Polazne osnove za matematičku formalizaciju sistema snabdevanja modularno građenih tehničkih sredstava rezervnim delovima u sistemu održavanja sa više nivoa

Mr Dušan Korolija,
kapetan I klase, dipl. inž.

Uvod

Radi poboljšanja pogodnosti za održavanje tehničkih sredstava, danas se sve više primenjuje modularna konstrukcija tih sredstava. Sredstvo takve konstrukcije popravljaju se zamenom viših modularnih celina i to, zbog relativno jednostavnog otkrivanja takvih neispravnih celina, na nižim nivoima održavanja. Zamenjene modularne celine popravljaju se na višim nivoima održavanja. Ovakav način korektivnog održavanja bitno poboljšava operativnu gotovost tehničkog sredstva, jer je održavanje bliže korisniku.

Sistem snabdevanja rezervnim delovima treba da obezbedi optimalan asortiman, količine i raspored rezervnih delova po nivoima održavanja, da bi se postigla maksimalna operativna gotovost tehničkih sredstava uz istovremeno minimalne troškove za rezervne delove. Problem proračuna optimalnih količina rezervnih delova za korektivno održavanje modularno građenih tehničkih sredstava relativno je složen. Kod ovakvih sredstava, pored rezervnih delova potrebnih za njihov popravak, popravljaju se i rezervni delovi potrebni za popravak popravljivih sastavnih delova tehničkog sredstva.

U ovom članku date su osnovne koncepcije sistema održavanja i sistema snabdevanja rezervnim delovima mo-

dularno građenih tehničkih sredstava, parametri sistema snabdevanja i kriteriji za ocenu tog sistema.

Korektivno održavanje modularno građenih tehničkih sredstava

Tehnologiju korektivnog održavanja tehničkog sredstva bitno određuju konstruktivno-tehnološka svojstva tog sredstva i to, pre svega, modularnost sredstva. Na slici 1 prikazana je konstrukcija savremenog modularno građenog tehničkog sredstva. Sastavni delovi tehničkog sredstva su više modularne celine (VMC), niže modularne celine (NMC) i elementi.

Modularno građeno tehničko sredstvo popravljaju se zamenom VMC i/ili NMC i/ili elemenata. Nakon zamene i potrebne kontrole i podešavanja parametara, tehničko sredstvo se vraća ispravno u eksploataciju. Zamenjeni nepopravljivi sastavni delovi se odbacuju, a popravljivi se popravljaju zamenom njihovih popravljivih ili nepopravljivih sastavnih delova. Najčešće su modularne celine (VMC i NMC) popravljivi, a elementi nepopravljivi sastavni delovi. Sve korektivne operacije na sredstvu i njegovim sastavnim delovima pogodno je grupisati u korektivne tehnološke programe održavanja [2].

Korektivno održavanje modularno građenog tehničkog sredstva i njegovih

sastavnih delova odvija se na više nivoa održavanja. Na svakom nivou izvođe se određeni korektivni programi. Za izvođenje tih programa svaki nivo održavanja je kadrovski obezbeđen i materijalno opremljen. Prvi nivo održavanja predstavlja održavanje koje se odvija na mestu upotrebe tehničkog sredstva, izvode ga neposredni korisnici tehničkog sredstva i na njemu se najčešće ne vrši popravak zamenjenih popravljivih sastavnih delova. Na višim nivoima održavanja popravljiva se tehničko sredstvo i njegovi popravljivi sastavni delovi. Najviši nivo održavanja je najstručniji nivo i na njemu se obično ne vrši popravak celog tehničkog sredstva, već samo njegovih sastavnih delova.

žavanja čuvaju se na tom nivou i na višim nivoima snabdevanja. Za nepopravljive rezervne delove najviši nivo čuvanja je najviši nivo sistema snabdevanja rezervnim delovima, a za popravljive rezervne delove onaj nivo snabdevanja na kojem se vrši popravak tih rezervnih delova.

