

RADNICI, RADNA MESTA I PARTICIPACIJA: PREGLED  
NAJNOVIJIH TENDENCIJA U VELIKOJ BRITANiji

Malcolm WARNER

Re z i m e

U ovom članku razmatraju se indirektni, kao i direktni, oblici radničkog uticaja koji karakterišu industrijske odnose u Velikoj Britaniji. Direktni oblik je manje zastupljen nego indirektni. Uzrok za to nalazi se u tome što je postojanje nedovoljnog broja statutarnih zakonskih dokumenata dovelo do prevladavanja indirektnih oblika radničkog uticaja svuda sem u komitetima zdravstva i bezbednosti na radnom mestu. U članku je poseban akcenat stavljen na ulogu kolektivnog pregovaranja i/ili unilateralnu politiku preduzeća. Zaključak članka je da pristup koji ide od vrha ka bazi ne može da bude zamena za potrebu participacije na najnižim nivoima, to jest u samoj bazi.

ECONOMIC ANALYSIS AND WORKERS'  
MANAGEMENT, 1, XI (1982), 51-80

OPŠTI PRINCIPI MODELIRANJA EKONOMSKIH SISTEMA

Rosa ANDŽIĆ\*

ODREĐIVANJE KARAKTERISTIKA I FORMIRANJE MODELA  
SLOŽENIH EKONOMSKIH SISTEMA

Većina sistema, koje izučava ekonomska nauka, može se okarakterisati kibernetičkim pojmom *složen sistem*. Pod ovim pojmom podrazumevaju se sistemi koji se sastoje iz velikog broja međusobno povezanih elemenata. Često se složenim sistemima nazivaju sistemi koji se ne mogu korektno matematički opisati, kako zbog toga što sistem ima veoma veliki broj različitih elemenata, međusobno povezanih na nepoznat način, tako i stoga što su nepoznate prirode pojava u sistemu, te se ne mogu kvantitativno opisati. U drugim slučajevima, pod složenim sistemima podrazumevaju se sistemi pri čijem je izučavanju potrebno rešavati zadatke sa nepojmljivo velikim obimom izračunavanja, ili obraditi veliki obim informacija.

Po Stafordu Biru, svi kibernetički sistemi dele se u tri grupe: prosti, složeni i veoma složeni. Pri tome se smatra veoma bitnim način opisa sistema, "u kome sastavni delovi međusobno deluju na tačno predvidiv način", (te se pri njegovom istraživanju »nikada ne javlja nikakva neodređenost<sup>1)</sup>), za stohastičke sisteme nije moguće ostvarenje tačnog detaljnog predviđanja. Takav sistem može se temeljno i detaljno izučiti i odrediti, sa velikim stepenom verovatnoće, njegovo ponašanje u svim zadatim uslovima. Međutim, on ipak ostaje stohastički, i svako predviđanje njegovog ponašanja ograničavaće okviri stohastičkih kategorija, pomoću kojih se opisuje to ponašanje.

Ekonomski sistemi su složeni stohastički dinamički sistemi, koje karakteriše: višedimenzionalnost, raznolikost strukture, višestruke izmene stanja (povezane sa dostizanjem cilja ili rešavanjem zadatka), višekriterijalnost, opisi jezikom teorije diferencijalnih jednačina i Buvlove algebre, rešavanje odgovarajućih zadataka raznolikim modelima (teorije skupova, apstraktno-logičkim, topološkim, teorijsko-informacionim, heurilističkim, simulacionim) i metodama (dekompozicije, teorije

\* Savetnik za razvoj u SDK Jugoslavije

<sup>1</sup> Bir St. Kibernetika i upravljenje proizvodstvom, Moskva, Nauka 1965., str. 27.

masovnog opsluživanja). Složeni ekonomski sistem, dakle, karakterišu mnoga specifična, za njega, svojstva, koja istovremeno postoje. Najčešće se sreću navedene karakteristike složenosti. Objasnimo ih detaljnije.

Višedimenzionalnost ekonomskog sistema označava velike obime cirkulišuće u njemu informacije, postojanje velikog broja elemenata, itd.

