

## DETERMINISTIČKI I HEURISTIČKI MODEL ZA PROGNOZU POTRAŽNJE REZERVNIH DELOVA

Milojević S. *Ivan*, Guberinić V. *Rade*,  
Vojska Srbije, Garda, Beograd

DOI: 10.2298/vojtehg1202235M

OBLAST: matematika  
VRSTA ČLANKA: stručni članak

### Sažetak:

*U radu su prikazani modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova. Modeli i metode koji su dati izabrani su po kriterijumima: da mogu biti primenjeni, prema nameni prognoze potražnje rezervnih delova i da se ne nalaze u osnovnoj udžbeničkoj literaturi. Da bi se mogli izdvojiti, doraditi i razviti novi modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova nužno je sagledati sve ono što na potražnju na neki način utiče. Izdvojeni su faktori koji utiču na potražnju rezervnih delova i na prognozu potražnje. Danas može biti primenjen deterministički i heuristički model.*

*Ključne reči: potražnja rezervnih delova, model prognoze, vremenske serije, krive rasta, upravljanje potražnjom.*

### Uvod

Obezbeđenje rezervnih delova sistemu održavanja, po asortimanu, po količini, vremenu i mestu je presudno za uspešnost funkcionisanja sistema održavanja i, u krajnjem, za ispravnost materijalnih sredstava. S druge strane, zalihe rezervnih delova predstavljaju trošak, te se traži da budu što manje. Na taj način traži se minimizacija troškova uz obezbeđenje uspešnog funkcionisanja sistema održavanja.

Poznavanje potražnje rezervnih delova predstavlja osnov za uspešno upravljanje zalihama rezervnih delova. Upravljanje zalihama ima dva značenje, jedno je operativno upravljanje, odnosno upravljanje po odre-

đenim modelima i donošenje odluka u konkretnim situacijama, koje ili nisu mogle biti predviđene ili ih modeli ne obuhvataju. Drugo značenje je optimizacija parametara modela metodama upravljanja zalihama.

I u jednom i u drugom slučaju osnovni ulazni podatak je slika potražnje rezervnih delova. Najbolji modeli i metode ne mogu pomoći ako su ulazni parametri pogrešni. Poznavanje ulaznih parametara omogućava izbor najprimenijih modela i metoda upravljanja zalihama za primenu, ali omogućava da i primitivniji modeli i metode daju zadovoljavajuće rezultate. Kako prognozirati potražnju stalno je pitanje, a kada se ona ne zna i ne može prognozirati skoro je nemoguće da se zadovolji odgovarajućim stepenom uspešnosti.

Suština problema u konkretnom slučaju jeste da postoji nestašica rezervnih delova, dok istovremeno u priručnom skladištu postoje mnogobrojni rezervni delovi za kojima nema potražnje i više godina unazad, a za koje je utrošen novac za nabavku, što znači da postoji disproporcija stanja zaliha  $r/d$  i potreba.

Osnovni problemi u sistemu snabdevanja rezervnim delovima, koji su u suštini međusobno oprečni, jesu [1, 2]:

- koji je to asortiman rezervnih delova, neophodnih za uspešno funkcionisanje sistema održavanja, i kako ga odrediti;
- koliko rezervnih delova po količini i asortimanu je potrebno obezbediti da bi sistem održavanja sa zadovoljavajućom verovatnoćom bio podržan;
- kako smanjiti troškove rezervisanja rezervnih delova. Povećanjem asortimana i količine rezervnih delova raste i verovatnoća zadovoljenja potreba, ali će u tom slučaju rasti i troškovi.

Formiranje zaliha neke vrste sredstava uslovljavaju sledeći faktori:

1. diskretnost isporuka (od vremena do vremena) pri neprekidnim zahtevima potrošača,
2. slučajna kolebanja:
  - potražnja u periodu između isporuka,
  - obim i isporuka (na primer, u zavisnosti od raspoloživih količina na višem nivou),
  - dužina intervala između isporuka,
  - kompenziranje nepovoljnih situacija,
3. sezonska potražnja:
  - sezonska proizvodnja,
  - neočekivano povećanje cene,
  - ograničenje isporuka isporučioaca, naročito za sredstva iz uvoza.

