samą konstrukcją, gdyż w takim przypadku pracuje równoległe kilka zespołów, zależnie od obciążenia odpowiedniego stopnia łączenia. W tym przypadku dodatkowych urządzeń nie trzeba, podczas gdy do rezerwowania scentralizowanych urządzeń musi być przewidziane wyposażenie dodatkowe.

Sposoby rezerwowania mogą być różne. I tak, zależnie od schematu połączeń, rezerwowanie może być pełne, gdy dubluje się cały układ, lub też częściowe, gdy w układzie dubluje się poszczególne bloki (zespoły) wymienne lub nawet poszczególne elementy. Ponadto odróżnia się rezerwowanie ze stałym włączeniem elementów rezerwowych oraz rezerwowanie przez wymianę, przy którym uszkodzony blok usuwa się i zamiast niego umieszcza rezerwowo.

Elementy rezerwowe stale włączone pracują w takich samych warunkach jak zespół właściwy, przy czym zespół właściwy i elementy rezerwowe na swych wejściach są włączone zwykle równoległe, podczas gdy sygnały wyjściowe

elementów rezerwowych są wyłączane jakimkolwiek sposobem. W przypadku wystąpienia uszkodzenia w pracującym urządzeniu elementy rezerwowe przejmują automatycznie obciążenie, a uszkodzone elementy stają się rezerwowymi.

W przypadku rezerwowania przez wymianę warunków, w których znajdują się elementy rezerwowe, mogą różnić się od warunków elementów pracujących i w przypadku skrajnym elementy rezerwowe mogą być całkowicie odłączone od zasilania. Przyjmuje się przy tym, że w takim przypadku intensywność uszkodzeń elementów powinna zmniejszyć się, a średni czas pracy całego urządzenia (to znaczy urządzenia z zasadniczymi i rezerwowymi zespołami) zwiększyć się.

W przypadku układu ze stale włączonymi elementami rezerwowymi liczba obwodów rezerwowych nie powinna być mniejsza niż zasadniczych. Przy rezerwowaniu przez wymianę można natomiast korzystać ze sposobu rezerwowania grupowego, według którego m rezerwowych zespołów wymienionych można włączyć zamiast n zespołów zasadniczych, przy czym $m < n$.

Dla niektórych urządzeń sterujących automatycznych central telefonicznych, na przykład scentralizowanych rejestrów i niektórych innych urządzeń, można zrealizować inny sposób rezerwowania, łączący właściwości rezerwowania z elementami stale włączonymi i rezerwowania przez wymianę. W takim przypadku liczbę pracujących urządzeń przyjmuje się większą niż wynika z obliczeń, a poza tym przyjmuje się, że przy uszkodzeniu jednego z urządzeń pozostałe powinny zapewniać normalną obsługę przy

danym obciążeniu. Źródła obciążenia powinny być wtedy tak włączone do tych urządzeń, aby uszkodzenie dowolnego z nich nie powodowało odłączania grupy źródeł, lecz tylko inny rozkład obciążenia z jednoczesnym automatycznym zablokowaniem wejścia do uszkodzonego urządzenia. Powyższy sposób rezerwowania, jak również rezerwowanie z wymianą są bardziej ekonomiczne dzięki zmniejszeniu liczby urządzeń w porównaniu z rezerwowaniem ze stale włączonymi urządzeniami rezerwowymi.

W przypadku kombinowanego sposobu rezerwowania trzeba jednakże mieć skomplikowane zespoły przełączające, które podwyższają łączny koszt urządzenia i jednocześnie mogą znacznie pogorszyć jego niezawodność. Dlatego też przy wyborze odpowiedniego sposobu rezerwowania trzeba koniecznie uwzględnić niezawodność i koszt zespołów przełączających.

W literaturze są rozpatrzone sposoby rezerwowania różnych elementów, a mianowicie oporników, kondensatorów, diod i in. Przyjmuje się przy tym, że uszkodzenie jednego z elementów nie powoduje uszkodzenia całego zespołu, lecz tylko zmianę parametrów danej części zespołu w granicach dopuszczalnych odchyłek. Realizacja takich zespołów, z uwzględnieniem możliwości przerw i zwarć, wymaga zastosowania złożonych schematów o dużej liczbie elementów, niedogodnych ze względów ekonomicznych, a obliczanie tego rodzaju schematów wymaga znajomości intensywności uszkodzeń w wyniku przerw i zwarć, która zwykle nie jest znana. Ponadto zwiększenie łącznej liczby elementów w zespole może spowodować nawet pogorszenie je-

go niezawodności, wobec czego rezerwowanie elementów (podzespołów) w urządzeniach sterujących automatycznych central telefonicznych nie jest zalecane.

Z porównania pełnego i częściowego wynika, że to ostatecznie rezerwowanie może zapewnić większą niezawodność równym lub nawet nieco mniejszym kosztem. Ponadto, przy prawidłowo zaprojektowanym schemacie i odpowiedniej konstrukcji, polepsza się łatwość napraw, którą można sprowdzić po prostu do wymiany uszkodzonego bloku (zespołu wymiennego) bez ustalania rodzaju i miejsca uszkodzenia. Przy podziale na zespoły wymienne racjonalnie skonstruowany schemat ułatwia wykrywanie uszkodzeń oraz zapewnia prostszą i zlokalizowaną sygnalizację uszkodzenia.

Niezawodność urządzenia należy oszacować w najwcześniejszych etapach projektowania, a mianowicie w etapie projektu wstępnego, w celu prawidłowego zaprojektowania właściwego schematu, doboru sposobu rezerwowania, metod kontroli i przełączania itd. W etapie tym trzeba określić wszystkie charakterystyki niezawodności urządzenia zasadniczego i wybranego rodzaju rezerwowania. Oszacowanie to przeprowadza się zwykle bez uwzględniania warunków pracy elementów oraz uściśla się je w następnych etapach projektowania.

Przy obliczaniu urządzenia podstawowego (bez rezerw) przyjmuje się rozkład wykładniczy czasu pracy bez uszkodzeń z parametrem

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^k \lambda_i n_i, \quad (1)$$

w którym:

λ_i - intensywność uszkodzeń elementów i-tego typu,

n_i - liczba elementów i-tego typu,

k - liczba typów elementów.

Średni czas pracy bez uszkodzeń określa się z zależności

$$T_{sr} = \frac{1}{\lambda_s}, \quad (2)$$

czas pracy bez uszkodzeń przy przyjętym prawdopodobieństwie - z zależności

$$P_s = e^{-\lambda_s t} \quad (3)$$

a średni czas remontu - z zależności

$$t_b = \sum_{j=1}^r P_j t_{bj} \quad (4)$$

w której

$$P_j = \frac{\lambda_j}{\sum_{j=1}^r \lambda_j} \quad \text{- prawdopodobieństwo tego, iż uszkodzenie dotyczy } j\text{-tego bloku lub } j\text{-tego typu elementów,}$$

λ_j - intensywność uszkodzeń j-tego bloku lub j-tego typu elementów,

r - liczba bloków lub typów elementów,

t_{bj} - czas zużyty na znalezienie i usunięcie uszkodzenia w j-tym bloku lub w j-tej grupie elementów,

$$\lambda_j = \sum_{i=1}^k \lambda_i n_i \quad \text{w przypadku bloku,}$$

$$\lambda_j = \lambda_n \quad \text{w przypadku grupy elementów.}$$

Prawdopodobieństwo pracy bez uszkodzeń w przyjętym czasie, średni czas pracy bez uszkodzeń i średni czas remontu dają wystarczającą charakterystykę niezawodności urządzenia zasadniczego i mogą służyć jako dane wyjściowe do obliczenia urządzenia z zespołami rezerwowymi przez wymianę.

