EKSTRAPOLACIJA VREMENSKIH SERIJA KAO METOD TEHNOLOŠKOG PREDVIĐANJA

Jedna od najvažnijih karakteristika savremene ekonomije je da se sve veći značaj pridaje planiranju. Sa ove tačke gledišta ekonomija može biti posmatrana kao jedan veliki sistem kojim se može upravljati, pored ostalog, i korišćenjem velikog broja rezultata teorije automatske regulacije. Sa ovom bazičnom pretpostavkom relacije između »input« i »output« varijabli (vreme se može posmatrati kao »input« varijabla) su određene statističkim metodama korelacione i regresione analize, koje se danas široko koriste u ekonometriji. Međutim, izvesni ekonomisti, mada priznaju mogućnost upotrebe ovih metoda, često izražavaju otvorene sumnje u njihovu tačnost. Pitanje koje oni postavljaju svodi se na sledeće: Da li na osnovu statističkih podataka koji se odnose na jedan prošli period može biti, sa dosta tačnosti, predviđena stvarnost u budućem periodu. Njihov glavni argument polazi od postavke da ako privreda ima planski karakter, onda većina ekonomskih indikatora zavisi od uticaja onih koji na raznim nivoima upravljaju tom privredom. Prema tome, predviđanje treba da znači i predviđanje ponašanja onih koji upravljaju privredom. To je svakako toliko kompleksan problem da ne može biti rešen prostom ekstrapolacijom odluka i, prema tome, ekonomskih pitanja iz prošlih perioda za budući period. Međutim, potrebno je imati u vidu da je privreda toliko širok sistem da pored faktora koji mogu biti kontrolisani uključuje i mnoge čija kontrola nije mnogo efikasna (na primer, izvesna naučna otkrića ne mogu biti predviđena, ali zato može biti predviđen ekonomski efekat tih otkrića za dati vremenski period). Drugo, u privredi dejstvuje niz faktora sa kojima se mora računati pri utvrđivanju privrednog razvoja. Na primer, ograničenost prirodnih resursa i zahtevi za skladnim razvojem privrednih sektora. Zapostavljanje ovih faktora nerazumnim povećanjem proizvodnje određenog sektora može dovesti do velikih privrednih teškoća. Dakle, uprkos činjenici da je teško predvideti ponašanje onih koji upravljaju privredom, na osnovu analitičkih modela koji su ocenjeni statističkim podacima moguće je predvideti razvoj raznih privrednih sektora; mada će veličina greške u predviđanju zavisiti kako od stepena inercije privrednog sistema, tako i od važnosti međuodnosa sektora i čitave privrede.

U savremenim uslovima, neprekidno i sve više se podvlači značaj predviđanja tehnoloških promena, tim pre što su te promene sve veće i brže i što imaju veliki odraz na celokupni razvoj privrede i društva. Najopštija definicija tehnološkog predviđanja je da je to skup metoda probabilističke procene budućeg razvoja ili širenja neke tehnologije. Fundamentalna pitanja na koja tehnološko predviđanje pokušava da odgovori mogla bi se svrstati u četiri grupe: 1. vreme potrebno za neku inovaciju ili širenje već postojeće tehnologije, 2. određivanje neophodno potrebnih kadrovsko-materijalnih resursa da bi došlo do procesa kreacije inovacije, 3. krajnji efekat inovacije (posebno funkcionalne tehnološke mogućnosti, troškovi proizvodnje, posledice za više nivoe društvenog i ekonomskog sistema, difuzije tehnologije u horizontalnom smislu, itd.) i 4. određivanje početnih uslova da bi došlo do kreacije inovacije i do njene kasnije difuzije.

Prve tri grupe pitanja su karakteristične za metode *eksploratornog tehnološkog predviđanja,* koje se zasniva na sadašnjim proverenim činjenicama i znanjima a orijentisano je ka istraživanju mogućnosti u budućnosti. Četvrta grupa problema karakteriše *normativno tehnološko predviđanje,* koje je posledica povećanih mogućnosti istraživanja, naročito u određenim tehničkim oblastima, od kojih, usled nedostatka kadrovskih i materijalnih potencijala, sve ne mogu biti predmet istraživanja.

Uopšte posmatrano, kompletno tehnološko predviđanje treba danas da uskladi normativno predviđanje (potrebe, želje) sa eksploratornim predviđanjem (mogućnosti), dok se osnovne karakteristike ovih metoda mogu posmatrati sa tri tačke gledišta: 1. njih treba shvatiti kao dijalog između čoveka i tehnike, a što je najvažnije, kao metode koji ne zamenjuju ocenu i intuiciju stručnjaka, već je ojačavaju i disciplniraju; 2. to su parcijalni metodi koji obuhvataju jedan deo procesa tehnološkog predviđanja. Kombinovanje metoda je moguće, ali na sadašnjem stupnju razvoja njihova potpuno integracija nije izvodljiva; 3. ovi metodi predstavljaju pomoćno sredstvo za donošenje odluka.

Danas se u svetu upotrebljava veliki broj metoda predviđanja. Međutim, svi oni se ne bi mogli nazvati metodima tehnološkog predviđanja, jer svi nisu konstruisani sa tom namerom. Ipak, svi su usko vezani za oblast tehnološkog predviđanja, ako ne u potpunosti, a ono bar za neke njegove aspekte. Među ovim metodima teško je praviti fundamentalnu razliku između kvalitativnih i kvantitativnih, zato što u većini slučajeva ne postoji jasna granica između jednog i drugog. U izvesnim slučajevima kvalitativne procene u tehnolškom predviđanju imaju istu važnost kao kvantitativni metodi.

I pored postojanja velikog broja metoda, tehnološko predviđanje[1]) još uvek nije zasebna grana nauke. Ono je počelo da postaje veština od oko pre 25—30 godina, kada su se počeli uzimati u obzir ciljevi, potrebe i težnje za napretkom (što su sve elementi normativnog karaktera).