Navedeni faktori, delujući pojedinačno ili kombinovano, u različitim odnosima utiču na to da potrošač stalno teži povećanju zaliha. Nasuprot njima, deluju ekonomski razlozi za držanjem minimalnih zaliha. To su:

- novčani izdaci za fizičko čuvanje, kontrolu i održavanje zaliha;
- izgubljeni dohodak zbog umrtvljenih novčanih sredstava u zalihama. Uložena novčana sredstva u zalihama praktično su umrtvljena, jer se ne obrću i ne obezbeđuju višak vrednosti ili određene kamate, a to za imaoca zaliha znači ekonomske gubitke;

- gubici u količini zaliha (isparavanje, starenje, razlaganje i sl.) i pouzdanosti (pogoršavanje upotrebnih svojstava usled neodgovarajućih uslova u toku čuvanja);
- tehnološko zastarevanje uslovljeno smanjenom potražnjom i razvojem novih sistema.

Jasno je da se ovde nalazimo pred dve grupe međusobno oprečnih parametara koji će, s jedne strane, uticati na povećanje, a sa druge, na smanjenje zaliha. Problem je kako naći optimalni odnos između ta dva krajnja stanja i kako organizovati optimalan sistem snabdevanja koji će zadovoljiti postavljene zahteve.

Pojednostavljeno gledano, potrebno je naći odgovor na sledeća pitanja:

- Kada treba ispostaviti narudžbu (trebovanje) za obnavljanje zaliha?
- Kolika treba da bude narudžba, odnosno koliko sredstava treba naručiti?
- Koliki nivo zaliha u razmatranom sistemu treba da bude?

## Potražnja predmeta snabdevanja

Potražnja predmeta snabdevanja (sredstava) predstavlja iskazivanje potreba potrošača u jedinici mere u željenom vremenu i predstavlja jedan od najznačajnijih parametara u problemima upravljanja zalihama. Zadovoljenje potražnje u sistemu snabdevanja je osnovni zadatak. Potražnja se u praksi iskazuje preko trebovanja ili zahteva [3]. S obzirom na uslove u kojima se razmatra upravljanje zalihama, potražnja može biti:

- deterministička ili stohastička,
- stacionarna ili nestacionarna,
- kontinuirana ili diskretna,
- zadovoljena ili nezadovoljena.

Ako je potražnja poznata za celokupno vreme planiranja (potpuna informacija), tada se govori o determinističkoj potražnji i determinističkom sistemu snabdevanja. U najjednostavnijem slučaju pri tome je potražnja u jedinici vremena konstantna. Kada se nivo potražnje u toku vremena i menja, ali po tačno utvrđenom i unapred poznatom zakonu, tada se i ta potražnja razvrstava u ovu grupu.

Takvu karakteristiku potražnja ima veoma retko. U većini slučajeva biće produkt nekog procesa, npr. održavanja TMS-a, čije se delovanje ne može unapred proreći zbog niza relevantnih faktora koji na taj proces deluju i zbog kojih dolazi do slučajnih promena u potražnji. Sistem snabdevanja u tom slučaju mora delovati uz potpunu informaciju, odnosno uz određeni stepen neizvesnosti. Ako se pri tome potražnja može definisati nekim od zakona iz teorije verovatnoće, tada govorimo o stohastičkoj potražnji i o stohastičkom sistemu snabdevanja.

