

<https://doi.org/10.3176/hum.soc.sci.1969.4.04>

H. PAVELSON

TOOTMISSÜSTEEMIDE TÖÖKINDLUSE SUURENDAMISE VÕIMALUSTEST. II

Artiklis [1] käsitletakse põhjusi, mis muudavad aktuaalseks tootmissüsteemide töökindluse suurendamise võimaluste uurimise. Selleks kasutatavate meetodite võrdlemisel tarvitatakse kõnesolevas artiklis kriteeriumina esialgse (reserveerimata) süsteemi näitajaid, kusjuures otstarbekohasteks loetakse täiendavate elementidega süsteemid, mille rennitaablus on vähemalt sama kõrge kui esialgsel süsteemil.

Kui esialgse süsteemi kasustustegur

$$\eta_0 = \prod_{i=1}^n \eta_i, \quad (1)$$

süsteemi kasustustegur peale töökindlust suurendavate elementide sisseviimist η ning selleks vajalikud täiendavad kapitaal mahutused ΣK (väljendatud osana esialgse süsteemi maksumusest), siis tähendab ülalkirjeldatud lähenemine piiride kindlaksmääramist, milledes

$$\frac{\eta/\eta_0}{1+\Sigma K} \geq 1. \quad (2)$$

Kasustustegur on määratud avaldusega

$$\eta = \frac{T_t}{T_t + T_r},$$

kus T_t — keskmine tõrketu tööaeg ja T_r — remondi keskmine kestus [2].

Avalduses (2) sisalduva kriteeriumi kasutamine on õige ainult süsteemide puhul, mille η_0 on lähedane 1-le. Kui aga vaadeldav süsteem koosneb suurest hulgast järjestikku ühendatud madala kasustusteguriga osasüsteemidest, pole selle eksploateerimine ilma kasustustegurit suurendamata majanduslikult üldse otstarbekohane. Kui avalduses (1) kõigi osasüsteemide kasustustegur η_i on näiteks 0,9 ning $n=10$, saame süsteemi kasustusteguri väärtuseks $\eta_0 \approx 0,35$. Enesestmõistetavatel põhjustel ei saa nii madala kasustusteguriga süsteemi tegelikkuses kasutada, ka tema näitajaid ei saa võrdluse alusena kasutada.

Madala esialgse kasustusteguriga tootmissüsteemide puhul on ilmselt õigem kindlaks määrata selline süsteemi struktuur, mille rakendamisel eritootlikkus oleks maksimaalne. (Eritootlikkuse all mõeldakse käesolevas artiklis toodangut kapitaal mahutusühiku kohta pika eksploatatsiooniaja vältel.) Eksploatatsiooni pikaajalisuse nõue on tingitud sellest, et arvatamisel kasutatavad töökindluse parameetrid on tegelikult vastavate juhuslike muutujate matemaatilised ootused ning tulemused pole järelikult rakendatavad süsteemi hetkeliste seisundite või lühiajalise töö tulemuste prognoosimiseks.

Tootlikkus mingil ajahetkel ei ole üldse tootmissüsteemi iseloomulik suurus. Enamasti pole ju oluline teada, kui suur hulk toodet väljub süsteemist antud tunni või ööpäeva kestel, vaid seda, kui suur on keskmine tunni- või ööpäevatoodang aasta või veel pikema aja vältel. Selles seisneb töökindluse seisukohalt põhiline erinevus tootmissüsteemide ja näiteks elektroonikaaparatuuri vahel, mille üheks kõige olulisemaks omaduseks sageli on tõrketus. Maksimaalse eritootlikkuse nõude esitamine on seetõttu seaduspärane just tootmissüsteemide kujundamisel; optimaalsuse kriteerium elektroonikaaparatuuri jaoks sõnastatakse kui teatud etteantud tõrketuse saavutamine minimaalsete kulutustega (vt. näit. [3]).

Eeldame, et kujundatava tootmissüsteemi orienteeruv tootlikkus, tehnoloogia (s. t. eri tootmisoperatsioonide sisu, arv ja järjekord) ning kasutatavate seadmete tüübid on eelnevalt kindlaks määratud. Nimetame ühesuguseid, paralleelselt töötavaid (sama operatsiooni teostavaid) seadmeid (elemente) osasüsteemiks. Edasi eeldame, et kõigi osasüsteemide nimitootlikkus, s. o. tootlikkus täieliku korrasoleku puhul, on võrdne.