Funkcionisanje sistema izražava njegova struktura. Složenija struktura sistema stvara složenijim celokupni sistem međusobnih zavisnosti njegovih elemenata i njihovog funkcionisanja. Pod raznolikošću strukture podrazumeva se raznovrsnost mogućih formi veze između elemenata sistema, različitost struktura u vidu grafova, i dr. U hijerarhijskom složenom ekonomskom sistemu sam sistem ciljeva ima hijerarhijski karakter, jer se opšti cilj operacije dostiže izvršavanjem hijerarhijskog skupa pojedinačnih operacija različitih rangova. Stoga je graf ciljeva i zadataka identičan grafu operacija, gde vrhovi izražavaju operacije i njihove ciljeve različitih rangova, a linije — odnose između operacija i odgovarajućih ciljeva.

Višekriterijalnost podrazumeva postojanje niza, često suprotnih, kriterija, koje mora da zadovolji sistem. U istraživanju složenih sistema i situacijama igara, često se javlja problem višekriterijalnosti — izabrati rešenje pri postojanju skupa funkcija cilja  $f = \{f_i(\alpha)\}$ , ( $i = 1, 2, \dots, M$ ), gde je  $\alpha$  — neka alternativa, koja predstavlja ili neprekidnu vektorsku promenljivu konveksne zatvorene oblasti (obično određene sistemom linearnih ili nelinearnih nejednačina) ili diskretnu promenljivu, koja uzima konačan skup zadatah vrednosti. Ukoliko se optimum, po svakom kriteriju, ne može uvek dostići za istu vrednost  $\alpha$ , onda se rešenje shvata kao skup efektivnih alternativa. Data alternativa je efektivna, ako nema drugih alternativa, boljih makar po jednom kriteriju i ne gorih po ostalim. Kriteriji skupa  $f$  imaju različit fizički smisao — jedni od njih se maksimiziraju, a drugi minimiziraju. Raznolikost podsistema i elemenata složenog ekonomskog sistema podrazumeva, takođe, raznolikost veza (samim tim i informacije) podsistema na jednom nivou i između različitih nivoa hijerarhije. Mnoga praktična istraživanja u oblasti složenih ekonomskih sistema svode se na traženje ekstremuma složenih kriterijalnih funkcija, pri postojanju ograničenja. Ta složenost je, često, povezana sa stohastičkom prirodom funkcija cilja i ograničenja. Zadaci sa takvim svojstvima su: upravljanje zalihama, perspektivno planiranje, analiza konfliktnih situacija, zadaci projektovanja mehanizama i mašina, itd.

U procesu funkcionisanja sistem treba da pređe u konkretnu oblast stanja, koja se naziva ciljem funkcionisanja. Ciljevi funkcionisanja sistema, sa svoje strane, obezbeđuju se izvršenjem zadataka. Ciljevi i zadaci sistema mogu se predstaviti u vidu određene hijerarhijske strukture. Pri tome, iz ciljeva funkcionisanja sistema proizilaze njegovi zadaci, koje treba da dostignu podsistemi prvog nivoa u procesu njihovog funkcionisanja. Sa svoje strane, iz ciljeva funkcionisanja podsistema prvog nivoa proizilaze zadaci i ciljevi, koje treba da dostignu podsistemi drugog nivoa u procesu njihovog funkcionisanja. Takva hijerarhijska struktura ciljeva i zadataka sistema i svih njegovih podsistema može biti predstavljena u vidu grafa ciljeva i zadataka sistema, čiji vrhovi predstavljaju ciljeve sistema i podsistema, a grane — za-

datke, postavljene pred odgovarajućim podsistemima.

Višestapna izmena stanja sistema podrazumeva sledeće. Ostvarujući skup aktivnosti, usmerenih na dostizanje cilja, ovi sistemi realizuju neki tip ponašanja. Na taj način, ostvarenje skupa aktivnosti predstavlja izmenu stanja sistema i okruženja. Stoga je, bez obzira na ciljeve i zadatke, reč o procesima izmene stanja  $x(t)$  i o procesima na ulazu  $u(t)$  i izlazu  $y(t)$  sistema.

Date karakteristike »složenosti« realno su raznovrsne i, s te tačke gledišta, razlika između upravljačkih i neupravljačkih sistema nije bitna.