Kojim će zakonom iz teorije verovatnoće biti najpovoljnije upisati potražnju, zavisi od ostalih elemenata sistema snabdevanja. Jednom će biti dovoljno da se zna sa kojom verovatnoćom i koje su količine sredstava potrebne u nekom periodu. U drugom slučaju može biti potrebno da se potražnja opiše intervalom između dva trebovanja i potrebnim količinama po trebovanju, pri čemu interval, kao i potrebne količine, mogu biti slučajne veličine, i sl. Potražnju je moguće opisati matematičkim očekivanjem, standardnim odstupanjem, raspodelom verovatnoća ili kao slučajni proces. Mogućnosti su jedno, ali najčešće se javlja potreba za najkomplovanijim opisom, odnosno složenim slučajnim procesom, jer se u vremenu menja i intenzitet potražnje i raspodela verovatnoća po posmatranim intervalima.

## Modeli prognoze

### *Izbor modela za prognozu potražnje rezervnih delova*

Modeli za prognozu potražnje rezervnih delova, prikazani u radu, izbrani su po nekoliko osnovnih kriterijuma:

- da mogu biti primenjeni,
- prema nameni prognoze potražnje rezervnih delova i
- da se ne nalaze u osnovnoj udžbeničkoj literaturi.

Primena koncepcije održavanja, pored ostalog, determinisana je i tehnološkim nivoom razvoja sredstava koja se održavaju. Na primer, teško je i zamisliti da koncepcija samoodržanja bude primenjena na sredstva koja su razvijena i uvedena u upotrebu pre 50 ili 60 godina. Čak ni manje složene koncepcije nije moguće primeniti, na primer na vozila koja od indikatora imaju samo indikator temperature motora i to onaj koji reaguje samo kad se motor pregreje [4, 5].

Dakle, od koncepcija održavanja preostale su klasično preventivno održavanje i korektivno održavanje.

Metoda modelovanja i simulacije, da bi bila primenjena u realnom sistemu, zahteva potpuno uređen sistem. To ovaj sistem snabdevanja rezervnim delovima nije. Tako da ova metoda, koja omogućava i razvoj modela, ne može biti primenjena.

Da ne bi bilo nejasnoća, metoda modelovanja i simulacije stvarno omogućava istraživanje na sistemima koji ne postoje, ali na sistemima koji ne postoje ne može se primeniti ništa pa ni prognoza potražnje rezervnih delova. Ova metoda u našim stručnim krugovima nije nepoznata i primenjivana je više puta. Objavljen je veliki broj radova na tu temu, od koji su neki upravo vezani i za prognozu potražnje rezervnih delova, ali prema datim kriterijumima ovom radu ne pripadaju.

Namena prognoze potražnje rezervnih delova u ovom radu definisana je za:

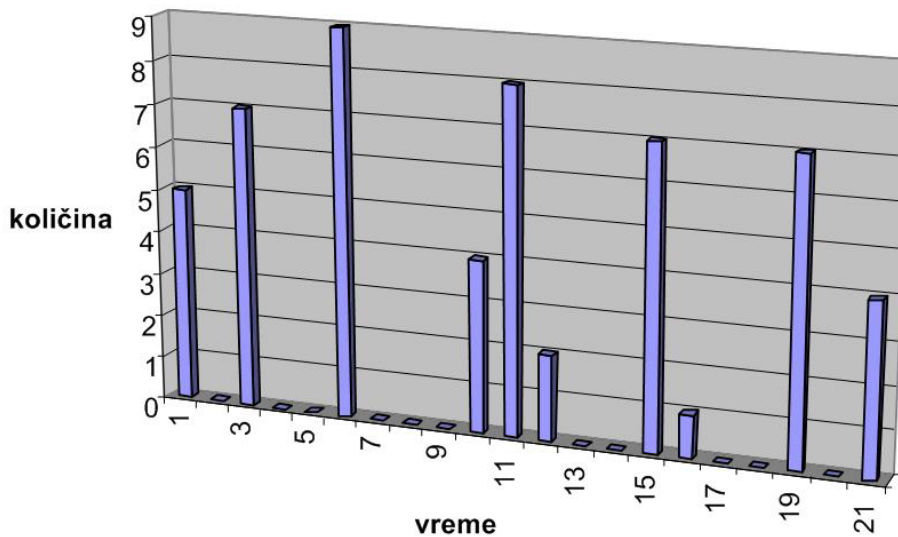
- planiranje,
- formiranje početnog stoka rezervnih delova,
- formiranje modela upravljanja zalihama u priručnim skladištima,
- formiranje modela upravljanja zalihama u skladištima višeg nivoa,
- mogućnost optimizacije parametara modela upravljanja zalihama.

