PLANIRANJE REZERVNIH DELOVA ZA ODRŽAVANJE RAČUNARSKIH SISTEMA

Prikazan je postupak za predviđanje broja i vrste potrebnih rezervnih delova, kao i očekivanog vremena zastoja računarskog sistema u planskom periodu na osnovu podataka o kvarovima sistema koji su se otklanjali zamenom otkazalih delova u prethodnom periodu.

Formiran je matematički model za izbor broja, vrste i vremena nabavke rezervnih delova prema odabranom kriterijumu, koji može biti: ograničenje trajanja zastoja sistema, dovoljan broj rezervnih delova sa zadatom verovatnoćom, minimizacija troškova za rezervne delove i troškove zastoja. Planiranje broja i vrste delova za godišnje održavanje, prema predloženim kriterijumima, prikazano je na primeru računarskog sistema CYBER 170/720.

Uvod

Za održavanje računarskih sistema u eksploataciji potrebno je planirati nabavke nekih rezervnih delova već na početku perioda održavanja kako bi se smanjili troškovi zastoja i ukupni troškovi eksploatacije sistema u planskom periodu. Da li je opravdana prethodna nabavka pojedinih delova, kojih delova i u kojim količinama — zavisi od više činilaca, kao što su pokazatelji pouzdanosti sklopova i elemenata, cene delova, logističko vreme za nabavku delova, troškovi zastoja, i dr. U ovom radu formira se matematički model koji omogućava najpovoljniji izbor broja, vrste i vremena nabavke rezervnih delova prema izabranom kriterijumu. Na osnovu predloženog modela može se izvesti uporedna analiza različitih planova nabavke rezervnih delova.

Polazni podaci

Rezervni delovi mogu se planirati na bazi poznatih podataka o onim otkazima sastavnih delova praćenog sistema u prethodnom periodu eksploatacije, koji su doveli do prekida rada sistema i koji su se otklanjali zamenom neispravnih delova ispravnim.

Pomenuti potrebni podaci iz prethodne eksploatacije su:

— intenzitet onih otkaza sastavnog dela sistema koji se otklanjaju zamenom neispravnog dela ispravnim (intenzitet zamene delova);

— ukupni broj otkaza sastavnih delova u planskom periodu T ;

— ukupni broj otkaza istih i različitih sastavnih delova u periodu T ;

— ukupni broj zamenjenih delova, broj vrsta zamenjenih delova, nazivi, šifre i cene po komadu svih vrsta zamenjenih delova;

— pripadnost zamenjenih delova po vrsti i broju određenom sastavnom delu sistema, kao i bloku i sklopu tog sastavnog dela sistema;

— trajanje zastoja zbog otkaza delova svakog sastavnog dela sistema u periodu T ili operativna raspoloživost sastavnih delova analiziranog sistema;

— troškovi sata rada analiziranog sistema;

— srednje trajanje aktivne popravke — zamene delova;

— srednje trajanje čekanja na rezervni deo svake vrste, tj. period dobavljanje delova koji nisu na raspolaganju (srednje logističko vreme);

— trajanje zastoja u periodu T , sastavnih delova i sistema, zbog otkaza koji se otklanjaju zamenom delova.

Navedeni podaci mogu se imati ako je organizovano praćenje i sakupljanje podataka o događajima u jednom sistemu u toku njegove eksploatacije, na primer, kao u [1].

Pri registrovanju otkaza — prekida rada sistema, treba voditi računa da ne zahtevaju svi otkazi rezervne delove za popravku. Otkazi mogu biti:

— tranzijentne smetnje i intermitentne greške (prouzrokovani prekid otkalanjaju se pomoću sistemskog softvera);

— otkazi koji se otklanjaju podešavanjem;

— permanentni otkazi koji se otklanjaju zamenom delova. Za potrebe planiranja rezervnih delova koriste se samo podaci o permanentnim otkazima.

Poznavanjem navedenih podataka, svaki sastavni deo razmatranog sistema koji je otkazivao u prethodnom periodu predstavlja se rednom vezom onih vrsta delova koje su otkazivale. Za takvu šemu veze može se izračunati:

— trajanje zastoja sastavnog dela sistema u periodu T , izazvano otkazom svakog od članova redne veze različitih delova, ako je na raspolaganju određen broj rezervnih delova različitih vrsta;

— minimalni troškovi nabavke rezervnih delova na početku planskog perioda i troškovi zastoja sastavnog dela sistema čije trajanje zavisi od broja delova na raspolaganju, u raznim kombinacijama zadatih tehničkih ili finansijskih uslova eksploatacije sistema.