Postoji veliki broj podela metoda tehnoloških predviđanja. Te mnogobrojne klasifikacije su posledica još uvek »eksperimentalnog stanja« u kome se oni nalaze. Već je rečeno da je, u opštem slučaju, najvažnija razlika između normativnog i eksploratornog predviđanja. Međutim, čitava jedna klasa metoda ostaje van ove dve grupe — to su metodi *intuitivnog predviđanja,* od kojih je metod »Delphi« najznačajniji. Intuitivni metodi omogućavaju aleatoran pristup problemu, bez obzira o kom nivou se radi. Oni danas predstavljaju jedinu mogućnost da se odrede polazne tačke — vodilje normativnog predviđanja na najvišim nivoima (društveni ciljevi). Drugo rešenje je u obuhva-

1) Problemi tehnološkog predviđanja su dosada najkompletnije izloženi u knjizi Ericha Jantscha, La prévision téchnologique, OECD, Paris, 1967. Oni su pretresani i na nizu seminara i skupova, nacionalnih i međunarodnih, od kojih je posebno bio značajan »Seminar on technological forecasting«, koji je organizovala ECE u Varšavi 7—12 dec. 1970. Usled toga su rad E. Jantscha i materijali pomenutog seminara u velikoj meri korišćeni u ovom radu.

tanju tih nivoa putem eksploratornog predviđanja. Ali budući da su ti metodi još uvek nekompletni, oni se ne mogu smatrati zadovoljavajućim.

Što se tiče samih eksploratornih metoda, oni se prema oblastima sadašnje, a i buduće primene mogu podeliti na dve grupe: 1. metodi čiji je isključivi cilj stvaranje novih tehnoloških informacija, kao što su: ekstrapolacija vremenskih serija, morfološka analiza itd.; 2. metodi koji struktuiraju i obrađuju tehnološke informacije: istorijska analogija, metod redakcije scenarija, probabilistički metod, metodi operacionih istraživanja, itd.

U ovom radu prikazaćemo ekstrapolaciju vremenskih serija kao metod eksploratornog tehnološkog predviđanja čiji je isključivi cilj stvaranje novih tehnoloških informacija.

Predviđanje putem ekstrapolacije vremenskih serija

Predviđanje naučnog i tehnološkog razvoja putem ekstrapolacije, odnosno korišćenjem raznih tipova funkcija moguće je samo kod postepenog razvoja naučnih i tehnoloških znanja. Ovaj tip razvoja pretpostavlja neprekidno manje-više lagano usavršavanje već postojeće tehnike i procesa. Drugi tip tehničko-tehnološkog napretka sastoji se u nagloj pojavi radikalno nove tehnike, procesa i materijala na osnovu novih proizvodnih metoda. Dok predviđanje postepenog naučno-tehnološkog razvoja koristi razne funkcije koje su određene na osnovu statističkih podataka, predviđanje pojave sasvim novih tehničko-tehnoloških rešenja je moguće samo pomoću heurističkih metoda na osnovu procene eksperata.

Postepeni razvoj nauke, tehnike i tehnologije se odražava u promeni raznih parametara, kao što su: broj naučnih publikacija, patenata, broj naučnoistraživačkih radnika, pouzdanost i efikasnost tehnološkog sistema itd. Ako su godišnje vrednosti takvih parametara određene u toku jednog vremenskog perioda, njihova stopa rasta, empirijski nađena, može, u izvesnom smislu, adekvatno iskazati naučni i tehnološki progres za vreme tog perioda. Problem pronalaženja stopa tih promena, u odsustvu čiste teorije o predviđanju, može biti tretiran kao problem izbora empirijskih formula koje na zadovoljavajući način opisuju promene naučno-tehnoloških parametara.

Da bi se ovaj problem mogao rešiti, neophodno je odrediti kompleks glavnih parametara koji karakterišu razvoj date oblasti nauke i tehnologije. Retrospektivnom analizom promena tih parametara moguće je dobiti razne funkcije koje opisuju te promene. Ako nije moguće odabrati ovakvu funkciju za čitav period, tada se pristupa podeli na potperiode i traži se odgovarajuća funkcija za svaki deo.

Vrlo je važno da izabrana funkcija ima karakteristike koje odgovaraju elementu koji se proučava. Sledeći korak je određivanje vrednosti tehnoloških parametara koji ulaze u formulu. Potrebno je još jedanput ispitati da li sve tačke, a pogotovu one koje značajno odstupaju od ostalih tačaka, odražavaju ispitivane faktore ili se možda radi o greškama. Zatim se nalaze koeficijenti linearne funkcije: b kad je $x = 0$ i $a = \frac{dY}{dx}$. U slučaju ako funkcija nije linearna (na primer ako se radi o eksponencijalnom rastu) neophodno je dovesti je na linearan oblik, naći parametre i vršiti ekstrapolaciju.

Pretpostavljamo da je parametar tehnološkog sistema slučajna vrednost, dakle aleatorna promenljiva sa nepoznatim zakonom verovatnoće. U tom slučaju numeričke karakteristike te aleatorne promenljive mogu biti dobijene na osnovu statističkih podataka do kojih se došlo na sledeći način:

Neka je broj pokušaja odabiranja, odnosno veličina uzorka n, a vrednosti koje su tom prilikom dobivene $x_1, x_2 \ldots x_n$, onda je aritmetička sredina tih vrednosti:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \ldots + x_n) \tag{1}$$

a standardna devijacija, kao mera varijabiliteta promenljive

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

Interval poverenja za aritmetičku sredinu osnovnog skupa je onda određen izrazom:

$$\bar{x} - 2{,}58 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < M \leq \bar{x} + 2{,}58 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \tag{3}$$

Neka su sada poznate dve vrednosti jedna zavisna, a druga nezavisna. Pretpostavimo da između njih postoji linearna veza tj. $Y = ax+b$. Kada dobijene empirijske podatke za x i y (x i y su, kako je već pretpostavljeno, aleatorne promenljive) zamenimo u formuli, ona postaje $Y_i = ax_i + b$. Parametri a i b se određuju tako da zbir kvadrata odstupanja empirijskih tačaka od krive bude minimalan, odnosno da:

$$F = \sum_{i=1}^{n} (Y_i - ax_i - b)^2 = \min. \tag{4}$$

Dakle, ako su empirijski poznate vrednosti za Y_i i x_i, parametri a i b se vrlo lako određuju. Na taj način zavisna varijabla Y_i može biti i van posmatranog intervala, odnosno može se izvršiti njena ekstrapolacija za budući period.