Modeli potražnje i ukupno modeli za formiranje početnog stoka rezervi rezervnih delova razvijeni su osamdesetih godina u projektu USOd.

### *Deterministički model prognoze*

Deterministički modeli prognoze vezani su skoro isključivo za koncepciju preventivnog održavanja. Zahvati održavanja planiraju se unapred, prema eksploatacionim i vremenskim resursima. Pošto su poznati termini preventivnih zahvata održavanja, broj sredstava na kojima se u kom terminu koji preventivni zahvati održavanja provode, poznata tehnologija tih zahvata održavanja, poznati su i asortiman i količina rezervnih delova koji su potrebni da se ti zahvati realizuju.

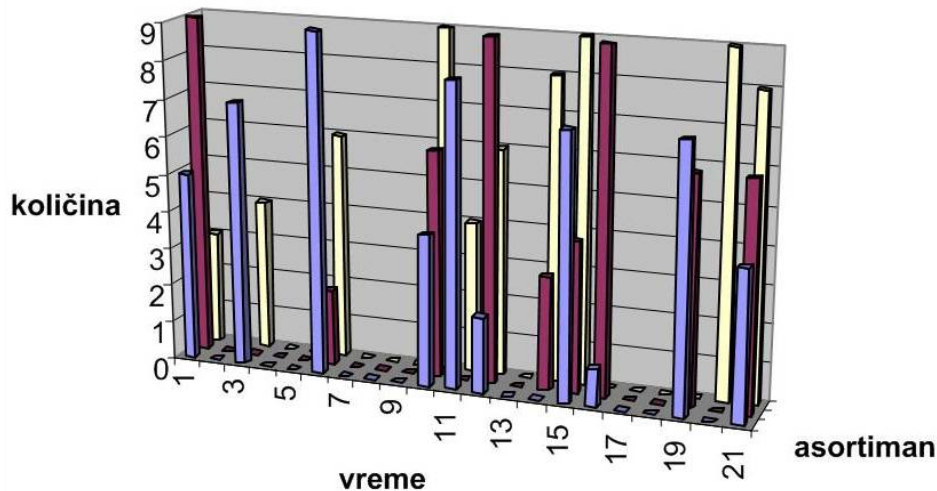
Potražnja rezervnih delova je poznata i determinisana. Prikaz potražnje može da bude po pojedinim stavkama rezervnih delova, slika 1.



Slika 1 – Deterministička potražnja pojedinačnih stavki rezervnih delova

Figure 1 – Deterministic demand for particular items of spare parts

Prikaz može da bude i po terminima svih zahvata preventivnog održavanja gde se u tom slučaju za svaki zahvat rezervni delovi prikazuju po asortimanu,<sup>1</sup> slika 2.



Slika 2 – Deterministička potražnja rezervnih delova po terminima zahvata preventivnog održavanja i po asortimanu

Figure 2 – Deterministic demand of spare parts by timing of preventive maintenance procedures and by assortment

Time su potrebe, odnosno potražnja, za rezervnim delovima poznate i po vremenu i po asortimanu i po količini. Preostaje da se potražnja zadovolji, ali način kako to da se uradi nije predmet ovog rada.