Urządzenie z organami rezerwowymi, podlegające naprawom, rozpatruje się jako system obsługi masowej z najprostszym strumieniem informacji, charakteryzującym się parametrem λ_s i strumieniem napraw, których rozkład czasu podlega równaniu wykładniczemu o parametrze

$$\mu = \frac{1}{t_b} \quad (5)$$

Przy obliczeniach należy uwzględnić schemat włączania i warunki pracy zespołów rezerwowych. W etapie projektu wstępnego przyjmuje się przy tym umownie, że urządzenia przełączające są całkowicie niezawodne, podczas gdy przy obliczeniach bardziej dokładnych niezawodność tych organów trzeba niezbędnie uwzględnić. Przyjmuje się ponadto, że urządzenia przełączające są połączone szere-

gowo (w sensie niezawodności) w stosunku do całego układu, jakkolwiek niekiedy można również wydzielić w urządzeniu przełączającym poszczególne grupy elementów, dotyczące oddzielnych zespołów, oraz rozpatrywać je jako szeregowo połączone w stosunku do tych zespołów.

Przy rozpatrywaniu urządzenia składającego się z n roboczych i m rezerwowych zespołów, w którym warunki pracy elementu rezerwowego charakteryzuje parametr α ($0 < \alpha < 1$), A.K. Sotnikow otrzymał poniższe ogólne zależności:

1. Prawdopodobieństwo znajdowania się w układzie dokładnie K uszkodzonych elementów

$$r_K = \frac{l_0 l_1 l_2 \dots l_{K-1}}{K!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^K r_0 \quad (6)$$

$$r_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{m+1} \frac{l_0 l_1 l_2 \dots l_{K-1}}{K!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k} \quad (7)$$

gdzie $l_K = n + (m - K) \alpha$.

2. Współczynnik gotowości, czyli prawdopodobieństwo znajdowania się w dowolnym momencie w układzie co najwyżej m uszkodzonych elementów

$$r_K = \sum_{K=0}^m r_K = \frac{\sum_{K=0}^m \prod_{i=1}^{K-1} l_i \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^K}{\sum_{K=0}^{m+1} \prod_{i=1}^{K-1} l_i \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^K} \quad (8)$$

gdzie $l_{-1} = 1$.

3. Średni czas pracy bez uszkodzeń, gdy w początkowym momencie znajduje się w remoncie K elementów

$$T_{sr}^K = \frac{1}{\lambda} \sum_{n=1}^{m+1} \left(\frac{\mu}{\lambda}\right)^{n-1} \sum_{j=0}^{m+1-n} \frac{(n-1+j)!}{j! \prod_{i=j}^{n-1} l_i} - \frac{1}{\lambda l_{K-1}} \quad (9)$$

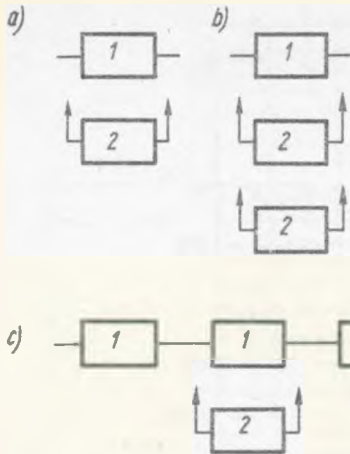
Gdy początkowe warunki są zerowe, ostatni składnik wyrażenia przekształca się w zero, wobec czego rozwinięta zależność w przypadku początkowych warunków zerowych będzie mieć postać jak niżej

$$T_{sr}^0 = \frac{1}{\lambda} \left\{ \left[\frac{1}{l_0} + \frac{1}{l_1} + \dots + \frac{1}{l_m} \right] + \frac{\mu}{\lambda} \left[\frac{1}{l_0 l_1} + \dots \right] \right\} \quad (10)$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{2}{1_1 1_2} + \dots + \frac{m-1}{1_{m-2} 1_{m-1}} + \frac{m}{1_{m-1} 1_m} \Big] + \\
& + \left(\frac{\mu}{\lambda} \right)^2 \left[\frac{2!}{1_0 1_1 1_2} + \frac{3!}{1! 1_1 1_2 1_3} + \dots + \frac{(m-1)!}{(m-3)! 1_{m-3} 1_{m-2} 1_{m-1}} \right. \\
& \left. + \frac{m!}{(m-2)! 1_{m-2} 1_{m-1} 1_m} \right] + \left(\frac{\mu}{\lambda} \right)^3 \dots \dots \Big\}
\end{aligned}$$

Z powyższych zależności A.K. Sotnikow wyprowadził wzory dla różnych przypadków szczególnych, a mianowicie zespołów rezerwowych obciążonych i nieobciążonych, jednej lub kilku brygad remontowych itd., które to wzory nadają się bezpośrednio do obliczania rezerwowania pełnego lub grupowego. W przypadku rezerwowania częściowego należy zgodnie z tymi zależnościami przeprowadzić obliczenie dla każdego rezerwowanego bloku (zespołu wymiennego) i następnie obliczyć łączną niezawodność według znanych praw teorii prawdopodobieństwa. W celu prawidłowego sformułowania wzorów obliczeniowych należy uprzednio sporządzić strukturalny schemat niezawodności rozpatrywanego układu, uwzględniając wszystkie urządzenia przełączające i inne pomocnicze zespoły.