Pojam »složeni ekonomski sistem« nije identičan pojmu »veliki ekonomski sistem«, jer poslednji termin karakteriše samo jedno svojstvo »složenosti« — veličinu sistema.

Svaki sistem ima ciljeve, koje treba da dostigne. Rezultati rešavanja zadataka i dostizanja ciljeva ocenjuju se u kategorijama izlaza ili stanja sistema. Kako je moguće menjati stanja i izlaze na račun ulaza, onda se javlja problem formiranja takvih ulaza za koje izlazi određuju rešenje zadatka. Na taj način, dolazimo na problem upravljanja, tj. takvog korišćenja uzročno-posledičnih veza, pri kojima se javlja nejednoznačna reakcija sistema na ulazne upravljačke uticaje. Nejednoznačnost se posmatra ne u smislu konačnog rezultata upravljanja (dostizanja cilja, rešavanja zadatka), već u smislu puteva i načina dostizanja tog rezultata, u smislu ponašanja sistema. Ova nejednoznačnost obezbeđuje slobodu izbora u donošenju odluka, kako bi ponašanje sistema upravljanja, u dostizanju zadanog cilja, bilo, u nekom smislu, optimalno.

Pred složene sisteme postavljaju se i zahtevi dinamičke stabilnosti, pouzdanosti, ekonomičnosti, itd. Sve to svedoči o tome da se pre mogu navesti primeri složenog sistema i karakteristike »složenosti«, nego da se da stroga matematička definicija tog termina.

Opis složenog ekonomskog sistema sastoji se iz dva dela: statičkog i dinamičkog. Na etapi formiranja statičkog opisa, metodom dekompozicije sistema, utvrđuju se svojstva podsistema. Ovde moraju biti razrađena sledeća pitanja: koje će komponente sistema biti uključene u model, koji će elementi biti isključeni ili smatrati se delom okruženja i koje će strukturne međuzavisnosti biti utvrđene. Na drugoj etapi opisa razmatraju se izmene. Naime, pojašnjava se koje su izmene stanja moguće u sistemu i okruženju i koji je redosled ovih izmena. U slučajevima kada se ni na osnovu sadašnjih uslova, niti na osnovu prošlog iskustva, ne može izabrati metod rešavanja problema, javlja se potreba razrade nove strategije traženja rešenja heurističkim metodama (heurističko rasuđivanje, metodi heurističkog programiranja, koji doprinose skraćivanju rokova rešavanja upravljačkih problema).

U procesu formulisanja modela, koji je do nekog stepena individualan, odlučujuću ulogu imaju ekspertne ocene i intuicija. Uporište na metod ekspertnih ocena karakteriše sve aspekte modeliranja — primenjuje se pri izboru najboljeg prilaza, u rešavanju pitanja šta se uključuje u model, u projektovanju i reprodukovanju modela, kod izbora činjenica i ocene njihove relativne važnosti, a takođe interpretaciji rezultata.

Međutim, za daleke perspektive i složene pojave, pouzdanost eksperimnih ocena postaje niska. Sem toga, eksperti ne mogu da proanaliziraju veliki broj varijanata. Za ovo se koristi simulacija, jer se pomoću modela odgovarajućeg procesa i računara mogu, sa velikom brzinom, istražiti različite varijante. U tom slučaju, eksperti iznose varijante, a računar daje rezultate svake od njih pri izmeni različitih uslova.

Svako istraživanje sastoji se iz dve etape: isticanja stvarnog stanja i analize. Prva etapa je tesno povezana sa tačnim definisanjem prirode sistema. Analiza je povezana sa registrovanjem i osmišljavanjem skupa činjenica, u cilju isticanja strukture sistema do njegovog modeliranja. S tim u vezi, naše akcije moraju biti sledeće: postavka »dijagnoze« na osnovu simptoma — definisanje zadatka — primena odgovarajućih metoda, odnosno formulisanje modela.