### Heuristički model prognoze

Heurističko prognoziranje vezuje se za eksperte. U vojsci se koristi za ocenu borbene situacije, uzimanje u obzir taktike dejstva svoje i protivničke strane, prognoziranje namera protivnika, pretresanje plana operacije, donošenje odluke za plan dejstva itd.

<sup>1</sup> Po ovom modelu predviđeni su kompleti rezervnih delova za pojedine preventivne zahvate održavanja za svako sredstvo, na primer za tehničke preglede. Model sistema snabdevanja je te komplete predvideo, ali nikad nisu realizovani. Osnovni razlog da se nije krenulo u realizaciju jeste da je bio pokrenut postupak reprojekovanja sistema održavanja. U tom novom sistemu nije do kraja bilo jasno definisano da li će tehnički pregledi, kao do tada, biti zahvati preventivnog održavanja ili će biti samo kontrolni pregledi. Pre nego što je novi model sistema održavanja do kraja definisan, a pogotovo pre nego što se krenulo sa njegovom implementacijom, počela su poznata događanja na teritoriji bivše SFRJ, tako da to nikad nije formalno zaživelo. Međutim, bez obzira na formalizaciju, stvarno planiranje, nabavka i popuna rezervnim delovima za zahvate preventivnog održavanja upravo se tako odvija u skoro svim segmentima sistema snabdevanja rezervnim delovima.

U ovom slučaju, relativno neuređenim sistemima smatraju se oni sistemi kod kojih ne postoje podaci o posmatranoj pojavi i njenom razvoju u prošlosti. I pored toga što navedeni podaci ne postoje, postoji potreba prognoze potražnje rezervnih delova radi donošenja odluka i upravljanja zalihama. Ovo se prevashodno odnosi na period prelaska iz stanja neuređenog sistema u stanje uređenog sistema. Prognoza u ovom slučaju ima ograničen domet. Ne može se vršiti prognoziranje za duži period, prognoza se svodi samo na sledeći relevantni interval. Koji je to interval proizilazi iz samog sistema, odnosno to je interval koji je za sam sistem relevantan.

Model prognoze u relativno neuređenim sistemima prikazan je u tabeli 1. Ovaj model je veoma jednostavan. Ne uzima u obzir složenost razvoja pojave, iz jednostavnog razloga jer ona nije ni poznata. Kao što se vidi, od momenta početka praćenja pojave i formiranja prognoze, na prognozu više utiču svežiji podaci, a što su podaci stariji imaju manji uticaj. Ovaj model prognoze ima relativno spor odziv na promene, što znači da je pogodniji za prognozu pojava koje imaju stabilniji razvoj. Kao veoma jednostavan, sigurno je da mnogo faktora ne uzima u obzir i da postoji veliki broj primedbi koje mogu da mu se daju.

Tabela 1

Model prognoze u relativno neuređenim sistemima

Table 1

Model of forecast in relatively unregulated systems

Period	Prognozirana vrednost	Stvarna vrednost	Prognozirana vrednost za naredni period
1	-	$x_1$	$y_2 = x_1$
2	$y_2$	$x_2$	$y_3 = (y_2 + x_2)/2$
3	$y_3$	$x_3$	$y_4 = (y_3 + x_3)/2$
4	$y_4$	$x_4$	$y_5 = (y_4 + x_4)/2$
.	.	.	.
.	.	.	.
i	$y_i$	$x_i$	$y_{i+1} = (y_i + x_i)/2$
.	.	.	.
.	.	.	.
n	$y_n$	$x_n$	$y_{n+1} = (y_n + x_n)/2$

Međutim, kako praktično na početku vršenja prognoze ne postoje nikakvi podaci o pojavi, to se ovaj model svrstava u retke koji se mogu primeniti u ovako nametnutim uslovima. Sistem u kome ne postoji praćenje stanja je sigurno neuređen i po većini drugih elemenata, a ne samo vezano za praćenje stanja. Zato je bilo za očekivati da primena ovog modela daje određene efekte.