Podana wyżej metodyka może być wykorzystana do oszacowania niezawodności wyposażenia automatycznych central telefonicznych, w których zastosowano rezerwowanie. Zgodnie z tą metodyką z zależności (8) i (10) obliczono współ-



Rys. 1. Schematy strukturalne rezerwowania: a/ dublowanie, b/ potrójne rezerwowanie, c/ rezerwa grupowa "1 na 3"

1 - blok podstawowy, 2 - blok rezerwowy

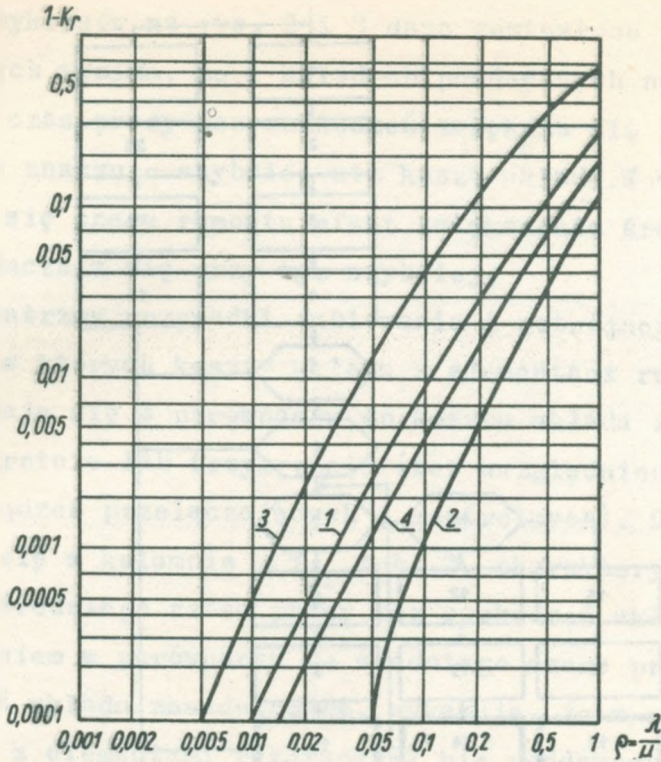
czynnik gotowości i średni czas pracy bez uszkodzeń układu z czterema rodzajami rezerwowania:

- | | | | |
|--|---|--------------------|-----------|
| 1 - dublowanie | } | elementy rezerwowe | |
| 2 - potrójne rezerwowanie | | | obciążone |
| 3 - rezerwa grupowa "1 na 3" | | | |
| 4 - rezerwa grupowa "1 na 3" - nieobciążona, | | | |

przedstawionymi schematycznie na rys. 1.

Grupową rezerwę "m na n" nazywa się taki sposób rezerwowania, przy którym dowolny z m rezerwowych elementów może być włączony w przypadku uszkodzenia dowolnego z n zasadniczych elementów lub zamiast dowolnego elementu rezerwowego. Rezerwę obciążoną nazywa się rezerwę stale włączoną, której warunki pracy nie różnią się od warunków pracy elementu zasadniczego. Rezerwa nieobciążona jest całkowicie odłączona od zasilania.

Obliczenia wykonywano w funkcji stosunku $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$, a wyniki obliczeń podano w postaci krzywych na rys. 2 i 3. Krzywe te mogą być wykorzystane do orientacyjnego osza-

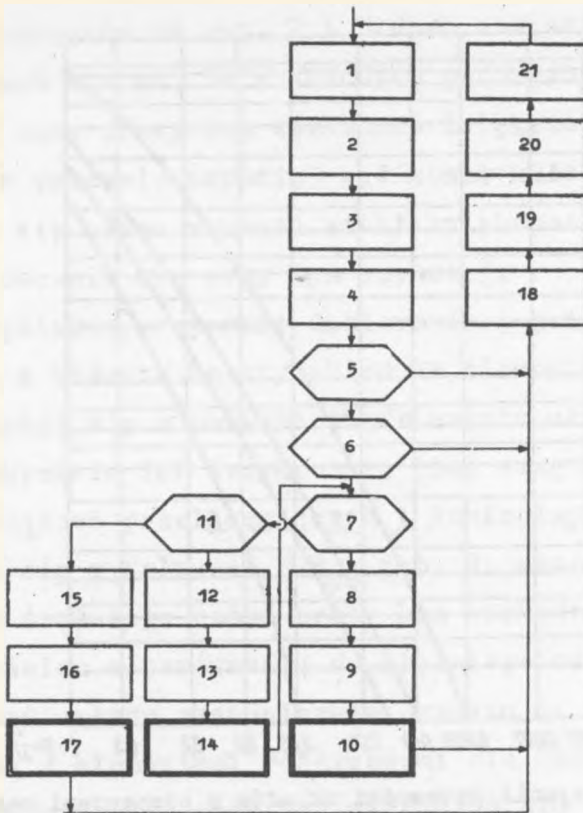


Rys. 2. Współczynnik gotowości układów z elementami rezerwowymi, poddawanych naprawom:

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 - dublowanie | } elementy rezerwowe obciążone |
| 2 - potrójne rezerwowanie | |
| 3 - rezerwa grupowa "1 na 3" | |
| 4 - rezerwa grupowa "1 na 3" - nieobciążona | |

cowania niezawodności układów lub do przyjęcia podczas projektowania jednego ze wskaźników układu, na przykład średniego czasu remontu, jeżeli są znane inne wskaźniki układu z określonym sposobem rezerwowania.

Przykład. Należy oszacować niezawodność urządzenia sterującego, którego zespół wymienny zawiera elementy ze wskaźnikami podanymi w tabl. 1.



Rys. 3. Średni czas pracy bez uszkodzeń układów z elementami rezerwowymi, poddawanych naprawom:

- | | |
|---|--------------------------------|
| 1 - dublowanie | } elementy rezerwowe obciążone |
| 2 - potrójne rezerwowanie | |
| 3 - rezerwa grupowa "1 na 3" | |
| 4 - rezerwa grupowa "1 na 3" - nieobciążona | |

Przyjmijmy trzy wartości średniego czasu remontu, a mianowicie $t_d = 24$ godz., 10 godz. i 3 godz., dla których, odpowiednio, $\mu = 41,6 \cdot 10^{-3}$ /godz., $100 \cdot 10^{-3}$ /godz. i $333 \cdot 10^{-3}$ /godz. Znając μ , otrzymujemy z ko-

leci z wykresów na rys. 2 i 3 dane zestawione w tabl. 2, z których wynika, że w układach poddawanych naprawom średni czas pracy bez uszkodzeń zwiększa się przy rezerwowaniu znacznie szybciej niż koszt układu. W miarę zmniejszania się czasu remontu efekt zwiększenia średniego czasu uwidacznia się przy tym szybciej.

Rozpatrzmy przypadki dublowania i potrójnego rezerwowania, w których koszty układu z elementami rezerwowymi zwiększają się w porównaniu do kosztu układu zasadniczego dwukrotnie lub trzykrotnie (bez uwzględnienia kosztów urządzeń przełączających i kontrolnych). Dane znajdujące się w kolumnie λT_{sr} tab. 2, charakteryzujące wzrost średniego czasu pracy bez uszkodzeń układu z rezerwowaniem w porównaniu do średniego czasu pracy bez uszkodzeń układu zasadniczego, wykazują, że w przypadku układów z elementami rezerwowymi nie poddawany naprawom średni czas pracy bez uszkodzeń dla rozpatrywanych dwóch przypadków zwiększa się w porównaniu do początkowego, odpowiednio, tylko 1,5 i 1,8 raza (2).

Na rysunku 4 podano zależności stosunku średniego czasu bez uszkodzeń układu z elementami rezerwowymi ($T_{sr rez}$) i układu zasadniczego ($T_{sr zas}$) w funkcji kosztu, przy czym za jednostkę kosztu przyjęto koszt układu zasadniczego. Jak widać, stosunek ten w przypadku dublowania wynosi 2, w przypadku potrójnego rezerwowania 3, a w przypadku rezerwowania grupowego "1 na 3" $1\frac{1}{3}$.