Neile eeldustele vastavat süsteemi nimetame esialgseks. Sellise esialgse süsteemi kasustustegur on arvutatav valemi (1) abil, eeldades, et on teada osasüsteemide ja neisse kuuluvate seadmete kasustustegurid. Kahjuks ei määra tehased enamasti oma valmistatud seadmete töökindluse näitajaid ja neid on võimalik kindlaks teha alles eksploatatsiooni kestel. Süsteemi tootlikkuse määramiseks tuleb nimitootlikkus korrutada kasustusteguriga. Kuna me otsime teid eritootlikkuse suurendamiseks, pole meil vajadust defineerida tootlikkuse ja kapitaal mahutuste konkreetseid ühikuid. Võime selleks kasutada esialgse süsteemi vastavaid näitajaid. Süsteemi nimitootlikkus on sellistes ühikutes $1/\eta_0$. Kasustusteguri muutumisel jääb nimitootlikkus endiseks. Peale uute elementide sisseviimist süsteemi avaldub tootlikkus kasustustegurite suhtena η/η_0 . Nagu avalduses (2), tähistab ΣK kõiki kapitaal mahutusi kasustusteguri suurendamiseks, K_i — kapitaal mahutusi i -sse osasüsteemi, K_v — kapitaal mahutusi basseini (mahuti) rajamiseks, millesse on võimalik paigutada 1 tunni toodang. Kõik täiendavad kapitaal mahutused on avaldatud osadena esialgse süsteemi maksumusest. Peale täiendavate elementide sisseviimist on kapitaal mahutused seega $1 + \Sigma K$.

Kui eritootlikkust tähistada E -ga, siis $E = \frac{\eta/\eta_0}{1 + \Sigma K}$ ning püstitatud ülesanne kujuneb E_{\max} leidmiseks.

Võimalused tootmissüsteemi töökindluse suurendamiseks seisnevad eelkõige osasüsteemidevaheliste mahutite rajamises ning reservelementide paigaldamises osasüsteemidesse. Nagu nähtub [1], on ka kriteeriumi (2) kasutamisel reservelementide sisseviimine õigustatud ainult reserveeritava osasüsteemi elementide väikese maksumuse puhul (süsteemi kogumaksumusega võrreldes). Allpool esitame seose vahemahutite rajamise ja reserveerimise efektiivsuse võrdlemiseks, millest samuti ilmneb viimati nimetatud abinõu üldiselt piiratud kasutatavus. Seda arvestades on vaja eelkõige leida meetod vahemahutite optimaalse mahu ning sel teel saavutatava eritootlikkuse arvutamiseks.

Sellise meetodi väljatöötamine eeldab süsteemis sisalduvate mahutite mahu ja paigutuse ning süsteemi kasustusteguri vahelise seose tundmist.

Seda probleemi on töökindlust käsitlevas kirjanduses ja perioodikas üsna harva puudutatud. Seose keerulisus vaevalt et üldse võimaldab selle üldise juhu avaldamist kujul, mis on praktilisteks arvutusteks kasutatav. Käesolevas artiklis püstitatud maksimumi leidmise ülesanne esitab kasutatavale avaldusele omakorda teatud tingimusi.

Ainsa selle ülesande lahendamiseks kasutatava seose on avaldanud B. Sevastjanov [4]. Pärast mitmeid lihtsustusi on ta leidnud seose esialgse süsteemi seisakategori π_0 ja seisakateguri π vahel peale vahemahutite rajamist ($\pi_0 = 1 - \eta_0$, $\pi = 1 - \eta$). Vahemahutite üldmahu L puhul (L ühikuks on ühe töötunni nimitootlikkus) on

$$\pi = q\pi_0, \quad q = \frac{4(n-1) + \Theta}{4(n-1) + n\Theta}, \quad \Theta = cL,$$

kus $c = \frac{1}{T_r}$; n tähistab süsteemi üksteisest mahutitega eraldatud osade arvu, kusjuures

see ei tarvitse ühte langeda osasüsteemide arvuga ülaltoodud tähenduses, vaid võib olla väiksem (juhul, kui mahuteid ei ehitata iga osasüsteemi järel).

Avalduse tuletamisel oletati järgmist:

1) tõrkevoog ja remontide kestuse voog on lihtsad (kirjeldatavad Poisson'i jao-tusega);

2) tõrkevoogu parameeter $a = \frac{1}{T_t}$ ja remontide kestuse voogu parameeter $c = \frac{1}{T_r}$ on võrdsed süsteemi kõigi n osa jaoks (sellest järeldub muudugi, et võrdsed on ka kõik π_i ja η_i).