Ovaj model prognoze potražnje rezervnih delova je eksperimentalno primenjen u kombinaciji sa isto tako jednostavnim modelom upravljanja zalihama u priručnom skladištu rezervnih delova jedne radionice u perio-

du od dve godine (1988–1989. godina). Primena ovog modela omogućila je da se vrednost zaliha (novčani iznos) smanji za oko 60% u odnosu na početno stanje, a istovremeno da se koeficijent snabdevenosti poveća dva puta. Ovaj primer pokazuje da su efekti primene na neuređenim sistemima veći nego što se moglo očekivati. Međutim, s druge strane u neuređenim sistemima je i za očekivati da što god se uradi daje velike efekte. Svaka promena prema uređenosti sistema je izuzetno značajna jer rezultati postaju praktično vidljivi u veoma kratkom vremenu [6].

Ovaj model je primenjen takođe i 2003. godine za potrebe analize uzroka stanja prevelikih zaliha u priručnom skladištu jednog bataljona remontne podrške.

Analizirano je 212 stavki rezervnih delova za TAM 4500/5000. Svaka stavka je obrađena po ovom modelu za period 1972–2002. godina. Upoređeno je:

- stvarno stanje zaliha u priručnom magacinu rezervnih delova po kvartalima,
- stvarni utrošak tih stavki po kvartalima, odnosno kakva je bila stvarna potražnja i
- proračunato stanje zaliha po stavkama kakvo bi bilo da je sve vreme primenjivan ovaj model.

U ovom radu nije moguće, zbog obima, prikazati rezultate za sve stavke pojedinačno, ali su rezultati bili u granicama očekivanih vrednosti i omogućili optimalnije upravljanje zalihama.

## Zaključak

Prognoza potražnje rezervnih delova neprestano se obavlja u svim skladištima, radionicama i na svim nivoima. Bez prognoze potražnje nije moguće vršiti bilo kakvo planiranje ni odlučivanje. Prognoza potražnje predstavlja ulazni podatak za određivanje nivoa zaliha, veličine narudžbe, ciklusa naručivanja, itd. Pitanje koje se postavlja jeste – kolika je pouzdanost i preciznost prognoze i kakvi su efekti. Prognoziranje „po osećaju“ nije za odbaciti, ako ne postoji ništa bolje, ali se u tom slučaju mora prihvatiti da postoji mnogo promašaja koji izazivaju bespotrebno nagomilavanje nekih rezervnih delova, a istovremeno i hroničnu nestašicu drugih rezervnih delova. Sve to znatno povećava troškove, a ne omogućava zadovoljavajuću snabdevenost rezervnim delovima.

Primena drugog modela koji je relativno jednostavan, uz primenu računarske tehnike nema nekih posebnih ograničenja, ali zato su i rezultati vremenski ograničeni, odnosno rezultat koji se dobija je samo za sledeći, naredni, relevantan period. Pri planiranju rezultati ovog modela imaju izuzetno ograničen domet.

Ovaj model je primenljiv prvenstveno u neuređenim sistemima. Pogodan je za takozvano „raščišćavanje“ stanja. Već posle jednog ili dva zatvorena ciklusa stanje se dovede u red, ali tada su već potrebni mnogo osetljiviji modeli.



Ponuđeni modeli su primenljivi, drugi prikazani model je čak i eksperimentalno primenjen i dobijeni su veoma dobri rezultati. Ne postoje ozbiljniji razlozi da prikazani modeli ne budu primenjeni. Pored prikazanih, postoje i drugi modeli i metode za prognozu potražnje rezervnih delova. Valjanost pojedinih modela uvek može da se oceni. Sigurno je da su jedni modeli bolji od drugih u primeni u konkretnim slučajevima, ali i da je primena bilo kojih verifikovanih metoda i modela bolja od prepuštanja sistema stihijskom funkcionisanju.