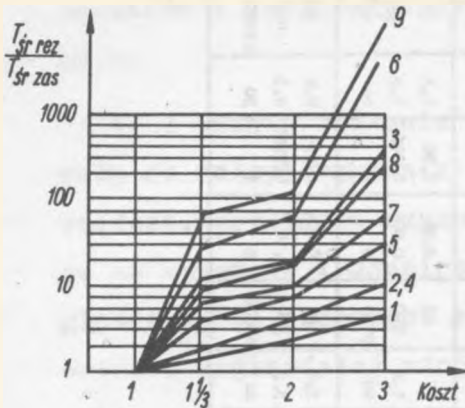
Jeżeli średni czas pracy bez uszkodzeń układu zasadniczego przyjmiemy także za jednostkę, z rys. 4 widać, że niezawodność (średni czas pracy bez uszkodzeń) zwiększa się znacznie szybciej niż koszt układu.

T a b e l a 1

Lp.	Nazwa elementu	Liczba elementów	Intensywność uszkodzeń na godz.		
			maksymalna	średnia	minimalna
1	Tranzystory	600	$10 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-6}$	$0,9 \cdot 10^{-6}$
2	Diody krzemowe	2500	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,2 \cdot 10^{-6}$
3	Diody germanowe	600	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$0,3 \cdot 10^{-6}$
4	Oporniki	2800	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,5 \cdot 10^{-6}$	$0,04 \cdot 10^{-6}$
5	Kondensatory	800	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$0,08 \cdot 10^{-6}$
6	Transformatory	300	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,08 \cdot 10^{-6}$	$0,03 \cdot 10^{-6}$
$\lambda = \sum_{i=1}^k \lambda_i n_i$			$22,3 \cdot 10^{-3}$	$10,1 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$

T a b e l a 2

I ₀	λ gods · 10 ³ / gods	p = $\frac{\lambda}{H}$	Doblovanje			Pridobivanje zavarovanosti			Izjava skupina 1 na 3 ^a									
			1 - K ₂	K ₂	$\lambda \frac{z_{ar}}{1/gods}$	$\frac{z_{ar}}{gods}$	1 - K ₂	K ₂	$\lambda \frac{z_{ar}}{1/gods}$	$\frac{z_{ar}}{gods}$	obdeljema			na 6 obdeljema				
1	22,3	0,535	0,12	0,88	2,2	98	0,04	0,96	3,7	166	0,4	0,6	1	45	0,07	0,93	1	45
2	24	0,242	0,04	0,96	3,6	360	0,007	0,993	9,8	980	0,18	0,82	1	45	0,02	0,98	1,2	120
3	1,4	0,0335	8 · 10 ⁻⁴	0,9992	20	14300	0	1	400	285000	0,004	0,996	3,8	2720	4 · 10 ⁻⁴	0,9996	5	3560
4	22,3	0,232	0,04	0,96	3,8	170	0,007	0,993	10	448	0,47	0,53	1	45	0,02	0,98	1,3	54
5	10,1	0,101	0,009	0,991	7	700	0,001	0,999	30	3000	0,04	0,96	1,2	120	0,004	0,996	1,8	180
6	1,4	0,014	0	1	60	43000	0	1	10 ³	10 ⁶	5 · 10 ⁴	0,9995	10	7190	0	1	14	10 ⁴
7	22,3	0,087	0,005	0,995	10	448	2 · 10 ⁴	0,9998	60	2700	0,018	0,982	1,8	81	0,002	0,998	2,2	98
8	3	0,03	5 · 10 ⁻⁴	0,9995	18	1800	0	1	270	27000	0,0005	0,9995	5,3	390	4 · 10 ⁻⁴	0,9996	4,5	450
9	1,4	0,004	0	1	120	85500	0	1	10 ³	10 ⁶	0	1	22	19700	0	1	30	21400



Rys. 4. Zwiększenie niezawodności zależnie od wzrostu kosztu rezerwowania /krzywe 1-9 wykreślono zgodnie z warunkami obliczeń wg tablicy 2/

WNIOSKI

Z powyższych rozważań można wyprowadzić poniższe wstępne uwagi i zalecenia odnośnie wyboru sposobu rezerwowania i oszacowania niezawodności scentralizowanych urządzeń sterujących automatycznych central telefonicznych:

1. Scentralizowane urządzenia sterujące automatycznych central telefonicznych należą do urządzeń trzeciej klasy pod względem pracy oraz powinny być oszacowywane współczynnikiem gotowości.
2. Niezawodność takich urządzeń wydatnie zwiększa się przy rezerwowaniu.
3. Do określenia współczynnika gotowości trzeba znać średni czas remontu. Czas ten powinien być możliwie mały i znacznie mniejszy niż średni czas pracy bez uszkodzeń urządzeń zasadniczych.
4. Średni czas pracy bez uszkodzeń urządzeń zasadniczych powinien być możliwie duży, aby zmniejszyć liczbę

remontów i zmniejszyć związane z nimi koszty eksploatacyjne.

5. Z punktu widzenia zmniejszenia czasu remontu stosunkowo ważnym wskaźnikiem jest podatność do remontu urządzeń, przy czym czynniki zmniejszające czas przestoju na wykrycie i usunięcie uszkodzenia powinny być uwzględnione we wczesnych etapach projektowania i konstruowania. Najbardziej racjonalne jest konstruowanie schematu zawierającego tego samego typu funkcjonalne zespoły wymienne, wyposażone w urządzenia kontrolne i sygnalizujące wystąpienie uszkodzenia.

Konstrukcja urządzenia powinna przewidywać prostą wymianę uszkodzonego zespołu z zastąpieniem go rezerwowym, co oznacza, że połączenia między zespołami powinny być rozłączne.

6. Najefektywniejsze jest rezerwowanie częściowe przez wymianę, z nicobciążoną rezerwą. Takie rezerwowanie wymaga jednakże niezawodnych urządzeń przełączających.

7. Zwiększenie niezawodności urządzenia jest nieuniknione związane ze zwiększeniem jego początkowego kosztu, jakkolwiek w przypadku urządzeń z elementami rezerwowymi średni czas pracy bez uszkodzeń wzrasta znacznie szybciej niż koszt. Jednocześnie, jako następstwo zwiększenia niezawodności, powinny zmniejszać się koszty eksploatacji.

8. Do szacowania niezawodności urządzeń zaleca się następującą metodę:

a) określenie łącznej intensywności uszkodzeń zespołów wymiennych i całego urządzenia oraz odpowiadającego jej średniego czasu pracy bez uszkodzeń;

b) określenie średniego czasu remontu lub przyjęcie kilku jego wartości przypuszczalnych, dla których trzeba przeprowadzić obliczenia;

c) obliczenie współczynnika gotowości i średniego czasu pracy bez uszkodzeń dla różnych wartości intensywności uszkodzeń i czasu remontu;

d) wybranie, w wyniku tych obliczeń, elementów i schematu urządzenia zasadniczego oraz rodzaju rezerwowania;

e) uściślenie wszystkich wskaźników z uwzględnieniem urządzeń kontrolnych i przełączających;

f) określenie pozostałych wskaźników niezawodności, w tym wskaźników ekonomicznych - współczynników kosztu niezawodności i eksploatacji.