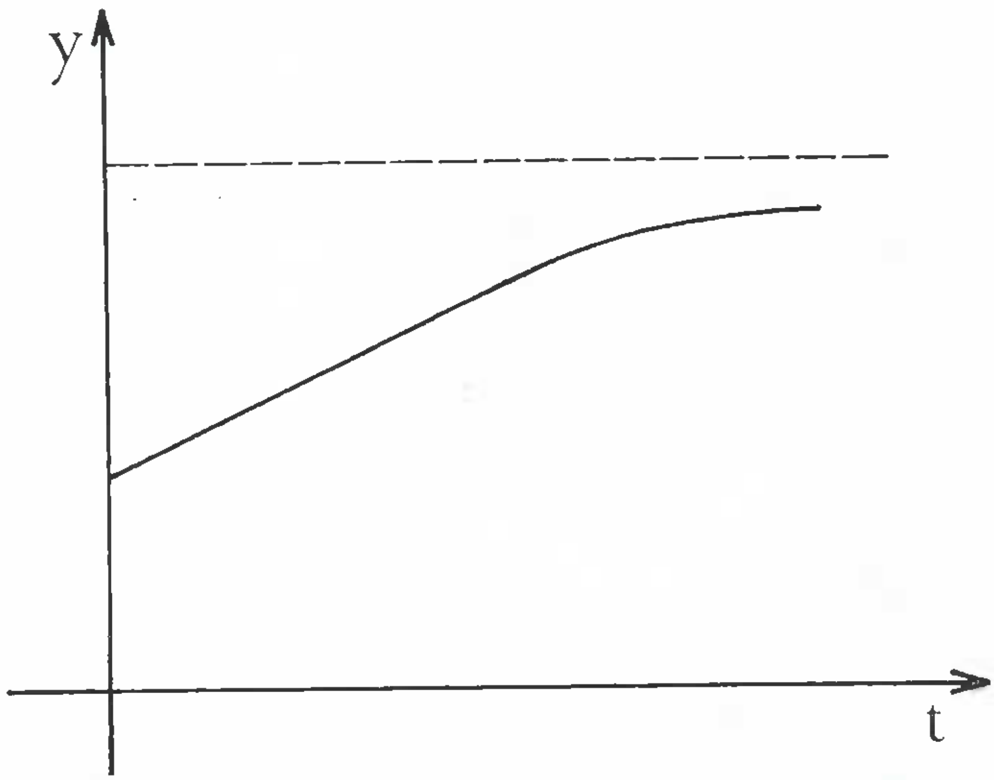
Na isti način, određuju se i parametri drugih funkcija, na primer, polinoma, eksponencijalne itd.

Period ekstrapolacije ne bi trebao da bude duži od perioda na koji se odnose statistički podaci. Ovo treba shvatiti uslovno, jer, na primer, niko ne bi mogao da izvrši ekstrapolaciju broja naučnika u svetu za sledećih 300 godina, iako se zna da je taj broj u poslednjih 300 godina imao eksponencijalnu stopu rasta sa periodom udvostručenja od oko 15 godina.

Iskustvo je pokazalo da intuitivno predviđanje (na osnovu ocene eksperata) budućih naučnih, tehničkih i tehnoloških mogućnosti ima obično linearnu formu. Prvi interes ekstrapolacije u tehnološkom predviđanju mora da bude ispravljanje intuitivnog predviđanja davanjem veće važnosti faktorima koji su dejstvovali u prošlosti. Predviđanja eksperata na kratak vremenski rok imaju tendenciju da budu isuviše optimistička, dok su pesimistička u odnosu na dalju budućnost.

Prema dosada u svetu izvršenim istraživanjima u vezi sa ekstrapolacijom tendencija u prošlosti, dobijene krive mogu se podeliti na pet grupa:

— U prvu grupu, koja podrazumeva *linearan rast sa saturacijom*, spadali bi kao klasični primeri rast produktivnosti rada u termičkim centralama i mehanizacija ljudskog rada (izražena smanjenjem broja čovekovih radnih časova godišnje za istu proizvodnju).



U ovu grupu dolazi i eksponencijalni rast sa saturacijom. Do ovakve pojave dolazi kod velikog broja tehničkih parametara, kada posle faze rasta usled dejstva ograničenja nastaje faza saturacije. Ove pojave slede modifikovanu eksponencijalnu krivu čija je jednačina:

$$Y = K + ab^t \qquad (5)$$

gde je:

K — asimptota,

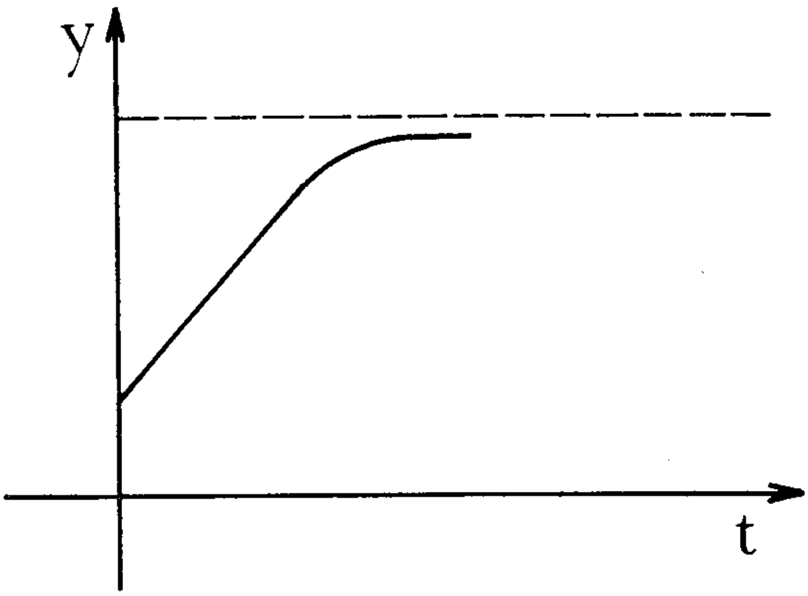
a — vrednost dobijena oduzimanjem asimptote od Y kad je $t = 0$,

b — granica odnosa između dva sukcesivna porasta.

Kod ove krive stopa rasta opada za konstantno isti procenat težeći asimpototi k.