Dakle, definisanje zadatka prevodi opis sistema na jezik naših formalizovanih modela. Ovaj proces se, još uvek, shvata krajnje slabo. te još predstoje kompleksna istraživanja koja bi omogućila da se razradi logički zasnovana strategija, potrebna za formulisanje problema. Savremena tehnika formulisanja zadataka veoma je gruba i neprecizna u poređenju sa snagom i tačnošću naših formalizovanih metoda modeliranja. Da bi se pravilno formulisao zadatak moraju se izučiti svi aspekti delatnosti organizacije, koja se odnosi na dati zadatak. Ovde ubrajamo faktore koji deluju van organizacije, koji mogu imati uticaja na njeno funkcionisanje, a takođe shvatanje subjektivnih i objektivnih aspekata problema. Ovde je potrebna stalna analiza konkretne situacije. Često se, na ovom stadijumu, mogu slučajno dobiti veoma važni, za rešavanje zadatka, podaci, koji, međutim, mogu biti neobuhvaćeni zbog neshvatanja njihovog značenja.

Istraživanje složenog ekonomskog sistema obuhvata: logičnu analizu uzročno-posledičnih veza njegovih podsistema i elemenata; njihovu statističku analizu (provera hipoteza o karakteru rasporeda odgovarajućih veličina i režima funkcionisanja sistema); dobijanje statističkih podataka, potrebnih za formulisanje i praktično korišćenje modela sistema; razradu (ili sastavljanje) modela, koji opisuju složeni ekonomski sistem, njegovu potpunost polaznim podacima i eksperimentalnu proveru; dobijanje traženih ocena, njihovu svestranu analizu i iznalaženje načina poboljšanja kvaliteta funkcionisanja sistema. S tim u vezi model složenog ekonomskog sistema karakteriše: obuhvatanje velikog broja komponenata sistema; odražavanje uzročno-posledičnih veza koje hoćemo da obuhvatamo, te, prema tome, odgovarajući oblik kvalitativnih i kvantitativnih veza u sistemu; pogodnost za odražavanje »neprekidnih« međusobnih veza, kako diskretne veličine, koje se uvode u vremenskom intervalu između rešenja, ne bi imale uticaja na rezultate. Međutim, model treba da omogući diskretne izmene u rešenjima.

Dane zahteve zadovoljava dinamička struktura složenog ekonomskog sistema, koja se sastoji iz »rezervoara« ili nivoa, međusobno povezanih tokovima upravljanja.

Složeni ekonomski sistem, njegovi podsistemi i elementi, mogu se izraziti u vidu hijerarhijske strukture (grafa), predstavljene na sl. 1. Takav graf naziva se strukturnim grafom sistema. Vrhovi grafa sim-

bolički izražavaju elemente sistema (upravljački i elementi upravljanja), a grane — odnose, koji postoje među tim elementima. Broj vrhova strukturnog grafa sistema uvek je konačan, pošto se sistemi sastoje iz konačnog broja elemenata, dinamički i funkcionalno povezanih u jednu celinu.

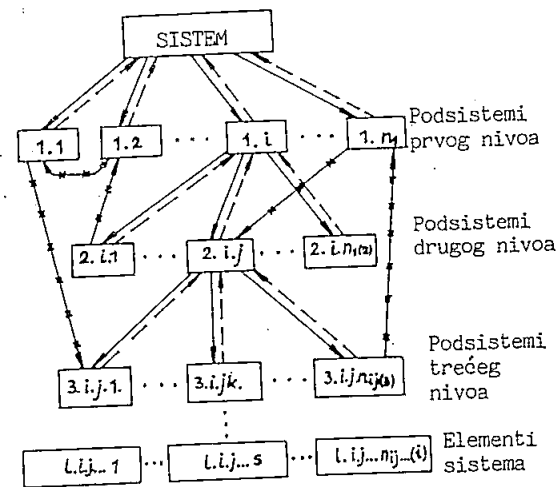
U sistemu (a takođe na njegovom strukturnom grafu) predstavljena su tri oblika odnosa (sl. 1). Ovi odnosi su izraženi sa tri vida strelica — odnos uticaja (puna strelica), odnos izvršavanja (isprekidana strelica) i odnos međusobnog dejstva (strelica sa zvezdicama).

Odnos uticaja karakteriše se time što upravljački element može da utiče, putem različitog vida upravljanja, na upravljački ili element upravljanja i programski da menja njegovo stanje.