3) kunagi ei ole remondis korruga rohkem kui süsteemi üks osa.

Esimene oletus peab pidevas eksploatatsioonis olevate tootmisseedmete juures küllalt hästi paika (vt. [1]). Teist tingimust on uute süsteemide projekteerimisel alati enam-vähem võimalik täita; olemasolevate süsteemide analüüsimisel aga vähendab selle mitte-täitmine seose kasutatavust.

Mis puutub kolmandasse tingimusse, siis ei ole selle täpne täitmine kunagi võimalik. Saab arvutada hälbe, mis tekib tegelike süsteemide töös, võrreldes selle lihtsustatud oletusega. Oletades, et kaks või rohkem osasüsteemi ei seis kunagi üheaegselt, saame näiteks 10 osasüsteemist, mille igaühe $\eta_i = 0,975$, koosneva süsteemi puhul üldiseks seisaku-eguriks

$$\pi_0 = 10(1 - \eta_i) = 0,25;$$

seisakuteguri täpne väärtus

$$\pi_0 = 1 - \eta_i^{10} = 0,224.$$

Antud juhul annab lihtsustus seega umbes 10%-lise vea. Lõpptulemuses on viga väiksem, kuna π_0 , nagu nähtub edaspidisest, esineb E avalduses nii lugejas kui ka nime-tajas.

Peale mahutite sisseviimist võib seega süsteemi tootlikkuse avaldada

$$\frac{1 - \pi_0 q}{1 - \pi_0} = \frac{1 - \pi_0 [4(n-1) + \Theta] : [4(n-1) + n\Theta]}{1 - \pi_0}$$

ja kapitaalmahutused (eeldusel, et mahuti maksumus on võrdeline tema seinte pindalaga)

$$1 + \sqrt[3]{n-1} L^{2/3} K_v.$$

Saame

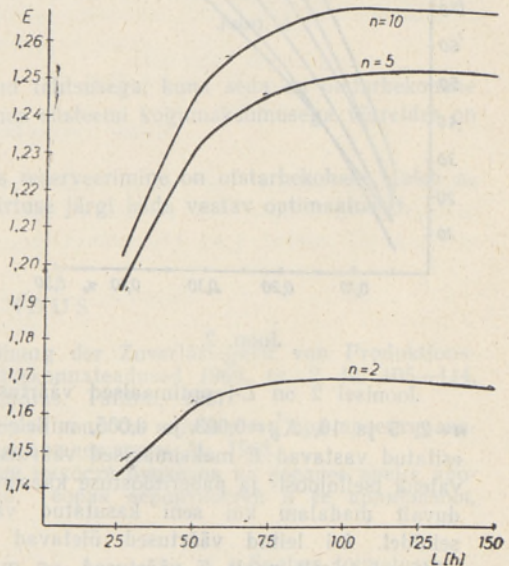
$$E = \frac{1 - \pi_0 [4(n-1) + \Theta] : [4(n-1) + n\Theta]}{(1 - \pi_0) (1 + \sqrt[3]{n-1} L^{2/3} K_v)}$$

Peale asendusi $L = \Theta/c$ ja $K'_v = \frac{K_v}{c^{2/3}}$

omandab avaldus järgmise kuju:

$$E = \frac{1 - \pi_0 [4(n-1) + \Theta] : [4(n-1) + n\Theta]}{(1 - \pi_0) (1 + \sqrt[3]{n-1} \Theta^{2/3} K'_v)} \quad (3)$$

Seos $E = f(L)$ $\pi_0 = 0,3$, $K'_v = 0,003$, $c = 0,2$ ja $n = 2, 5$ ja 10 puhul on esitatud joonisel 1.



Joon. 1.

Diferentseerides ja maksimumi leidmiseks võrdsustades $\frac{dE}{d\Theta} = 0$, saame peale teistsedusi

$$(\pi_0 n - n^2) \Theta^2 + 2(n-1) [3\pi_0(n-1) + 2\pi_0(n+1) - 4n] \Theta + \frac{6\pi_0(n-1)^2 \sqrt{\Theta/(n-1)}}{K'_v} + 16(\pi_0 - 1)(n-1)^2 = 0.$$