Samo računanje koeficijenata je dosta jednostavno. Serija podataka se deli na tri podserije i nalaze se totali tih podserija. Koeficijent b je u tom slučaju jednak:

$$b = \sqrt[n]{\frac{\Sigma_3 Y - \Sigma_2 Y}{\Sigma_2 Y - \Sigma_1 Y}} \qquad (6)$$



gde je sa n označen broj godine koje obuhvata pojedina od tri podserije, a indeksima 1, 2, 3 same podserije.[2])

Koeficijent a se dobija iz formule:

$$a = (\Sigma_2\, Y - \Sigma_1\, Y)\, \frac{b-1}{b^n\,(b-1)^2} \tag{7}$$

dok je asimptota K jednaka:

$$K = \frac{1}{n}\, \frac{\Sigma_1\, Y \,.\, \Sigma_3\, Y - \Sigma_2\, Y^2}{\Sigma_1\, Y + \Sigma_3\, Y - 2\,\Sigma_2\, Y} \tag{8}$$

Ovom formulom je moguće izračunati K bez prethodnog poznavanja vrednosti za a i b.

---

2) Nađeni podzbirovi serije, čiji svaki član zadovoljava jednačinu

$$y_i = k + ab^i \qquad , \quad i = 0, 1, \ldots t$$
gde je $t = 3n$

su sledećeg oblika:

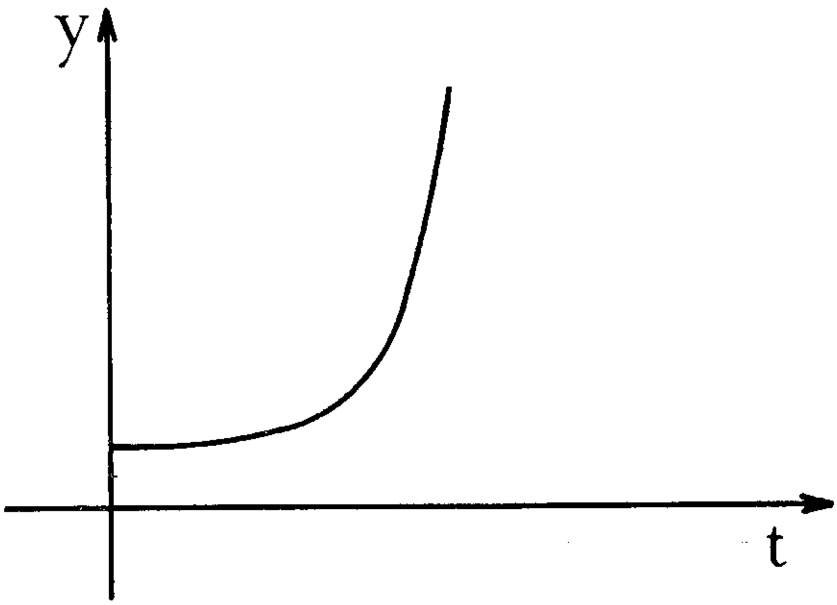
$$\Sigma\, 1\, y = \sum_{i=0}^{n-1} y_i = nk + a\, \frac{b^n - 1}{b-1} \tag{1}$$

$$\Sigma\, 2\, y = \sum_{i=n}^{2n-1} y_i = nk + ab^n\, \frac{b^n - 1}{b-1} \tag{2}$$

$$\Sigma\, 3\, y = \sum_{i=2n}^{3n-1} y_i = nk + ab^{2n}\, \frac{b^n - 1}{b-1} \tag{3}$$

Rešavanjem ovih jednačina dobijene su vrednosti koeficijenata a, b i k tj. (6), (7) i (8).

Druga grupa: *Eksponencijalni rast bez saturacije u posmatranom periodu.* U ovu grupu dolaze izvesne promene u funkcionalnim mogućnostima, na primer maksimalna brzina aviona, učinak pretvaranja energije u osvetljenje itd. Kod ove grupe funkcionale mogućnosti, u posmatranom vremenskom intervalu, slede eksponencijalnu krivu $Y = at^b$.



Treća grupa. U ovu grupu dolaze pojave koje slede *Gompertzovu krivu i logističku krivu.* Uopšteno posmatrano takav je slučaj sa velikim brojem pojedinačnih tehnika u toku faze sazrevanja. Opšta formula Gompertzove krive je:

$$Y = K a^{b^t}$$

K — (asimptota)

Ova fomula izražena u logaritamskom obliku glasi:

$$\log Y = \log K + (\log a)\ b^t$$

Najjednostavniji korišćeni oblik logističke krive je:

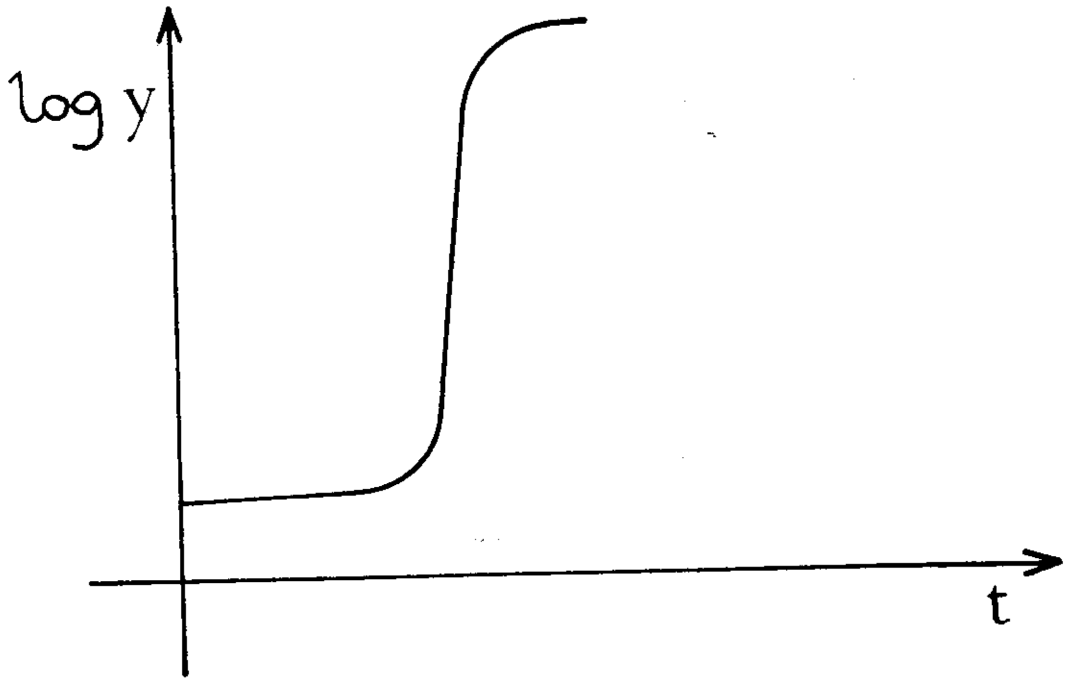
$$\frac{1}{Y} = K + ab^t$$

Međutim, često se koriste i oblici:

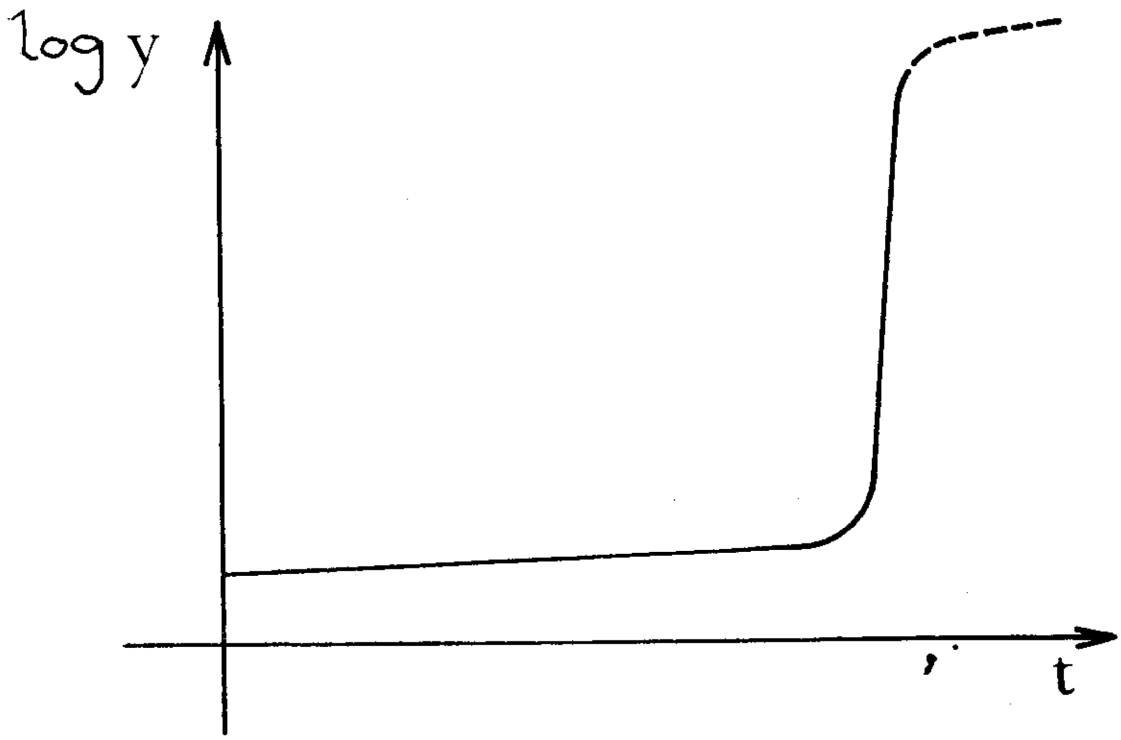
$$Y = \frac{K}{1 + 10^{a+bt}};$$

$$Y = \frac{K}{1 + e^{a+bt}}.$$

Četvrta grupa. U ovu grupu dolaze *tendencije kod intenzivnih radova u domenu istraživanja i razvoja.* Karakteristika ove grupe je neobično brz rast, dvostruko brži od eksponecijalnog, sa naglom saturacijom. Na primer, tu karakteristiku ima maksimalna brzina letilica, brzina rada elektronskih računara, itd.



U petu grupu dolaze one pojave koje imaju lagan eksponencijalni rast ali sa kasnijim naglim ubrzanjem i eventualnom saturacijom; na primer ten-



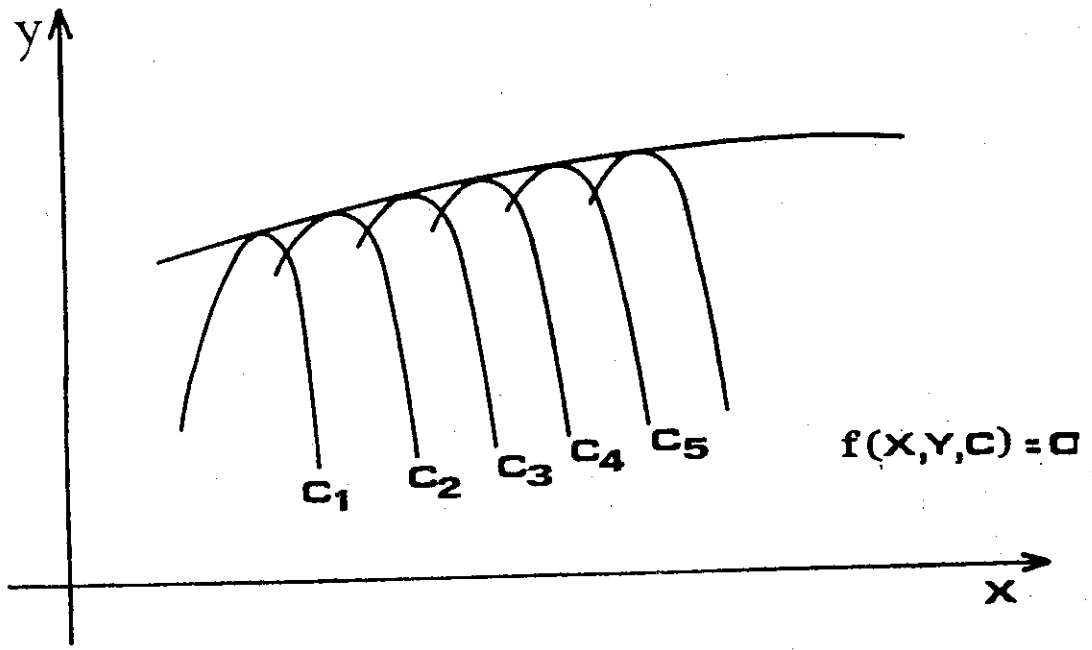
dencije koje je u prošlosti pokazivao proces razvoja nuklearnog oružja. Eventualna saturacija ovde više zavisi od interesa nego od tehničkih mogućnosti.