Odnos izvršavanja i međuzavisnosti karakteriše sledeće: dati element »podvrgava se« upravljanju od strane elementa kome je usmerena isprekidana strelica, odnosno između dva elementa (po pravcu strelice sa zvezdicama) ostvaruje se određena razmena materijalnih i informacionih resursa, ili oba istovremeno. S tim u vezi, upravljanje promenama u složenim ekonomskim sistemima iskazuje prelaz sa upravljanja podsistemima na upravljanje resursima. Razume se, dinamički se prestrojavaju veze (informacione i organizacione, unutrašnje i spoljne) da bi se osigurali optimalni grafovi ciljevi—zadaci, proverila ulaganja i efektivnost i, s tim u vezi, uskladile organizacione strukture komuniciranja.

Odnos uticaja i izvršavanja karakteriše se, po pravilu, samo informacionim vezama. Od upravljačkog elementa prema upravljanoj elementu usmerava se informacija, koja određuje u kakvo stanje treba da dođe element upravljanja, od kojeg se predaje upravljačkom elementu informacija stanja, koja opisuje stanje elementa upravljanja.

Kod složenih ekonomskih sistema, koji se sastoje iz niza sistema-komponenta, ulazi jednih sistema su izlazi drugih, a sve međuzav-



Sl. 1

visnosti nemaju karakter veza tipa jednačina stanja sistema. Velika grupa veza ima karakter hipoteza ponašanja i obezbeđuje se preko operatora, koji opisuju procedure optimizacije ili, uopšte, ne mogu se formalizovati. Sem toga, veoma često se ne znaju mehanizmi veze i formalizuju se kao crna kutija. Međutim, ne jednostavno kao sistem ulaz-izlaz, koji veoma mnogo koristi škola Forrester-a, već da je izlaz neka funkcija ulaza i stanja sistema.

Proizvodni proces se, na primer, opisuje skupom odnosa preko kojih se definišu stanja, tj. veličine sa kojima želimo da upravljamo. Ove veličine određuju se a priori, na osnovu ulaznih veličina, koje su li poznate iz prethodnog perioda, ili su, sa određenom verovatnoćom, pretpostavljene veličine.

Ponašanje sistema definiše se operatorom, određenom na prostoru stanja, ulaza i stohastičkih parametara. S tim u vezi, pod upravljanjem se posmatra korišćenje uzročno-posledičnih veza, pri kojima se javlja nejednoznačna reakcija sistema na ulazne upravljačke uticaje (strategije): planirana količina proizvoda u datom vremenskom intervalu, u zadatom asortimanu i uz istovremeno isticanje potrebnih resursa. Nejednoznačnost treba posmatrati ne u smislu konačnog rezultata upravljanja (dostizanja cilja, rešavanja zadatka), već u smislu puteva i načina dostizanja tog rezultata, u smislu ponašanja sistema. Ova nejednoznačnost između upravljačkog ulaza i stanja (ponašanja) sistema otkriva mogućnost ne samo optimizacije njegovog ponašanja, već i optimalne reakcije na uticaje okruženja (stohastički parametri). Ovi uticaji, na datom intervalu, predstavljaju strategiju okruženja. S druge strane, strategija upravljačkog sistema su upravljački uticaji.

Kompleksno izučavanje složenih ekonomskih sistema pruža mogućnost dobijanja neophodne informacije i, prema tome, priprema osnovu za donošenje odluka u vezi režima funkcionisanja sistema, poboljšanja njegove organizacije, itd. Pri tome se uzima u obzir okolnost da analizirani sistemi već funkcionišu ili se još samo projektuju. U prvom slučaju donesene odluke mogu biti upućene na povećanje kvaliteta funkcionisanja sistema, poboljšanje njegove organizacije u skladu sa prihvaćenim kriterijem kvaliteta rada sistema. U drugom slučaju, u zavisnosti od uslova u kojima će funkcionisati sistem, njegovih razmera, itd., ocenjuju se, a u nizu slučajeva predviđaju, kvalitativna svojstva sistema. Posebno se proverava mogućnost pojave nedopustivih i neželjenih događaja.

Kao osnova za donošenje odluka služe komponente, koje karakterišu različite aspekte funkcionisanja kako sistema u celini, tako i njegovih podsistema.

U vezi osnovnih etapa procesa donošenja odluka, osnovne faze informacionog procesa formiranja programa mogu se, uopšteno, predstaviti na način kako je pokazano na sl. 2.