WYKAZ LITERATURY

1. Malikow I.M., Połowko A.M., Romanow N.A., Czukriejew P.A.: Osnovy teorii i rascziota nadiożnosti. Sudpromgiz, 1960.
2. Duerdoth W., Lawrence I.: Reliability and maintenance of electronic exchanges. Post Office Electr.Engr., Part B, 107, 1960, Supplement Nr 20, 235/43.

OKREŚLENIE NIEZAWODNOŚCI SPRZĘTU ŁĄCZNOŚCI METODĄ MONTE-CARLO

Tłumaczył: C. Niewiadomski¹⁾

1. UWAGI OGÓLNE O NIEZAWODNOŚCI SPRZĘTU ŁĄCZNOŚCI

W przypadku współczesnego sprzętu linii magistralnych telefonii nośnej coraz większe znaczenie ma zasada osiągnięcia przez ten sprzęt określonego poziomu niezawodności (na przykład $R = 0,999$) dla tak zwanego umyślnego łącza odniesienia o długości 2500 km. Niezawodność sprzętu określa się przy tym zgodnie z prawdopodobieństwem granicznym procesu stochastycznego:

$$R = \lim_{N \rightarrow \infty} \text{st. } \frac{n}{N}, \quad (1.1)$$

$N \rightarrow \infty$

gdzie n jest to liczba prawidłowych czynności sprzętu, stwierdzonych w N pomiarach przeprowadzonych w określonym przedziale czasu.

Jeżeli łącze odniesienia składa się z p szeregowo połączonych urządzeń, których uszkodzenia są wzajemnie nie-

¹⁾ Gujasz O.: Oprzediclenje nadicznosti oborudowanij swiazi mietodom Monte-Carlo. Simpozium "Nadiecznost' w elektronikie", Budapeszt 1964, t. II, siekcja B, s.1-12.

zależne, oraz jeżeli uszkodzenie dowolnego urządzenia powoduje uszkodzenie całego sprzętu, wówczas niezawodność jednego urządzenia R_u powinna być większa niż $\sqrt[l]{R}$. I tak, jeżeli urządzenia przełączające mają l eksploatowanych i k rezerwowych równorzędnych głównych kanałów (to znaczy, że do uszkodzenia sprzętu trzeba jednoczesnego uszkodzenia co najmniej $k+1$ głównych kanałów) oraz jeżeli uszkodzenia tych kanałów są wzajemnie niezależne, wówczas niezawodność jednego takiego kanału R_k powinna spełniać poniższą nierówność:

$$R_u < \sum_{i=0}^k \binom{l+k}{i} R_k^{l+k-i} (1-R_k)^i \quad (1.2)$$

Niezawodność kanału R_k , będącą jednym z najważniejszych wskaźników sprzętu, można określić, jeżeli są znane liczba urządzeń i wskaźniki ich niezawodności oraz system remontu.

1.1. Określenie niezawodności kanału R_k

Niech

$$t_0, t_1 \dots (t_i > t_{i-1}, t_0 = 0)$$

oznaczają momenty uszkodzenia kanału.

Przyjmijmy ponadto, że zbiór $g_i = t_i - t_{i-1}$ ($i = 1, 2 \dots$) przedstawia w rozpatrywanym przedziale czasu ciąg wzajemnie niezależnych i o jednakowym rozkładzie

zmiennych losowych, których funkcja rozkładu jest $G(x)$, wartość oczekiwana m i średnie odchylenie d .

Natomiast przez T_i oznaczmy przestój następujący po i -tym uszkodzeniu oraz przyjmijmy, że zbiór $T_i (i=1,2,\dots)$ przedstawia ciąg wzajemnie niezależnych i o jednakowym rozkładzie zmiennych losowych z funkcją rozkładu $T(x)$, wartością oczekiwaną M i średnim odchyleniem D .

Przyjmując takie oznaczenia, stosunek czasu pracy bezbłędnej do n -go uszkodzenia do całego czasu pracy można przedstawić zależnością

$$R_k^{(n)} = \frac{\varepsilon_1 - T_1 + \varepsilon_2 - T_2 + \dots + \varepsilon_n}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n} =$$

$$= \frac{\frac{\sum \varepsilon_i}{n} - \frac{\sum T_i}{n}}{\frac{\sum \varepsilon_i}{n}}, \quad (1.3)$$

którą, zgodnie z prawem wielkich liczb, można przekształcić w poniższą zależność

$$R_k = \lim_{st.} R_k^{(n)} = \frac{m-M}{m} = 1 - \frac{M}{m}, \quad (1.4)$$

przedstawiającą poszukiwaną niezawodność kanału.

¹⁾ daje się, że w liczniku wyrażenia (1.3) powinno być $\frac{\sum \varepsilon_i}{n} - \frac{\sum T_i}{n-1}$, co jednak nie zmieni dalszych zależności (przyp. red.).

Wobec powyższego do określenia niezawodności kanału wystarczy znać, zgodnie z (1.4), tylko wartość oczekiwaną zmiennych losowych g i T , przyjmując, że zmienne losowe g_i i T_i są wzajemnie niezależne. Niżej będzie wyjaśnione, że warunek niezależności w ogóle nie spełnia się, a rozkładów zmiennych losowych T_i i g_i nie można w ogóle ustalić w określonej postaci.

1.1.1. Badanie przedziału czasu g między dwoma uszkodzeniami

Jest oczywiste, że ustalenie hipotezy o funkcji rozkładu $G(x)$ jest możliwe tylko w wyniku badań statystyki matematycznej. Zgodnie jednak z doświadczeniem z praktyki, do urządzeń zawierających dużą liczbę elementów, w których uszkodzenia poszczególnych elementów są wzajemnie niezależne, często można zastosować umownie wykładniczy rozkład zmiennej losowej g , według którego:

$$G_x = P(g < x) = \begin{cases} 1 - e^{-x/m} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (1.5)$$

Wartości m określa się przy tym z wartości λ , będących wskaźnikami niezawodności poszczególnych elementów, albo też z badań statystycznych urządzeń.

Wskaźnik λ określony jest zależnością

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)},$$

w której $F(t)$ jest funkcją rozkładu trwałości elementu,
a

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} .$$

1.1.2. Badanie przestoju

Przestój T , następujący po uszkodzeniu urządzenia, może być wyrażony sumą trzech zmiennych losowych

$$T = \tau + \xi + \omega , \quad (1.6)$$

w której

τ - czas przejazdu brygady remontowej z miejsca przebywania do miejsca remontu,

ξ - rzeczywisty czas remontu,

ω - czas oczekiwania, który występuje, jeżeli liczba jednocześnie uszkodzonych stacji przekracza liczbę brygad remontowych.

a. Czas przejazdu

W celu określenia czasu przejazdu trzeba uprzednio określić kolejność remontów. W związku z tym przyjmijmy, że u stacji wzmacniakowych obsługuje s brygad remontowych oraz że u_{jk} oznacza czas przejazdu od stacji o liczbie porządkowej j do stacji o liczbie porządkowej k.