U slučaju otkaza tehničkog sredstva, zavisno od vrste otkaza, sredstvo ide na određeni nivo održavanja gde se vrši njegova popravka zamenom popravljivog ili nepopravljivog sastavnog dela. Vremenski period od otkrivanja neispravnog dela do trenutka dopremanja ispravnog dela do sredstva predstavlja vreme obnavljanja sastavnog dela tehničkog sredstva.

Sl. 1 Konstrukcija modularno građenog tehničkog sredstva

Snabdevanje modularno građenih tehničkih sredstava rezervnim delovima

Potrebne rezervne delove za izvođenje korektivnog održavanja obezbeđuje sistem snabdevanja rezervnim delovima. Najefektivniji i najekonomičniji metod obezbeđenja potrebnih rezervnih delova je preko više nivoa snabdevanja, kojih ima koliko i nivoa održavanja i koji su ugrađeni u samu tehnološku strukturu održavanja. Rezervni delovi za potrebe jednog nivoa odr-

Neispravni nepopravljivi sastavni delovi tehničkog sredstva vanredno se obnavljaju u kompletu rezervnih delova, koji je na nivou na kojem se vrši popravak uređaja. Ako dela nema u tom kompletu, obnavljanje se vrši u kompletima na višim nivoima snabdevanja. Deo se sigurno obnavlja u kompletu na najvišem nivou snabdevanja. Taj nivo mora imati neiscrpne rezerve nepopravljivih rezervnih delova. Na slici 2. prikazana je alokacija ovih delova, koji se troše na drugom nivou održavanja, u sistemu održavanja sa četiri nivoa.

Neispravni popravljivi sastavni delovi tehničkog sredstva vanredno se obnavljaju u kompletu, koji je na nivou na kojem se vrši popravka tehničkog sredstva. Ako potrebnog dela nema u tom kompletu, obnavljanje se vrši u radionici na tom nivou, ako je ona nadležna za popravak tog dela. Ako nije, obnavljanje se vrši u kompletima na

Obnavljanje neispravnih nepopravljivih i popravljivih sastavnih delova, popravljivog sastavnog dela tehničkog sredstva, vrši se vanredno i redovno. Vanredno obnavljanje se obavlja u slučaju kada se popravka tog popravljivog dela vrši radi vanrednog obnavljanja sastavnog dela tehničkog sredstva. Redovno obnavljanje se obavlja ako se deo

Sl. 2 Alokacija nepopravljivih rezervnih delova

višim nivoima snabdevanja ili u radionicama na tim nivoima, ako su one nadležne za popravku dela. Deo se sigurno obnavlja u radionici nadležnoj za njegov popravak, koja se može posmatrati kao komplet neiscrpnih rezervi, tih delova. Na slici 3. prikazana je alokacija

popravlja radi obnavljanja rezervnog dela kompleta. Postupak obnavljanja ovih delova identičan je obnavljanju sastavnih delova tehničkog sredstva, samo što su vremena redovnog obnavljanja u principu duža od vremena vanrednog obnavljanja.

Sl. 3 Alokacija popravljivih rezervnih delova

popravljivih rezervnih delova koji se menjaju na II nivou održavanja, a popravljaju na III nivou održavanja.

Svi kompleti rezervnih delova u sistemu snabdevanja rezervnim delovima imaju konačne (iscrpne) zalihe rezerv-

nih delova, osim kompleta na najvišem nivou snabdevanja u kojem se nalaze neiscrpne zalihe nepopravljivih rezervnih delova. Optimizacija zaliha nepopravljivih rezervnih delova na najvišem nivou snabdevanja vrši se nezavisno od optimizacije zaliha rezervnih delova u ostalim kompletima. Izuzeti nepopravljivi rezervni delovi iz kompleta redovno se obnavljaju u jednom od skladišta na višim nivoima snabdevanja. Popravljivi rezervni delovi kompleta redovno se obnavljaju u radionici na nivou na kojem se nalazi komplet, ako je ta radionica nadležna za popravak zamenjenog neispravnog dela. Ako nije, obnavljanje dela vrši se u jednom od kompleta na višim nivoima snabdevanja ili u radionici koja je nadležna za popravak tog dela. Obnavljanje nepopravljivih i popravljivih rezervnih delova kompleta rezervnih delova može početi odmah po izuzimanju rezervnog dela ili nakon nekog određenog vremena. U vezi sa tim, definišu se dve vrste obnavljanja delova kompleta rezervnih delova:

- neprekidno obnavljanje,
- periodično obnavljanje.