### Literatura

- [1] Pantelić, V., *Snabdevanje tehničkim materijalnim sredstvima*, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1986. god
- [2] Vukadinović, S., *Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike*, Privredni Pregled, Beograd, 1981.
- [3] Vukadinović, S., Popović, J., Teodorović, D., *Zbirka rešenih zadataka iz matematičke statistike*, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1981.
- [4] Borović, S., Mišković, V., *Model prognoze potražnje rezervnih delova*, Zbornik radova SM-OP-IS'2001, S ŠONID VJ, Beograd, 2001. – str. 39–43
- [5] Mišković, V., Borović, S., *Statistički modeli prognoziranja potražnje rezervnih delova*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 50, No. 1, pp. 5–13, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Beograd, 2002.
- [6] Borović, S., Tanašćuk, N., *Automatizovani sistem podrške odlučivanju u procesima javne nabavke*, Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier, Vol. 52, No. 1, pp. 9–25, Ministry of Defence of the Republic of Serbia, Beograd, 2004.

#### DETERMINISTIC AND HEURISTIC MODELS OF FORECASTING SPARE PARTS DEMAND

FIELD: Mathematics

ARTICLE TYPE: Professional Paper

#### Summary:

*Knowing the demand of spare parts is the basis for successful spare parts inventory management. Inventory management has two aspects. The first one is operational management: acting according to certain models and making decisions in specific situations which could not have been foreseen or have not been encompassed by models. The second aspect is optimization of the model parameters by means of inventory management.*

*Supply items demand (asset demand) is the expression of customers' needs in units in the desired time and it is one of the most important parameters in the inventory management. The basic task of the supply system is demand fulfillment. In practice, demand is expressed through requisition or request. Given the conditions in which inventory management is considered, demand can be:*

- deterministic or stochastic,
- stationary or nonstationary,

- continuous or discrete,
- satisfied or unsatisfied.

The application of the maintenance concept is determined by the technological level of development of the assets being maintained. For example, it is hard to imagine that the concept of self-maintenance can be applied to assets developed and put into use 50 or 60 years ago. Even less complex concepts cannot be applied to those vehicles that only have indicators of engine temperature – those that react only when the engine is overheated.

This means that the maintenance concepts that can be applied are the traditional preventive maintenance and the corrective maintenance.

In order to be applied in a real system, modeling and simulation methods require a completely regulated system and that is not the case with this spare parts supply system. Therefore, this method, which also enables the model development, cannot be applied.

Deterministic models of forecasting are almost exclusively related to the concept of preventive maintenance. Maintenance procedures are planned in advance, in accordance with exploitation and time resources. Since the timing of preventive maintenance, the number of assets on which the preventive maintenance procedures are performed and the technology of maintaining procedures are known, then the range and the quantity of spare parts needed to perform these procedures are also known.

Heuristic forecasting is related to the experts. Armed forces use it for the assessment of combat situation, taking into account the opponent's and its own action tactics, forecasting enemy's intentions, analyzing the plan of operations, making decision for the plan of action, etc.

In this case, relatively unregulated systems are those in which there is no data about the observed phenomenon and its development in the past. In addition to the fact that the above data does not exist, there is a need for spare parts demand forecasts for the purpose of decision making and inventory management. This primarily relates to the period of transition from an unregulated to a regulated system. In this case, forecasting has a limited range. No forecasting can be done for a longer period; the forecasting is reduced to the next relevant interval, i.e. to the interval relevant for the system.

The application of another, relatively simple model which uses computer techniques has no particular limitations, but for that reason its results are time-limited; results are obtained only for the subsequent relevant period. The results of this model have a very limited range in planning.

This model is applicable mainly in unregulated systems. It is suitable for so-called condition "clearing". After one or two closed cycles, a situation is brought to order, but then much more sensitive models are needed.

*Keywords: demand for spare parts, model forecasts, time series, curve of growth, demand management*

Datum prijema članka: 11. 02. 2011.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 22. 10. 2011.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 23. 10. 2011.