Oдноśnie kolejności remontu rozpatrzmy zaś trzy następujące przypadki:

Przypadek I. Brygada remontowa znajduje się w głównej stacji o liczbie porządkowej 0. Brygada ta jest wysyłana z głównej stacji w celu usunięcia każdej niesprawności i wraca do niej po zakończeniu naprawy.

Przypadek II. Po wykonaniu naprawy brygada remontowa pozostaje w uszkodzonej stacji, jeżeli nie ma drugiej stacji do remontu, lub też, zgodnie z ustaloną instrukcją, jest ona wysyłana do jednej z uszkodzonych stacji, jeżeli jest stacja do naprawy.

Przypadek III. Ten przypadek jest kombinacją dwóch pierwszych przypadków, wobec czego, po naprawie, jeżeli nie ma stacji do naprawy, brygada remontowa wraca do głównej stacji, podczas gdy w przypadku istnienia stacji do naprawy brygada działa według ustalonej instrukcji.

Przyjmijmy, że w drugim i trzecim przypadku są opracowane instrukcje ustalające kolejność remontów w razie istnienia kilku stacji do naprawy (na przykład naprawie poddaje się stację oczekującą najdłużej na remont, stację wybraną pod względem ważności lub stację najbliższą). Należy wtedy jednakże ustalić ponadto, która z brygad (najbliższa lub najdłużej niezajęta z wolnych brygad) powinna być skierowana do naprawy w przypadku istnienia kilku wolnych brygad i jednej stacji do naprawy, przy czym w niżej omówionym modelowaniu zawsze są rozpatrywane odległości do stacji wymagającej naprawy.

System przyjęty w instrukcji celowo jest przedstawiać dwiema macierzami

$$\underline{\underline{A}} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1u} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2u} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ a_{u1} & a_{u2} & \dots & a_{uu} \end{vmatrix} \quad \underline{\underline{B}} = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1s} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2s} \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ b_{u1} & b_{u2} & \dots & b_{us} \end{vmatrix}$$

w których każdy wiersz zawiera pewne określone przedstawienie liczb 1,2 u lub 1,2 s, czyli liczb porządkowych stacji albo brygad. W każdym wierszu macierzy $\underline{\underline{A}}$ kolejność stacji określa się przy tym od strony ich eksploatatora, zależnie od odległości i rozmieszczenia stacji.

Macierz $\underline{\underline{A}}$ określa, którą z naprawianych stacji należy naprawić najszybciej. I tak, jeżeli brygada remontowa znajduje się w stacji o liczbie porządkowej j, wtedy należy najszybciej naprawić tę stację z naprawianych, do której należy najmniejszy wskaźnik kolumny w j-tym wierszu macierzy $\underline{\underline{A}}$. Analogicznie określa się z macierzy $\underline{\underline{B}}$, która z brygad remontowych powinna usuwać kolejną niesprawność.

b. Czas remontu

Rzeczywisty czas remontu ξ jest, ogólnie biorąc, zmienną losową charakteryzującą daną stację. Stacje wzmacniakowe niekontrolowane są jednakże zwykle jednokowe, wobec czego w takim przypadku ξ ma jednakowy rozkład dla każdej stacji, który w większości przypadków jest przy tym zbliżony do rozkładu wykładniczego.

c. Czas oczekiwania

Czas oczekiwania zależy od zmiennych losowych g, τ , ξ oraz liczby brygad remontowych s , a także od przyjętego systemu (instrukcji) remontu.

W tego rodzaju badaniach matematycznych operacji najważniejsze znaczenie ma teoria obsługi masowej, inaczej nazywana teorią kolejności, która zajmuje się określeniem rozkładu czasu oczekiwania ω przy znanych danych g, τ, ξ , a także określeniem niektórych systemów kolejności czy napraw. W przypadku $s = 1$ teoria masowej obsługi daje wystarczająco uogólnione wyniki, natomiast w przypadku $s > 1$ teoria ta umożliwiła rozwiązania tylko niektórych, szczególnych zadań, przy czym w większości rozwiązań powstają znaczne trudności w obliczeniach (rozwiązanie równań całkowych, odwrócenie przekształcenia Laplace'a). Zadanie określenia czasu oczekiwania jeszcze bardziej komplikuje się, jeżeli brygady remontowe obsługują kilka równoległych lub rozgałęziających się kanałów, albo też gdy liczba brygad remontowych nie jest jednakowa na poszczególnych zmianach (na przykład personel jest zmniejszony w nocy).

Wskutek powyższych trudności niezawodność kanału R_k tylko w części przypadków można obliczyć w postaci ostatecznej, co wynika z nieznaności ω i τ , a także wskutek niespełnienia warunków wynikających z zależności (1.3). Dlatego też jest celowe określanie liczbowe niezawodności kanału innym sposobem, a mianowicie za pomocą modelowania, czyli tak zwanego sposobu Monte-Carlo.

2. OMÓWIENIE SPOSOBU MODELOWANIA

Zadanie polega na określeniu niezawodności kanału sposobem modelowania, przyjmując model omówiony w punkcie 1.

Sposób modelowania polega na uprzednim przyjęciu odpowiedniego modelu oraz rozgrywaniu przez przyspieszanie i uwielokrotnianie realnej sytuacji losowej. Przyjęcie modelu zjawiska przebiegającego w naturze pozwala z kolei wyprowadzić wnioski statystyczne. Wobec dużej szybkości takiego postępowania można tą drogą znaleźć optymalną z możliwych wariacji, czyli określić optymalną liczbę i miejsce znajdowania się brygad remontowych, a także kolejność remontów. W wyniku otrzymuje się oszacowanie statystyczne, to znaczy wartość przybliżoną, uzyskaną z opracowania statystycznego wyników przeprowadzonych badań.

2.1. Środki pomocnicze do sposobu modelowania

Ciągiem zmiennych losowych o funkcji rozkładu $F(x)$ nazywa się realizację zmiennej losowej o funkcji rozkładu $F(x)$, uzyskaną z badań wzajemnie niezależnych. Jeżeli nie zaznacza się inaczej, przyjmuje się, że $F(x)$ jest funkcją rozkładu zmiennej losowej o równomiernym rozkładzie w przedziale $(0,1)$, czyli że

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ x & 0 \leq x \leq 1 \\ 1 & 1 \leq x \end{cases} .$$

Modelowanie przeprowadza się za pomocą elektronicznych maszyn liczących. W tym przypadku otrzymanie i zastosowanie zmiennych losowych przedstawia trudności, ponieważ trudno jest przeprowadzać całkowicie wzajemnie niezależne badania fizyczne i przekazywać elektronicznym maszynom liczącym wyniki badań oraz ponieważ przechowywanie w pamięci zmiennych losowych wymaga dużej liczby komórek pamięciowych. W celu uniknięcia tych trudności stosuje się zmienne pseudolosowe, w wyniku czego za pomocą elektronicznej maszyny liczącej także otrzymuje się takie zmienne przy określonej metodzie iteracyjnej. Jakkolwiek otrzymane wyniki nie przedstawiają w istocie ciągu losowego (jednoznacznie określonego wartością początkową i metodą iteracyjną), przy odpowiednim doborze wartości początkowej otrzymane wartości odzwierciedlają jednakże kryteria statystyczne, czyli tworzą niby ciąg losowy.