Parametri sistema snabdevanja rezervnim delovima

Za matematičku formalizaciju sistema snabdevanja tehničkih sredstava rezervnim delovima neophodno je definisati parametre, koji definišu strukturu i politiku sistema i koji sa aspekta pouzdanosti opisuju posmatrana tehnička sredstva. Mnoštvo tih parametara može se svrstati u logističke, tehničke i ekonomske parametre.

Logistički parametri

K_{vj} — koeficijent eksploatacije sastavnog dela tehničkog sredstva.

T — vremenski period između dve redovne popune kompleta rezervnih delova,

$t(t')$ — srednje vreme redovne (vanredne) popune kompleta rezervnih delova,

R — broj kompleta rezervnih delova koji se oslanjaju na komplet na višem nivou snabdevanja,

$t_{jtr}(t'_{jtr})$ — srednje vreme transporta sastavnog dela od mesta zamene do radionice gde se popravlja, pri redovnoj (vanrednoj) popravci tog dela,

$t_{jaz}(t'_{jaz})$ — srednje vreme administrativnog zastoja sastavnog dela, pri redovnoj (vanrednoj) popravci tog dela,

$t_{jao}(t'_{jao})$ — srednje vreme aktivne popravke sastavnog dela, pri redovnoj (vanrednoj) popravci tog dela.

Tehnički parametri

K — ukupan broj vrsta sastavnih delova u jednom sredstvu,

m_j — broj sastavnih delova određene vrste u sredstvu,

$\lambda_{1j}(t)$ — intenzitet otkaza dela pod opterećenjem,

$\lambda_{2j}(t)$ — intenzitet otkaza dela kada je rasterećen,

$\lambda_{3j}(t)$ — intenzitet otkaza dela kada je u kompletu.

Ekonomske parametri

C_j — cena rezervnog dela,

C_{sj} — troškovi skladištenja rezervnog dela,

$C_{trj}(C'_{trj})$ — troškovi redovnog (vanrednog) transporta rezervnog dela,

C — raspoloživa novčana sredstva za formiranje svih kompleta rezervnih delova.

Kriteriji za ocenu sistema snabdevanja rezervnim delovima

Za ocenu sistema snabdevanja tehničkih sredstava rezervnim delovima pogodni su sledeći kriteriji:

- koeficijent snabdevenosti,
- srednje vreme zastoja tehničkog sredstva zbog nedostatka rezervnih delova,
- troškovi rezervnih delova.

Operativna gotovost, kao jedan od najvažnijih pokazatelja sistema održavanja tehničkih sredstava, data je izrazom:

$$A_o = \frac{t_{lod}}{t_{lod} + t_z} \quad (1)$$

gde je:

t_{lod} — srednje vreme između održavanja tehničkog sredstva,

t_z — srednje vreme zastoja tehničkog sredstva zbog održavanja.

Ovo vreme može se napisati kao izraz:

$$t_z = t'_z + t_p \quad (2)$$

gde je:

t'_z — srednje vreme zastoja tehničkog sredstva zbog održavanja, kada postoje neiscrpne količine rezervnih delova pri korektivnom održavanju celog sredstva.

t_p — srednje vreme zastoja tehničkog sredstva zbog nedostatka rezervnih delova. Ovo vreme određeno je takvim zastojima nastalim pri izvođenju svih korektivnih akcija na sredstvu i njegovim sastavnim delovima i zastojima tipa t'_z , koji nastaju pri korektivnim akcijama na sastavnim delovima tehničkog sredstva. Pomoću izraza (1) i (2) može se napisati izraz za operativnu gotovost:

$$A_o = \frac{t_{lod}}{t_{lod} + t'_z} \cdot \frac{t_{lod} + t'_z}{t_{lod} + t'_z + t_p} = A'_o K_{sn} \quad (3)$$

gde je:

A'_o — operativna raspoloživost tehničkog sredstva, kada pri korektivnom održavanju sredstva postoje neiscrpne količine rezervnih delova.