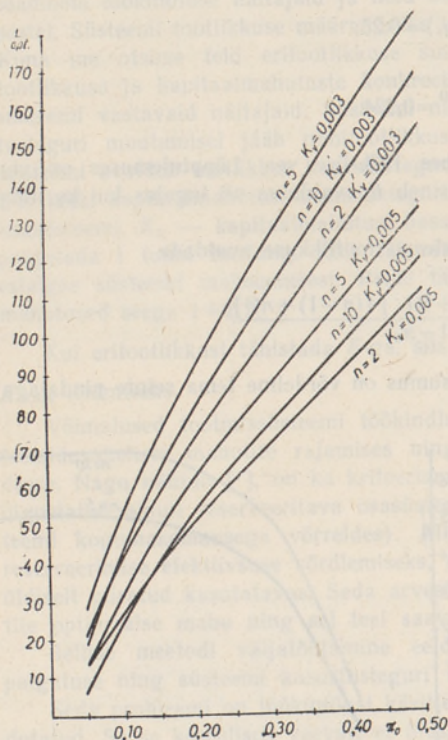
Et muuta võrrand lahenduvaks, asendame $\sqrt{\Theta/(n-1)} = l$. Selline asendus tingib leitava Θ avalduse mitmekordse läbiarvutamise igakordse l -i väärtuse täpsustamisega. Praktiliselt piisab kolmekordsest arvutamisest lahendi määramiseks 1%-lise täpsusega.

Selle asendusega saame

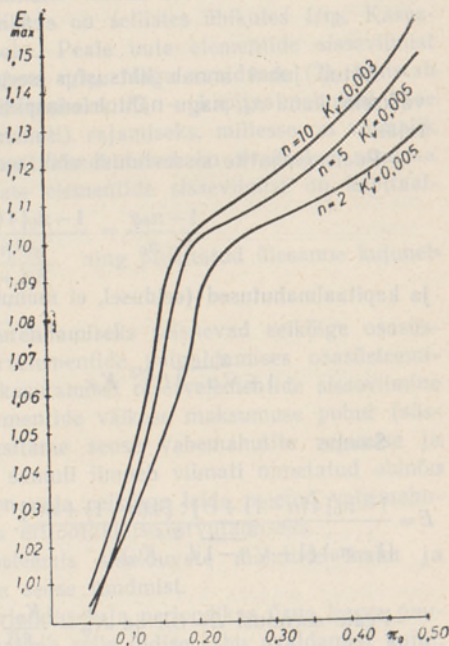
$$\Theta = - \frac{n-1}{\pi_0 n - n^2} [\pi_0(5n-1) - 4n] \pm$$

$$\pm \sqrt{\left\{ \frac{n-1}{\pi_0 n - n^2} [\pi_0(5n-1) - 4n] \right\}^2 - \frac{(n-1)^2}{\pi_0 n - n^2} \left(\frac{6\pi_0 l}{K'_v} + 16\pi_0 - 16 \right)}.$$

(4)



Joon. 2.



Joon. 3.

Joonisel 2 on L -i optimaalsed väärtused esitatud sõltuvalt π_0 -st, kusjuures $c=0,2$, $n=2, 5$ ja 10 , $K'_v=0,003$ ja $0,005$, millele vastavalt $K_v=0,001$ ja $0,0017$. Joonisel 3 on esitatud vastavad E maksimaalsed väärtused. K_v väärtused on valitud ligikaudu vastavatena tselluloosi- ja paberitööstuse kaasaegete basseini erimaksimumusele, mis on tunduvalt madalam kui seni kasutatud väiksema kontsentratsiooniga töötavatel basseinidel. L -i leitud väärtused ületavad tegelikult kasutatavad 2–5-kordselt. Nagu näitavad teiselt poolt E väärtused, on mahutite efektiivsus, eriti kõrgete π_0 -de puhul, küllalt suur.

Reserveerimise ja mahutite rajamise efektiivsuse võrdlemiseks tuleb määrata tingimused, mille puhul reservelementide sisseviimine annab suuremat efekti kui mahutite ehitamine (optimaalse mahu korral).

Kui tähistada süsteemi tootlikkus ja kapitaal mahutused E_{max} puhul vastavalt Q - ja K -ga ning tootlikkuse ja kapitaal mahutuste kasv reservelemendi sisseviimisel vastavalt ΔQ - ja ΔK -ga, siis

$$\frac{Q + \Delta Q}{K + \Delta K} = E_{res.} \tag{5}$$

Kui oletame, et süsteemis on selline osasüsteem, millesse reservelemendi sisseviimine annab suurema efekti kui mahutite rajamine optimaalses mahus, peab pärast selle reserveerimist olema

$$E_{res.} > E_{max.} \tag{6}$$

Kuna

$$\frac{Q}{K} = E_{max}, \text{ järeldub (5)-st ja (6)-st, et } \frac{\Delta Q}{\Delta K} > E_{max}.$$