Ekstrapolacija i procenjivanje tendencija danas se često koriste kao metod predviđanja naučnog i tehnološkog razvoja. Naročito se upotrebljavaju kao pomoćno sredstvo za kasnije normativno predviđanje. Ovaj metod može, dakle, dati odgovor na pitanje da li postoje povoljni izgledi za ostvarenje nekog specifičnog cilja u domenu nauke i tehnologije na osnovu istih inovacionih mehanizama koji su doveli do prethodnog progresa. Na ovaj način se pojačava mehanizam »proročanstva koja se ostvaruju sama po sebi« i učvršćuju se uverenje u mogućnost postizanja cilja koji se ranije nije mogao analitički proceniti.

Ekstrapolacija putem krivih obvojnica

U suštini ovaj metod se sastoji u ekstrapolaciji opšteg trenda razvoja tehnološke opreme ili sistema predstavljenog krivom obvojnicom na budući period za koji se interesujemo. On može biti korišćen kod široke kategorije tehnoloških sistema a klasični primeri njegove upotrebe su predviđanja razvoja letilica svih vrsta, digitalnih kompjutera, automatski kontrolisanih sistema, naučno-tehnoloških parametara itd.

Metod se zasniva na matematičnoj koncepciji krive obvojnice. Pretpostavimo da imamo familiju krivih koja je opisana jednačinom $f(x, y, c)=o$, gde je c parametar familije. Svaka vrednost parametra c daje posebnu krivu u familiji. Obvojnicom se naziva ona linija koja je tangenta svih linija familije.



Ako se vrednost parametra c sukcesivno menja tj.

$c = c_i$, za $i = 1, 2, \ldots, n$, familija: $f(x, y, c) = 0$ (9)

će kliziti duž obvojnice. Iz sistema jednačina $f(x, y, c) = 0$, treba naći:

$$\frac{\partial f(x, y, c)}{\partial c} = 0 \qquad (10)$$

da bi se eleminisao parametar c i na taj način se dobija jednačina obvojnice:

$R(x, y) = o$

Postupak prilikom predviđanja tehnološkog razvoja polazi od definisanja najvažnijih karakteristika koje se menjaju u vremenu i na osnovu kojih se može dobiti ideja o razvoju tehnološkog sistema koji se posmatra. Posmatrane karakteristike se u toku vremena menjaju na dva načina: 1. U granicama konkretnog tehnološkog rešenja, u toku dosta kratkog vremenskog perioda. 2. Prelazom na nova tehnološka rešenja, koja po pravilu vode većem nivou razvoja posmatranih karakteristika. Na ovaj način se dobija slika razvoja svakog parametra na raznim nivoima, odnosno fimilija krivih koja u raznim vremenskim intervalima uvek ima istu korelaciju sa varijacijom nekog parametra u novom intervalu. Susedni nivoi razvoja su međusobno povezani i priroda tih veza je takva da mogu biti izražene krivom obvojnicom koja ima zajedničke tačke sa svim krivim na svim nivoima. Ova familija se razlikuje od čisto matematičke jedino po tome što prelaz sa jedne na drugu krivu nije kontinuelan, jer ih razdvaja vremenski period potreban za pronalaženje novog rešenja.

Neka je sada jednačina krivih na svim nivoima:

$f(t, y, c) = 0$ (11)

gde se variranjem parametra c dolazi do analitičke aproksimacije za sve nivoe. Jedina razlika u odnosu na jednačinu (9) je u tome što je kao promenljiva uzeto vreme. Za svaki vremenski segment parametar c ima neku vrednost koja je isto tako funkcija vremena tj.:

$c_o(t_o), c_1(t_1), \ldots, c_k(t_k)$.

Kada je određena jednačina (11) za određeni vremenski period, onda se određuje obvojnica:

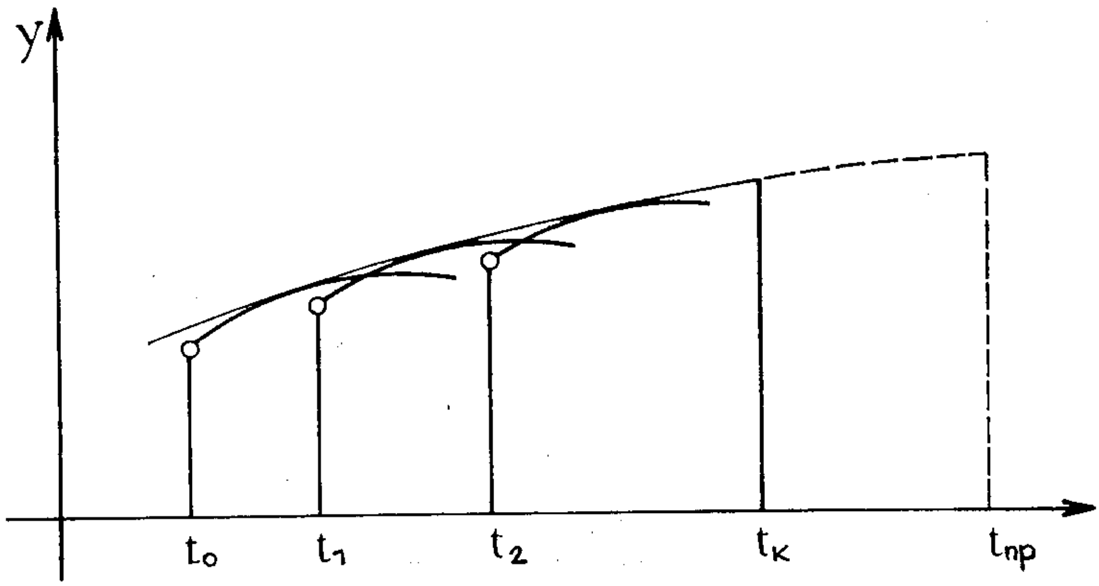
$R(t, y) = o$

Na sledećoj slici predstavljena je familija krivih koje opisuju razvoj tehnološkog parametra u periodu t_c—t_k. Ekstrapolacijom krive obvojnice na period za koji se vrši predviđanje (t_k—t_{np}), dobija se ocena razvoja tog parametra u budućnosti, odnosno ako jednačinu obvojnice $R(t, y) = 0$ izrazimo u eksplicitnom obliku u odnosu na y, predviđanje se vrši računanjem:

$y_{np} = y(t_{np})$ (12)

gde je:

t_{np} = period za koji se vrši predviđanje.