Troškovi u planskom periodu obično se svode na kraj perioda. Troškovi nastali na početku nekog perioda, svedeni na kraj tog perioda, izračunavaju se prema obrascu [2].

$$C = C_0 \cdot (1 + \Theta)^T \quad (1)$$

gde su:

T — posmatrani period vremena;

C_0 — troškovi načinjeni na početku perioda T ;

Θ — kamata na kraju jednakih intervala vremena na koje je podeljen period T

Za troškove nastale u toku posmatranog perioda T , može se smatrati da su nastali na sredini. Pomenuti troškovi, svedeni na kraj posmatranog perioda, dobijaju se prema izrazu:

$$C = C_{1/2} \cdot (1 + \Theta)^{\frac{T}{2}} \quad (2)$$

gde su $C_{1/2}$ — troškovi na sredini posmatranog perioda T .

Metoda

Za predviđenje broja rezervnih delova za održavanje jednog sistema u eksploataciji na osnovu zahtevanog ukupnog vremena zastoja tog sistema, zbog otkaza u periodu planiranja, korišćenja je metoda izložena u [3]. Metoda je primenjena na podsisteme, sastavne delove složenog sistema, čiji zastoj zbog otkaza izaziva zastoj celog sistema. U podsistemima su razmatrani samo oni otkazi delova koji su doveli do prekida rada podsistema, odnosno celog složenog sistema. Za potrebe ove analize, složeni sistem je predstavljen rednom vezom svojih sastavnih delova — podsistema, koji se, opet, sastoje samo od onih vrsta delova vezanih na red, koji su otkazali u prethodnom periodu praćenja eksploatacije. Na osnovu ponašanja u prošlosti, pretpostavlja se da će se sastavni delovi složenog sistema slično ponašati i u budućnosti.

Ukupno trajanje zastoja sistema u periodu eksploatacije T , zbog otkaza — zamene delova određene vrste, izračunava se pomoću izraza:

$$\tau = \sum_{k=1}^s p(k) \cdot k \cdot t + \sum_{k=s+1}^{\infty} p(k) \cdot (k-s) \cdot t_{lg} \quad (3)$$

gde je:

s — broj rezervnih delova na raspolaganju;

$p(k)$ — verovatnoća nastupanja k otkaza u periodu vremena T ;

t — vreme aktivne popravke ako se raspolaže rezervnim delom. Srednje trajanje jedne aktivne popravke može se usvojiti, bilo jedinstveno za sve sastavne delove analiziranog sistema, bilo prema vrsti sastavnih delova (elektronski, elektromehanički);

t_{lg} — logističko vreme čekanja na deo, radi popravke-zamene, kada se ne raspolaže rezervnim delom. Trajanje logističkog vremena za jednu popravku zavisi od koncepcije održavanja i eksploatacije računarskog, ili drugog sistema. Ono je, sa jedne strane, ograničeno udaljenošću izvora rezervnih delova i maksimalnom dozvoljenom neraspoloživosti sistema, a sa druge strane ograničeno troškovima nabavke unapred izvesnog broja delova i troškovima eventualne hitne nabavke delova kritičnih po rad sistema. Ako se ne raspolaže podacima o logističkim vremenima za sve vrste rezervnih delova, čini se logičnim da se usvoji srednje logističko vreme istog trajanja, za sve sastavne delove jednog sistema koji se nalaze u rednoj vezi;

$\sum_{k=1}^s p(k) \cdot k \cdot t$ — očekivano trajanje zastoja sistema u periodu T , kod $k \leq s$ otkaza sa zamenom delova, ako se raspolaže sa s rezervnih delova;

$\sum_{k=s+1}^{\infty} p(k) \cdot (k-s) \cdot t_{lg}$ — očekivano trajanje zastoja sistema u periodu T , kod $k > s$ otkaza koji zahtevaju zamenu delova, kada se ne raspolaže rezervnim delovima posmatrane vrste.

Verovatnoća $p(k)$ podleže Poasonovoj raspodeli i

$$p(k) = e^{-n\lambda T} \cdot \frac{(n\lambda T)^k}{k!}$$

gde je:

n — broj elemenata određene vrste;

λ — intenzitet permanentnog otkaza jednog elementa.