Kui mõningase liialdusega oletada, et reservelemendi sisseviimisega mingisse osasüsteemi selle osasüsteemi $\pi_i \rightarrow 0$, leiame ΔQ ja ΔK avaldamisega esialgse süsteemi vastavate suuruste osadena:

$$\frac{\pi_i q / (1 - \pi_0)}{K_i / m_i} > E_{max},$$

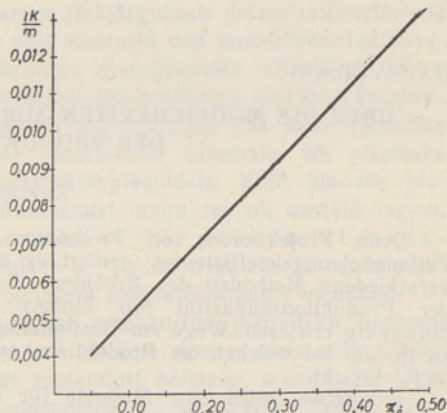
kus m_i — elementide arv i -ndas osasüsteemis.

Kui $\pi_i = \pi_0 / n$, saame

$$\frac{K_i}{m_i} < \frac{1}{E_{max}} \cdot \frac{q \cdot \pi_0}{n(1 - \pi_0)}.$$

$\frac{K_i}{m_i}$ olenevus π_0 -st, kui $n = 10$ ja $K'_v = 0,005$, on toodud joonisel 4. Nagu sellest näha, on sõltuvus lineaarne. Teiselt poolt nähtub, et mahutite sisseviimise kõrval on reserveerimine antud parameetrite puhul vaid piiratud tähtsusega, kuna seda on otstarbekohane kasutada vaid siis, kui reservseadme maksumus süsteemi kogumaksumusega võrreldes on väga väike.

Kui on olemas selline osasüsteem, milles reserveerimine on otstarbekohane, tuleb π_0 vastava π_i võrra vähendada ning π_0 uue väärtuse järgi leida vastav optimaalne θ .



Joon. 4.

KIRJANDUS

1. H. Pavelson, Möglichkeiten zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Produktionssystemen. ENSV TA Toimetised, Ühiskonnateadused 1969, nr. 2, lk. 105—114.
2. A. Коорт, Электроникапаратури töökindlus. Tallinn, 1967.
3. Ф. Москович, Дж. Маклин, Некоторые вопросы надежности при проектировании систем. В кн.: Оптимальные задачи надежности. М., 1968.
4. Б. А. Севастьянов, Задача о влиянии емкости бункеров на среднее время простоя автоматической линии станков. Теория вероятностей и ее применения, 1962, VII, вып. 4.

X. ПАВЕЛСОН

**О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ. II***Резюме*

При проектировании систем с низким первоначальным коэффициентом использования определение пределов, в которых резервирование и другие методы повышения надежности не снижают удельную производительность системы (на единицу капиталовложений), не приводит к цели. Необходимо разработать методы для определения максимальной удельной производительности.

В статье изложена методика определения оптимальной суммарной емкости бассейнов. Приведен также метод для сравнения эффективности двух основных способов повышения надежности производственных систем — строительства промежуточных емкостей и резервирования.

*Институт экономики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
2/IV 1969

H. PAVELSON

**ÜBER DIE MÖGLICHKEITEN ZUR ERHÖHUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT
DER PRODUKTIONSSYSTEME. II***Zusammenfassung*

Beim Projektieren von Produktionssystemen mit einem niedrigen anfänglichen Zeitausnutzungskoeffizienten genügt es nicht, Grenzen festzustellen, innerhalb welcher verschiedene Methoden der Erhöhung der Zuverlässigkeit nicht zu einer Verringerung der Produktionskapazität pro Einheit der Investitionen führen. Es hat sich als notwendig erwiesen, Wege zur Bestimmung der optimalen Zusammensetzung der Systeme zu finden, bei welchen die Produktionskapazität pro Einheit der Investitionen das Maximum erreicht.

Im Artikel wird eine Methode für die Bestimmung des optimalen Gesamteinhalts der Behälter in einem Produktionssystem vorgeschlagen. Es wird eine Möglichkeit des Vergleichs der Zweckmäßigkeit des Reservierens und des Einbaus von Behältern vorgeschlagen.

*Institut für Ökonomie
der Akademie der Wissenschaften der
Estnischen SSR*

Eingegangen
am 2. April 1969