Sam postupak preliminarne analize posmatranog tehnološkog sistema i izbor podataka nije mnogo komplikovan. Pretpostavimo da se posmatra m parametara tehnološkog sistema koji se menjaju u vremenu:

$$Y_n = /Y_1(t),\ Y_2(t),\ \dots,\ Y_m(t)/ \qquad (13)$$

Iz ovog skupa parametara potrebno je sada odabrati podskup koji je najznačajniji sa stanovišta razvoja tog tehnološkog sistema, tj.

$$Z_m(t) = /Z_1(t),\ \dots,\ Z_m(t)/ \qquad (14)$$

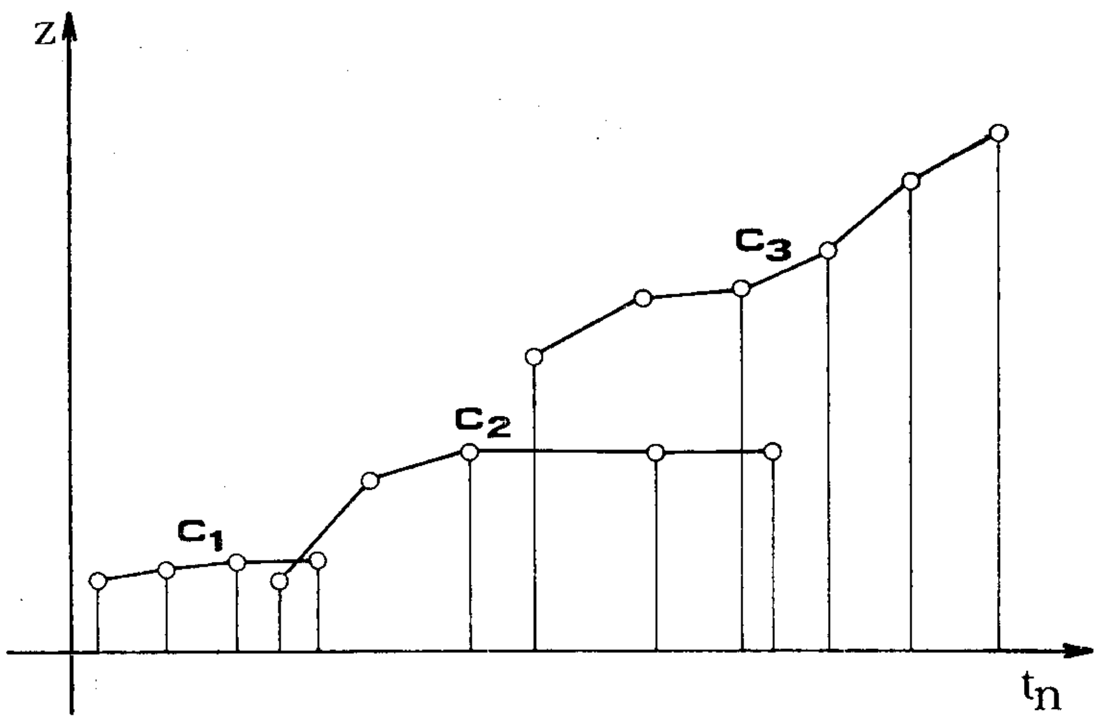
Prateći promene tih izabranih parametara u vremenskom intervalu $(t_o,\ t_n)$ dobiće se serija vrednosti za svako $Z_i(t_j)$ kada je:

$$i = 1, 2, \dots, m \qquad a\ j = 0, 1, 2, \dots\ n;$$

što daje matricu razvoja parametara:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1(t_o) & Z_2(t_o) & \dots Z_i(t_o) & \dots \\ Z_1(t_1) & Z_2(t_1) & \dots Z_i(t_1) & \dots Z \\ Z_1(t_2) & Z_2(t_2) & \dots Z_i(t_2) & \dots Z \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_1(t_j) & Z_2(t_j) & \dots Z_i(t_j) & \dots Z \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_1(t_n) & Z_n(t_n) & \dots Z_i(t_n) & \dots Z \end{bmatrix} \qquad (15)$$

Analizirajmo sada promene parametra $Z_i(t)$ u posmatranom vremenskom periodu $(t_o,\ t_n)$. S obzirom da će u posmatranom vremenskom periodu doći do poboljšanja i razvoja parametara tehnološkog sistema, za svaki pojedini parametar dobiće se jedan niz tačaka.



Sada je potrebno za svaki sistem tačaka naći i odgovarajući analitički oblik funkcije, tj. odrediti parametar c za svaku funkciju i naći jednačinu krive obvojnice.

Da bi to uradili, konstatujmo da se susedni nizovi tačaka preklapaju u vremenu, tj. da novi c_2 počinje kada je c_1 još uvek determinišući nivo. Razvoj parametra na nivou c_2 dovodi do napuštanja nivoa c_1. Nivo c_3 se javlja, isto tako, kada nivo c_2 još nije iscrpljen, i njegovim poboljšanjem napušta se nivo c_2 itd. Odbacujući tačke koje odgovaraju nižim nivoima razvoja, tj. one gde je došlo do preklapanja nivoa, dobiće se sistem tačaka za parametar $Z_i(t_j)$ koji čini kolonu matrice razvoja. Ovaj postupak se ponavlja za sve parametre i na taj način se dobija čitava matrica. Posle toga se odredi analitički oblik funkcije, tj.:

$$f(t, k_1, k_2 \ldots k_s)$$

gde se koeficijenti k $(k_1, k_2 \ldots k_s)$ određuju traženjem minimuma za f variranjem koeficijenata, odnosno nalaženjem prvih parcijalnih izvoda:

$$\frac{\partial f}{\partial k_1}; \quad \frac{\partial f}{\partial k_2}; \quad \frac{\partial f}{\partial k_s};$$

čijim izjednačavanjem sa nulom dobijamo sistem od s jednačina sa s nepoznatih. Rešavanjem ovog sistema dobijaju se vrednosti koeficijenta $k_1, \ldots, k_s$ za koje je odstupanje analitičkih krivih od tačaka $Z_i(t)$ minimalno.