Isti delovi mogu se nalaziti u više sistema koji čine složeni sistem. Tada se u analizama za planiranje delova, na izloženi način, ista vrsta rezervnih delova ne predviđa za svaki pojedinačni sistem. u sastavu složenijeg sistema. Ekonomičniji rezultat, tj. manji ukupni broj rezervnih delova za održavanje, dobija se ako se ista vrsta rezervnih delova planira za celi složeni sistem.

Očekivano trajanje zastoja u periodu T jednog od N identičnih i nezavisnih sistema, u zavisnosti od zajedničkog broja rezervnih delova, računa se pomoću izraza

$$\tau_1 = \frac{1}{N} \cdot \left[\sum_{k=1}^s p(k) \cdot k \cdot t + \sum_{k=s+1}^{\infty} p(k) \cdot (k-s) \cdot t_{lg} \right] \quad (4)$$

gde je

$$p(k) = e^{-Nn\lambda T} \cdot \frac{(Nn\lambda T)^k}{k!}$$

Planiranje rezervnih delova za godišnje održavanje sistema

Podaci i kriterijumi

Za primer je poslužio složeni računarski sistem CYBER 170/720 u daljem tekstu SISTEM.

U ovoj analizi računaju se očekivani godišnji zastoji onih sastavnih delova SISTEMA, za koje su postojali podaci o utrošenim delovima iz praćenog perioda eksploatacije od 4,5 godina a to su sistemi centralnog procesora — CPU, mrežnog procesora — NPU, za upravljanje diskovima — DSS, za upravljanje jedinicama magnetnih traka — MTSS i za upravljanje štampačem delova — LP.

Model za planiranje rezervnih delova sistema CPU, NPU, DSS, MISS i

LP u periodu T, čini redna veza onih njihovih sastavnih delova koji su otkazivali i bili zamenjivani određenim intenzitetima zamene u pomenutom periodu ranije eksploatacije. Poznati su podaci o broju zamenjenih delova po vrstama, kao i podaci o identifikaciji i cenama delova. Pretpostavilo se da će i otkazivati isti sastavni delovi pomenutih sistema.

Očekivano ukupno trajanje zastoja u periodu T, izazvano otkazima pojedinih vrsta sastavnih delova sistema CPU, ..., LP, ako se raspolaže određenim brojem odgovarajućih rezervnih delova, izračunava se pomoću izraza (3) i (4). Vrednosti karakterističnih pokazatelja za svaki od pomenutih sistema navedene su u tabeli 1.

8760 h, odnosno 1 dan traje 24 h. Za MTSS i LP koji rade kraće, jedna godina traje 313,46 h i 2000 h, odnosno 1 dan traje 2 h i 8 h. Za delove svih sistema usvojeno je da logističko vreme traje 5 dana, izuzev za delove sistema MTSS kod kojih traje 9 dana

Ukupni broj rezervnih delova koje treba nabaviti na početku planskog perioda T za svaki sastavni deo sistema CPU, NPU, ..., LP, planira se prema unapred usvojenim kriterijumima. Ti kriterijumi mogu biti:

— ograničavanje očekivanog ukupnog zastoja sistema na vrednost koja nije veća od poznatog prosečnog godišnjeg zastoja tog sistema u prethodnoj eksploataciji $\tau \leq t_z$ (t_z , tabela 1), pri naj-

Tabela 1

Pokazatelj	CPU	NPU	DES	MTSS (MT)	LP
λ_z [1/h]	0,00010353	0,00010592	0,00094272	0,001935183 (0,010392105)	0,002210096
t_{lg} [h]	120	120	120	18	40
t [h]	0,5	0,2	1,4	1,8	1,6
t_z [h]	20,275	49,387	137,929	2,135	18
T [h]	8760	8760	8760	313,46	2000

Oznake u tabeli 1:

λ_z — intenzitet kvarova sa zamenom delova u periodu T;

t_{lg} — srednje logističko vreme;

t — srednje vreme aktivne popravke;

t_z — ukupni godišnji zastoj zbog zamene delova;

T — period planiranja.

Pored pokazatelja λ_z za MTSS, u zagradi je navedena vrednost λ_z za jednu jedinicu magnetne trake MT. Pokazatelji iz tabele 1 obrazloženi su u [4,5].