Dysponując sposobem do uzyskania zmiennych losowych, można opracować także ciągi losowe o innym rozkładzie, niezbędne do modelowania, jak również układy zdarzeń losowych o rozkładzie dyskretnym.

2.2. Opis metody modelowania

Przyjmijmy przedział czasu Δ zgodnie z wymaganą dokładnością oraz rozpatrzmy układ o przedziałach Δ .

W rozważaniach tych będziemy posługiwać się poniższymi symbolami:

a. Oznaczenia

E_k - zdarzenie uszkodzenia k stacji w czasie Δ ;

F_k - zdarzenie uszkodzenia stacji o liczbie porządkowej k,

ξ - czas remontu,

U_{jk} - czas przejazdu ze stacji o liczbie porządkowej j do stacji o liczbie porządkowej k,

$\left\{ a_{jk} \right\}$, $\left\{ b_{jk} \right\}$ - elementy zachowanych w pamięci macierzy \underline{A} i \underline{B} ,

s - liczba brygad remontowych,

u - liczba stacji obsługiwanych przez brygady remontowe,

ξ_m , F_{km} , E_{km} , U_{jkm} - modelowanie odpowiednich zmiennych losowych lub zdarzeń.

b. Ważniejsze komórki pamięciowe (vide schemat bloków modelującego algorytmu, przedstawiony na rys. 1)

"ocz" - komórka przedstawiająca liczbę stacji oczekujących na naprawę,

i, j, l, p, r - komórki operacyjne,

I_i - komórka brygady remontowej o liczbie porządkowej i,

I_{i1} - pierwsza połowa komórki, przedstawiająca czas

pozostały do zakończenia remontu¹⁾,

- I_{i2} - druga połowa komórki, przedstawiająca liczbę porządkową stacji znajdującej się w remoncie,
- A_i - komórka stacji o liczbie porządkowej i ,
- A_{i1} - pierwsza połowa komórki, przedstawiająca czas, który upłynął od momentu uszkodzenia,
- A_{i2} - druga połowa komórki, odpowiadająca 1, jeżeli stacja jest uszkodzona i jeszcze nie remontowana, lub 0, jeżeli stacja jest sprawna lub jest już w toku naprawy (jakkolwiek jeszcze nie jest sprawna),
- "rem" - komórka przedstawiająca liczbę brygad remontowych,
- "adm" - blok reasumujący wyniki otrzymane w poprzednich operacjach oraz zapisujący otrzymane zmiany w komórkach I_j , A_j , "ocz", "rem" (operacji tej nie omawia się szczegółowiej).

c. Objaśnienie schematu bloków maszyny liczącej

Przyjmując dowolnie wybrane przedziały czasu Δ , rozpatruje się, ile nastąpiło uszkodzeń, w jakiej stacji one wystąpiły, przez jaką brygadę remontową są one napra-

¹⁾ Remontowa brygada nazywa się wolna, jeżeli $I_{i1} = 1$. W tym przypadku znajduje się ona na pewno w stacji głównej.

wiane itd., przy czym stan ten utrwała się w komórkach

$$\text{"ocz"}, \text{"rem"}, \left\{ "A_i" \right\}, \left\{ "I_i" \right\},$$

a jego zmiany realizuje się przez modelowanie poszczególnych zmiennych losowych za pomocą liczb pseudolosowych.

Zadaniem poszczególnych bloków jest, co następuje:

1. Zmiana czasu przebiegu programu (przedziału czasu).
2. Określenie za pomocą modelowania E_i liczby stacji uszkodzonych w ostatnim przedziale czasu Δ .
3. Zmiana czasu oczekiwania stacji na naprawę przez zmianę liczby stacji uszkodzonych podczas ostatniej kontroli.
4. Określenie przez modelowanie F_k , które ze stacji są uszkodzone oraz utrwalenie tego w komórce odpowiedniej stacji.

Bloki logiczne 5,6,7,11 dzielą wszystkie stany na cztery grupy, które można przedstawić jak niżej

	ocz	0	1	>1
rem				
0		a	b	c
1		d	f	h
>1		e	g	i

przy czym

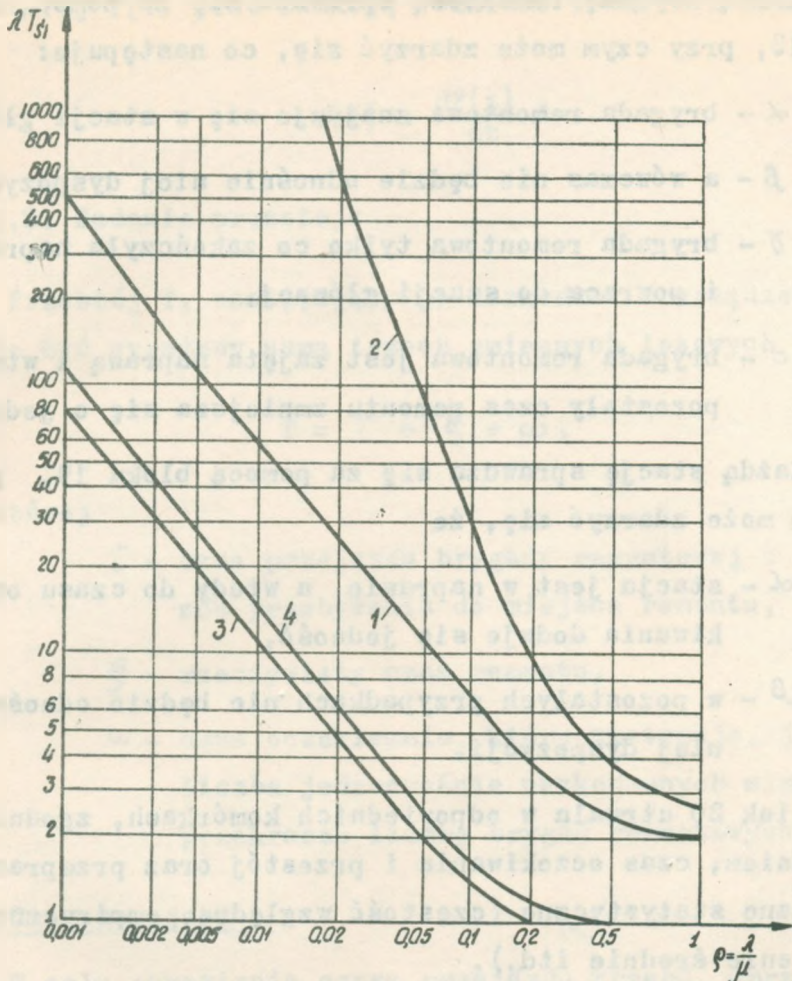
grupa 1	a,b,c,d,e	dotyczy	bloków	5-18
grupa 2	f,g	"	"	6-18
grupa 3	h	"	"	7-18
grupa 4	i	"	"	15-18
				12-14

Jeżeli stan jest objęty przez grupę 1, wówczas nowego remontu nie rozpoczyna się z powodu braku wolnych brygad lub stacji do naprawy. Wtedy po bloku 5 lub 6 następuje blok 18.