Posle ovoga se pristupa predviđanju promene parametra $Z_i(t)$ u periodu t_{np}, gde je:

$$Z_i(t_{np}) = f(t_{np})$$

Naravno, isti postupak važi ukoliko se radi o posmatranju s parametra u vremenu, tj. kada koeficijenti $k_1, k_2, \ldots, k_s$ određuju njihove krive razvoja.

Koncept krive obvojnice se, dakle, zasniva na pretpostavci da kretanje sistema u prošlosti predstavlja zadovoljavajući model za budućnost, tj. na pretpostavci da sistem predstavlja simulacioni model sam za sebe. Ovo je sasvim u redu pod uslovom da ne dođe do radikalne izmene sistema pod dejstvom nekog egzogenog faktora. Ekstrapolacijom krive obvojnice automatski se prihvata pretpostavka da će se i u budućnosti zadržati ista stopa inovacija kao i u prošlosti. Na ovaj način se uzimaju u obzir samo »normalne inovacije«, dok su nagle i radikalne izmene potpuno zapostavljene. Međutim, od značaja je činjenica da u mnogim praktičnim radovima gde su veliki tehnološki sistemi predstavljeni krivim obvojnicama evolucija sistema u celini je daleko stabilnija od evolucije njegovih pojedinačnih tehnologija, što govori da izuzetna naučna otkrića ili pak izuzetni događaji (ekonomske krize, ratovi) ne pogađaju u tolikoj meri veliki tehnološki sistem kao što pogađaju individualne tehnologije koje ga sačinjavaju.

Jedan od razloga relativne stabilnosti velikih sistema, pored mehanizma »retroakcije« počiva na zakonu velikih brojeva. Prema ovom zakonu, koji je jedna od fundamentalnih statističkih teorema, jedna dodatna makrovarijabla (tj. suma više komponenata) ima manji koeficijenat varijacije od varijacija mikrovarijabli koje je sačinjavaju.

Pretpostavimo[3]) da je dodatna makrovarijabla definisana sa $P = \sum_{i=1}^{n} x_i$.

Varijansa od P je u tom slučaju:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2$$

odnosno standardna devijacija:

$$\delta_p = \sqrt{\sum_{i}^{n} \sigma_i^2}$$

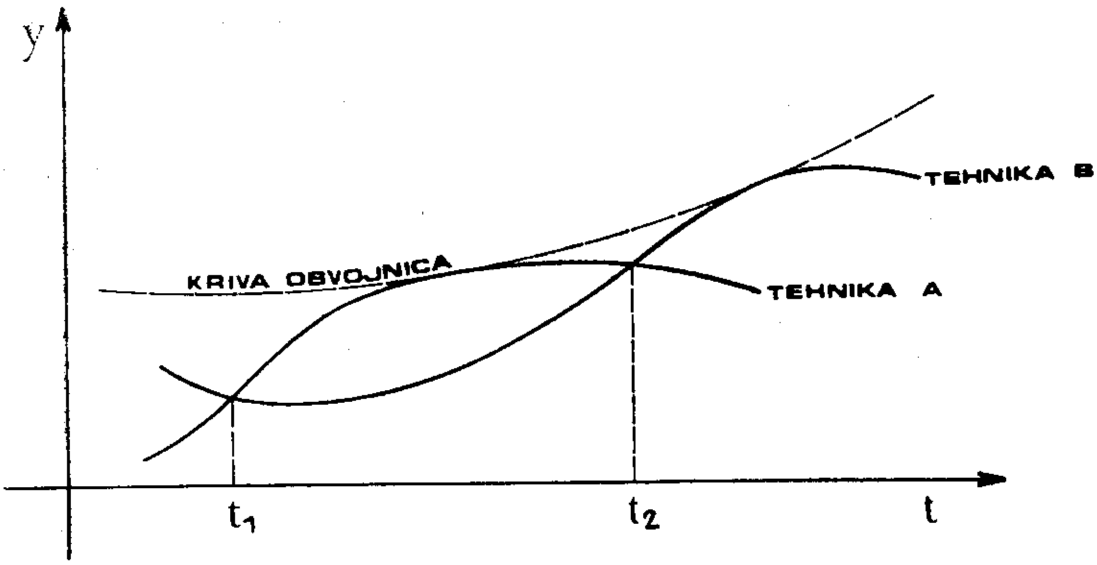
Ako su N varijansi mikrovarijabli približno iste i ako ie $\overline{x}$ njihova aritmetička sredina, onda je $P \approx N\overline{x}$, pa za koeficijenat varijacije imamo odnos:

$$\frac{\sigma\ p}{p} = \frac{\overline{\sigma}}{N\overline{x}}$$

Relativna stabilnost makrovarijable je funkcija vremena reakcije, tj. funkcija brzine širenja neravnoteže (slično širenju talasa na vodi) u čitavom velikom sistemu.

3) E. Jantsch. O. c. 180—186.

Praktična korist od krivih obvojnica je značajna, jer se preko njih sa zadovoljavajućom sigurnošću mogu predvideti efekti novih tehničkih dostignuća.



Sa prethodne slike se jasno očitavaju koristi koje neko preduzeće može izvući koristeći tehniku A, a u isto vreme razvijajući tehniku B, pre nego što A dostigne fazu saturacije. Međutim, ako bi te dve tehnike bile upoređene u momentu t_1, lako je moguć pogrešan zaključak. Korišćenjem krive obvojnice takav zaključak je moguće izbeći, jer se ekstrapolacijom jasno vidi korist od tehnike B u budućnosti.

Institut za ekonomiku industrije, Beograd

Vladimir BAJIC

LITERATURA

1. Croxton F., Cowden D., Klein S., *Applied General Statistics*, Pitman & Sons, London, 1968.
2. Dobrov G., Smirnov L., *Forecast as a Means for Scientific and Technological Policy Control*, UNESCO, GE — 71—2111, 1970.
3. Hoel P., *Introduction to Mathematical Statistics*, John Wiley and Sons, New York, 1965.
4. Jantsch E., *La prévision téchnologique*, OECD, Paris, 1967.
5. Lisickin V., Medvedev V., Perelet V., *Forecasting Scientific and Technological Development; Its Possibilities and Temporal Limits*, GE — 71—2026; UNESCO, 1970.