Period planiranja T traje 1 godinu. Prema tabeli 1, jedna godina za CPU, NPU i DSS, koji rade neprekidno, traje

manjim troškovima. Najmanji troškovi ostvaruju se uzimanjem rezervnog dela niže cene, ako je moguć izbor između više delova razilčite vrste, a istog intenziteta otkaza;

— najmanji zbir troškova nabavke određenog broja rezervnih delova unapred (C_{del}) troškova zastoja sistema zbog čekanja na nabavku dela potrebnog za otklanjanje otkaza ($C_{rač}$), ovde nazvan troškovima planiranja (C_{pl}), dakle, $C_{pl} = C_{del} + C_{rač}$.

— broj s_i rezervnih delova vrste i treba da bude dovoljan, sa zadatom verovatnoćom g , da obezbedi potrebne zamene u planskom periodu T, odnosno:

$$\pi_i = \sum_{k=0}^{s_i} p_i(k) \geq g$$

gde je $p_i(k)$ verovatnoća nastupanja k otkaza vrste i u periodu T , a π_i verovatnoća da broj otkaza elementa i neće biti veći od s_i .

Rezervni delovi za jedan karakteristični sastavni deo

Jedan od složenijih primera planiranja rezervnih delova je sistem MTSS, sastavni deo SISTEMA. Sistem MTSS čine upravljač i dve jedinice magnetne trake MT međusobno vezane paralelno. Sistem MTSS može da obavlja funkciju kada su, pored upravljača, ispravne ili obe jedinice MT ili jedna jedinica MT. Kako je otkazivanje upravljača bilo zanemarljivo u praćenom periodu eksploatacije, za potrebe planiranja rezervnih delova, MTSS se svodi na sistem MTp — paralelnu vezu dve jedinice MT. Pošto intenzitet zamene delova sistema MTp nije konstantna veličina, MTp ne može da se analizira kao celina, za razliku od drugih sastavnih delova SISTEMA. Ovde se analiziraju dve nezavisne, identične jedinice MT, koje otkazuju sa konstantnim intenzitetom u intervalu T . Svaka od dve jedinice predstavlja se rednom vezom sastavnih delova, 10 vrsta, čiji su otkazi u prethodnom, praćenom periodu eksploatacije doveli do prekida rada jedne jedinice MT (slika 1). Obrazac (4) ovde se primenjuje za izračunavanje očekivanog trajanja ukupnog zastoja u funkciji broja rezervnih delova svake od pomenutih 10 vrsta delova.

Sl. 1 — Model planiranja delova MT

$$(n_1 = \dots = n_{10} = 1, N = 2, \lambda_1 = 0,346 \cdot \lambda_z, \lambda_2 = \lambda_5 = 0,077 \cdot \lambda_z, \lambda_3 = \lambda_9 = 0,154 \cdot \lambda_z, \lambda_4 = \lambda_6 = \lambda_7 = \lambda_8 = \lambda_{10} = 0,0385 \cdot \lambda_z).$$

Rezultat izlaganja otkazivanju 10 vrsta sastavnih delova u dve jedinice

MT ($N=2$) prikazan je u tabeli 2. Tu je τ_{1i} godišnji zastoj jedinice zbog otkaza-zamene dela i u periodu godišnjeg rada $T=313,46$ h, a ukupni godišnji prekid jedinice MT u istom periodu iznosi:

$$\tau_1 \approx \sum_{i=1}^{10} \tau_{1i}.$$

Period rada i otkazivanja MTp (313,46 h) deo je perioda rada SISTEMA (8760 h). Trajanje prekida rada SISTEMA zbog otkaza MTp sa zamenom dela i izračunava se pomoću (4) na opisan način. U periodu posmatranja SISTEMA (8760 h) intenzitet otkaza sa zamenom delova jedne jedinice MT iznosi $\lambda_s = p \cdot \lambda_z$, gde je $p = \frac{313,46}{8760}$ ve-

rovatnoća da će jedinica MT biti zahtevana u periodu rada SISTEMA. U periodu $T=8760$ h, logističko vreme je $t_{lg}=216$ h. Uvrštavanjem navedenih parametara u obrazac (4), dobija se godišnji zastoj zbog otkaza-zamene dela i jedinice MT u periodu rada SISTEMA (8760 h) — τ_{1si} (tabela 2), a ukupni godišnji zastoj jedinice u istom periodu iznosi

$$\tau_{1s} \approx \sum_{i=1}^{20} \tau_{1si}.$$

Zastoj dve jedinice MT u paralelnoj vezi (MTp) dobija se pomoću izraza

$$U_p = U_1 \cdot U_1 = U_1^2,$$

gde je U_1 — neraspoloživost jedne jedinice MT a U_p — neraspoloživost MTp.