K_{sn} — koeficijent snabdevenosti tehničkog sredstva rezervnim delovima.

Iz izraza (3) vidi se da operativna gotovost tehničkog sredstva direktno zavisi od vremena zastoja tehničkog sredstva zbog nedostatka rezervnih delova, odnosno od koeficijenta snabdevenosti tehničkog sredstva rezervnim delovima. Zbog toga se ova dva parametra mogu uzeti za kriterije sistema snabdevanja rezervnim delovima. Koeficijent snabdevenosti je, pored vremena zastoja, zbog nedostatka rezervnih delova, funkcija srednjih vremena koja ne zavise od sistema snabdevanja rezervnim delovima. Stoga se srednje vreme zastoja tehničkog sredstva zbog nedostatka rezervnih delova najčešće koristi kao kriterij optimalnosti procesa snabdevanja.

Matematička formalizacija procesa snabdevanja rezervnim delovima treba dati zavisnost srednjeg vremena zastoja sredstva zbog nedostatka rezervnih delova od količina rezervnih delova, u svim kompletima rezervnih delova, i od svih datih parametara procesa snabdevanja. Ova formalizacija može biti veoma složena, posebno za tehnička sredstva sa sastavnim delovima koji nemaju eksponencijalnu raspodelu otkaza. Srednje vreme zastoja sredstva zbog nedostatka rezervnih delova određeno je zastojem tehničkog sredstva i svakog njegovog popravljivog sastavnog dela, zbog nedostatka rezervnih delova, na svakom nivou na kojem se vrši njihovo održavanje. Opšti izraz za srednje vreme zastoja tehničkog sredstva zbog nedostatka rezervnih delova je:

$$t_p = \sum_{i=1}^N q_i t_{pi} \quad (4)$$

gde je:

q_i — verovatnoća opravke tehničkog sredstva na i -tom nivou održavanja.

t_{pi} — srednje vreme zastoja sredstva zbog nedostatka rezervnih delova na i -tom nivou održavanja.

N — broj nivoa održavanja na kojima se popravljaju tehničko sredstvo.

Zaključak

U članku su date polazne osnove za matematičku formalizaciju procesa snabdevanja modularno građenih tehničkih sredstava rezervnim delovima. Formalizacijom treba da bude obuhvaćen kompletni logistički proces snabdevanja rezervnim delovima tehničkog sredstva i svih njegovih sastavnih delova, u sistemu održavanja sa više nivoa. Pomoću izrađenog modela i određene metode programiranja mogu se

izraditi programi za proračun optimalnih zaliha rezervnih delova. Program treba da daje optimalne zalihe rezervnih delova za različite alternative održavanja (raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja). Na taj način bi se došlo do podataka o troškovima rezervnih delova i vremena zastoja usled snabdevanja rezervnim delovima za svaku alternativu. Ovi podaci su značajni za optimizaciju sistema održavanja modularno građenih tehničkih sredstava.

Literatura:

- [1] Kuljbak L. I.: Osnovi rasčeta obezbeđenja elektronnoj aparaturi zapasnim elementami, Sovetskoe radio, Moskva, 1970.
- [2] Barković M., Petrović J.: Koncept tehnologije održavanja tehničkih sistema. Brioni, Zbornik radova SYMOPIS '88. 1988.
- [3] Korolija D.: Model snabdevanja modularno građenih elektroničkih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [4] Korolija D.: Snabdevanje modularno građenih tehničkih sredstava, rezervnim delovima, Brioni, Zbornik radova SYMOPIS '88, 1988.
- [5] Blanchard B.: Logistics engineering and management, New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1986.