Jeżeli stan jest objęty przez grupę 2, wówczas trzeba wybrać brygadę remontową do naprawy jednej z naprawianych stacji (za pomocą macierzy B) oraz określić czas remontu i przejazdu (blok 16), a otrzymane wyniki utrwalic w odpowiednich komórkach.

Jeżeli stan jest objęty przez grupę 3, wówczas za pomocą macierzy A brygada remontowa wybiera stację do naprawy (blok 15), po czym określa się czas naprawy (blok 16) i grupuje się dane (blok 17).

W przypadku stanu objętego przez grupę 4 (gdy istnieje jednocześnie kilka stacji do napraw i kilka brygad remontowych), wybiera się brygadę remontową do stacji o najmniejszej liczbie porządkowej ze stacji do napraw. W rzeczywistości taki stan jest niemożliwy, ponieważ wynika on tylko z przeprowadzania badań z przedziałami czasu Δ , przy czym im mniejszy jest Δ , tym mniejsze jest prawdopodobieństwo występowania tego stanu. Dlatego też po bloku 14 następuje blok 7.



Schemat bloków modelującego algorytmu

- 1 - modelowanie czasu przebiegu programu /przedziału czasu/;
 2 - modelowanie liczby uszkodzonych stacji; 3 - modelowanie czasu oczekiwania stacji na naprawę; 4 - modelowanie uszkodzonej stacji i zapis; 5 - ocz = 0; 6 - rem = 0; 7 - ocz = 1;
 8 - wybór brygady za pomocą macierzy B, 9 - modelowanie czasu przejazdu i remontu; 10 - wynik modelowania; 11 - rem = 1;
 12 - wybór brygady do stacji o najmniejszej liczbie porządkowej; 13 - modelowanie czasu przejazdu i remontu; 14 - wynik modelowania; 15 - wybór stacji za pomocą macierzy A; 16 - modelowanie czasu przejazdu i remontu; 17 - wynik modelowania; 18 - sprawdzanie brygady remontowej; 19 - sprawdzanie stacji do naprawy; 20 - ustalenie czasu przestoju i oczekiwania;
 21 - kontrola czasu przebiegu programu i dokładności

Każdą brygadę remontową sprawdza się za pomocą bloku 18, przy czym może zdarzyć się, co następuje:

- α - brygada remontowa znajduje się w stacji głównej,
- β - a wówczas nie będzie odnośnie niej dyspozycji,
- γ - brygada remontowa tylko co zakończyła naprawę i powraca do stacji głównej,
- δ - brygada remontowa jest zajęta naprawą i wtedy pozostały czas remontu zmniejsza się o jedność.

Każdą stację sprawdza się za pomocą bloku 19, przy czym może zdarzyć się, że

- α - stacja jest w naprawie, a wtedy do czasu oczekiwania dodaje się jedność,
- β - w pozostałych przypadkach nie będzie odnośnie niej dyspozycji.

Blok 20 utrwała w odpowiednich komórkach, zgodnie z zadaniem, czas oczekiwania i przestój oraz przepracowuje dane statystyczne (częstość względną, empiryczne odchylenie średnie itd.).

Czas przebiegu jest sprawdzany przez blok 21, przy czym w ustalonym czasie maszyna licząca przestaje pracować. Jednocześnie sprawdza się dokładność na podstawie częstości względnej i maszyna licząca zatrzymuje się po osiągnięciu określonej dokładności lub określonego czasu.

d. Uwagi o programie

Jeżeli liczba brygad remontowych zmienia się w czasie (na przykład przy zmniejszeniu obsługi na zmianie nocnej), wtedy w blok 18 trzeba wbudować podblok, śledzący momenty uszkodzeń oraz przystosowujący liczbę brygad remontowych do zgodnej z przepisami. Czas przebiegu określa się uprzednio za pomocą bloków 20 i 21, przyjmując, na przykład że badania będą obejmować N lat z całego życia sprzętu lub że śledzeniu będą poddawane stany do wystąpienia m -go uszkodzenia.

Taki warunek nie może jednak zastąpić obliczania błędu. Jeżeli przy tym p oznacza prawdopodobieństwo badanego zdarzenia A (A może oznaczać czas oczekiwania, niezawodność, czas między uszkodzeniami), a γ_n jego częstość względną po n -tym cyklu, wówczas zostaje spełniona zależność

$$P\left(\left|p - \gamma_n\right| < \lambda \sqrt{\frac{\gamma_n(1-\gamma_n)}{n}}\right) \approx 2\phi(\lambda) - 1,$$

w której $\phi(\lambda)$ jest funkcją rozkładu normalnego z parametrami $(0,1)$, ponieważ rozkład A jest rozkładem dwumianowym o pewnym parametrze p .

3. UWAGI KOŃCOWE

Wyżej omówiona metoda umożliwia w sposób przybliżony określenie liczbowe niezawodności sprzętu telefonicznych linii magistralnych wyposażonych w stacje wzmacniakowe

niekontrolowane, jeżeli stacje są tego samego typu, jeżeli znana jest statystyka uszkodzeń oraz jeżeli są znane system i statystyka napraw.

Obecnie, w czasie napisania powyższego referatu, konkretny program obliczeń jeszcze nie jest gotowy, a obliczenia zostaną wykonane w najbliższej przyszłości.

Do skutecznego zastosowania przyjętej metody zamierzone jest wykonanie następujących zadań:

1. Zebranie i opracowanie danych odnośnie urzędców już pracujących.
2. Opracowanie programu dla omówioncj wyżej metody oraz przeprowadzenie obliczeń.
3. Przeprowadzenie oceny tych obliczeń oraz określenie z nich optymalnego systemu remontu.

P-16

Ministerstwo Łączności — Prace Instytutu Łączności

BŁĘDY DOSTRZEŻONE W DRUKU

Str.	Wiersz	Jest	Powinno być
21	3 od dołu	dz ie	gdzie
21	4 " "	$= \frac{\sum_i (x_i - x)}{\sqrt{\sum_i (x_i - x)^2}}$	$= \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}}$
22	15 od dołu	$x = \frac{1}{15}$	$\bar{x} = \frac{1}{15}$
24	4 od góry	[3. str. 3 385],	[3, str. 385],
36	2 od dołu	(o współrzędnych $x =$	(o współrzędnych $\bar{x} =$