$$\text{Kako je } U_1 = \frac{\tau_1}{T} \text{ a } U_p = \frac{\tau}{T}, \text{ tra-$$

janje zastoja MTp u periodu T iznosi

$$\tau = \frac{\tau_1^2}{T}$$

Trajanje zastoja τ odnosi se na period godišnjeg rada MTp (313,46 h). Na isti način izračunava se trajanje zastoja MTp u periodu godišnjeg rada SISTEMA, τ_{MTS} koje izaziva prekid rada SISTEMA.

Tabela 2

Vrsta dela, i	s_i	π_i	$\tau_{i i}$ [h]	$\tau_{i s i}$ [h]
1	0	0,105997	20,032	240,386
	1	0,343890	12,220	144,289
	2	0,610848	6,816	74,151
	3	0,809998	3,873	32,902
	4	0,922056	2,591	13,088
	5	0,972355	2,141	5,080
	6	0,991170	2,019	2,498
	7	0,997202	2,003	1,884
2,5	0	0,607293	4,488	53,771
	1	0,910177	1,226	11,924
	2	0,985708	0,554	2,103
	3	0,998265	0,459	0,612
	4	0,999831	0,449	0,448
3,8	0	0,368805	8,972	107,666
	1	0,736683	3,632	39,836
	2	0,920160	1,584	11,742
	3	0,981165	1,031	3,288
	4	0,996378	0,917	1,318
	5	0,999413	0,899	0,949
	6	0,999918	0,897	0,897
4,6,7,9,10	0	0,779290	2,244	26,930
	1	0,973623	0,433	3,268
	2	0,997854	0,239	0,463
	3	0,999868	0,225	0,238
	4	0,999994	0,224	0,238

Tabela 3 prikazuje trajanje zastoja MTp, τ , u periodu jednogodišnjeg rada (313,46 h), kao i trajanje zastoja

MTp u periodu rada SISTEMA (8760 h), τ_{MTS} , koje predstavlja i trajanje zastoja SISTEMA u zavisnosti od broja i vrste delova na raspolaganju. U njoj su navedeni troškovi nabavke tih delova unapred (C_{del}), troškovi zastoja SISTEMA za broj i vrstu delova na raspolaganju ($C_{rač}$) i zbir ovih troškova (C_{pl}), uzet kao jedan od kriterijuma za planiranje. Prema kriterijumu ograničenja trajanja godišnjeg zastoja za SISTEM zbog prekida rada MTp, kao u tabeli 1 ($t_z = 2,135$ h), zadovoljavaju varijante planova 4—7. Među njima je finansijski najpovoljnija varijanta 5, sa 11 rezervnih delova, i to: $s_1=3$, $s_3=s_8=2$, $s_2=s_5=s_9=s_{10}=1$, $s_4=s_6=s_7=0$. Varijanta 7 jedina zadovoljava kriterijum dovoljnog broja rezervnih delova za pokrivanje svih otkaza sa verovatnoćom $\pi_i > 0,9$, ali je najskuplja.

Predlog broja i vrste rezervnih delova za SISTEM

Za sisteme CPU, NPU, DSS i LP, uvažavajući predložene kriterijume, izračunati su rezervni delovi za godišnje održavanje, primenom opisane metode i postupka ilustrovanog na primeru sistema MTSS. Tako se došlo do ukupnog broja, po vrstama, rezervnih delova za godišnje održavanje SISTEMA. Detaljni proračuni izvedeni su u [6].

Delovi za svaki od 5 sistema, CPU, ..., LP, međusobno su različiti.

Tabela 3

Redni broj	Broj delova vrste i $s_1 s_2 s_3 s_4 s_5 s_6 s_7 s_8 s_9 s_{10}$										$\sum_{i=1}^{10} c_i$	τ [h]	τ_{MTS} [h]	$C_{rač}$ [\$]	C_{del} [\$]	C_{pl} [\$]
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,800	55,602	1390,05	0	1390,05
2	2	0	1	0	0	0	0	1	0	0	4	3,748	17,903	447,57	4552	4999,57
3	2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	6	2,957	11,352	283,80	4755	5038,80
4	3	1	2	0	1	0	0	2	0	0	9	1,369	5,271	131,77	7109	7420,77
5	3	1	2	0	1	0	0	2	1	1	11	0,932	3,205	80,12	7289	7369,12
6	3	1	2	1	1	1	1	2	1	1	14	0,434	1,065	26,62	8121	8147,62
7	4	1	2	1	1	1	1	2	1	1	15	0,343	0,673	16,82	10319	10335,82

Preporučena varijanta planiranja rezervnih delova za jednogodišnje održavanje SISTEMA prikazana je u tabeli 4. Uočava se da, ako se unapred planira iabavka 47 delova 30 međusobno različitih vrsta, očekivano godišnje trajanje prekida rada SISTEMA zbog otkaza i zamena delova iznosi 215,503 h. Radi poređenja, navodi se podatak da

da se rezervni delovi globalno planiraju, prema preporuci proizvođača. To smanjenje bi u ovom primeru iznosilo 15%.

Ukupni godišnji troškovi za pojedine podsisteme, koji obuhvataju troškove iz tabele 4, u odnosu na godišnje troškove SISTEMA, prikazani su na slici 2.

Tabela 4

Sistem	Broj rezervnih delova vrste i , i različito za pojedine sisteme											Σs_i	τ [h]	C _{rač} [\$]	C _{del} [\$]
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9	s_{10}	s_{11}				
CPU	1	1	2									4	7,467	186,69	773
NPU	1	1	1	0								3	36,924	923,09	2632
DSS	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	6	19	105,89	2647,20	28363
MTSS	3	1	2	0	1	0	0	2	1	1		11	3,205	80,12	7289
LP	1	1	1	5	0	1						10	62,017	1550,12	318
Ukupno	35 vrsta delova otkazivalo, 30 vrsta delova se nabavlja											47	215,503	5387,22	39375

je u periodu praćenja eksploatacije SISTEMA od 4,5 godine, ukupni prekid zbog kvara delova prosečno iznosio 262 h/god.

Zaključak

Na osnovu podataka o otkazima sistema koji su se otklanjali zamenom otkazalih delova u proteklom periodu, uz pomoć metode [3] može se predvideti broj i vrsta potrebnih rezervnih delova, kao i očekivano trajanje zastoja sistema u planskom periodu. Troškovi nabavke i čuvanja rezervnih delova i troškovi zastoja sistema, u zavisnosti od broja raspoloživih delova, mogu se izračunati i optimizirati za zadate tehničke i ekonomske uslove eksploatacije, kao što su ograničeno trajanje zastoja sistema, najmanji troškovi, dovoljan broj rezervnih delova sa zadatom verovatnoćom, što je prikazano na primeru računarskog sistema.

Sl. 2 — Raspodela troškova sistema

Ukupni troškovi nabavke preporučenog broja i vrste rezervnih delova iznose 39 375 \$. Ovakva optimizacija dovela bi do smanjenja godišnjih troškova materijala za održavanje razmatranih 5 sistema u odnosu na troškove ka-

Prikazani modeli i postupci za planiranje rezervnih delova mogu se primeniti na različite računarske sisteme i mreže, kao i na druge vojne i civilne tehničke sisteme čija se eksploatacija prati.

Literatura:

- [1] Obrovački, R.: Prilog podataka o otkazima u eksploataciji koje treba sakupljati i načini sakupljanja, VTI, 1991.
- [2] Sepulveda, J. A, Souder, W. E, Gottfried, B. S: Engineering Economics, Mc Graw Hill, New York, 1984.
- [3] Obrovački, R: Metoda za izračunavanje broja rezervnih delova potrebnih za održavanje uređaja zahtevane operativne raspoloživosti, NTP, vol XL, 1990, br. 10, 47—52.
- [4] Obrovački, R: Analiza pouzdanosti računarskog sistema Sajber 170/720 na osnovu podataka iz eksploatacije, elaborat, VII, 1991, 69 str.
- [5] Obrovački, R: Analiza raspoloživosti računarskog sistema Sajber 170/720 na osnovu podataka iz eksploatacije, elaborat, VII, 1992, 101 str.
- [6] Obrovački, R: Analiza troškova održavanja i zastoja računarskog sistema u eksploataciji, elaborat, VII, 1993, 50 str.