Sl. 2

Na izlazu treće faze završava se proces donošenja odluka i formira informacija, kojom se odgovara na pitanje ko, šta (faza 3), sa kojim kvalitetom (faza 2) i koje su aktivnosti potrebne za dostizanje cilja (faza 1). U fazama 4 i 5 određuje se kojim sredstvima (resursima) i kada (u kojim rokovima) treba da se izvrše operacije. Na taj način, na izlazu pete faze formira se informacioni proces realizovanog procesa donošenja odluka, koji sadrži informaciju potrebnu za prelaz na etapu realizacije programa.

Detaljizacija ove šeme (sl. 2), koja odgovara opštem modelu osnovnih etapa ciklusa formiranja programa, dovodi do procedura, koje opisuju transformaciju informacije u procesu donošenja odluka. Tako neformalno formiran proceduralni opis, koji određuje skup blokova koji rešavaju zadatke procesa donošenja odluka i informacione veze između njih, uzimamo kao logičnu osnovu za objedinjavanje različitih zadataka analize složenih ekonomskih sistema i njihovih modela u opšti model. Za svaki blok takav opis određuje, kakvu i u kojoj formi informaciju on dobija na ulazu, u koji oblik se ona transformiše na izlazu i gde se (na koji blok) ona predaje. Svaki blok u realnim procedurama predstavlja se, odgovarajućim za njegov rad, donosiocem odluke.

Realizacija, na taj način, formiranih procedura procesa donošenja odluka pretpostavlja potrebu sistemске analize svih karakteristika programa i njihove međusobne veze. To dovodi do složenih operacija obrade ogromne informacije, što se ne može realizovati bez primene računara. Međutim, već na prvim koracima primene računara javljaju se ozbiljne teškoće pri formalizaciji i automatizaciji na računaru niza osnovnih procedura donošenja odluka. Deo tih teškoća povezan je sa »bolestima rasta« još uvek, nedovoljnim razvikom opštih automatizovanih simulacionih modela, a delom ima principijelni karakter. Na taj način, zahtev sistemskog prilaza za rešavanje praktičnih problema dovodi do potrebe postojanja, u procedurama donošenja odluka, neformalnih operacija, ukoliko se u okvirima modela javljaju pojmovi, koje je nemoguće opisati na jeziku tog modela. Ti i niz analognih zaključaka dovode do potrebe razrade opštih simulacionih modela dijalognih procedura donošenja odluka u složenim ekonomskim sistemima. Takvi automatizovani simulacioni modeli obuhvataju prednosti računara pri izvršenju formalizovanih operacija (brzina, memorija, tačnost) i sadrže stvaralačke sposobnosti, intuiciju i iskustvo čoveka, koje ostvaruje operacije koje se ne mogu formalizovati. Intuicija pomaže da se savlada protivrečnost između činjenice da je »sve povezano sa svim« i praktične potrebe da se obuhvate faktori, koji imaju potencijalni uticaj na rešenje, na način da se proces može istraživati u toku realnog vremena. Procedure formiranja opšteg automatizovanog simulacionog modela složenog ekonomskog sistema sadrže blokove, u kojima operacije, transformaciju informacije, delimično obavlja donosilac odluke, a delom se izvršavaju automatski — pomoću modela realizovanih na računaru.

Osnovne funkcionalne blokove složenih ekonomskih sistema čine tri različite vrste komponentata:

— *elementi transformacije*, u kojima se jedan ili nekoliko ulaza transformišu u jedan ili nekoliko izlaza;

— *elementi sortiranja*, u kojima se jedan ili nekoliko ulaza raspoređuju (sortiraju) na dva ili nekoliko različitih izlaza;

— *elementi povratne sprege*, u kojima se ulaz, na neki način, menja u zavisnosti od izlaza.

U zavisnosti od realizacije modela, može se razmatrati ili specifični karakter rada komponente, ili samo vreme, potrebno komponenti za izvršenje svoje operacije. Proces transformacije može biti ili deterministički (izlaz jednoznačno određuje ulaz), ili stohastički (za zadati ulaz vrednost izlaza je neodređena). U bilo kom slučaju, stepen teškoće, sa kojim određujemo i zadajemo strukturu komponenata sistema, veoma jako zavisi od apriornog znanja sistema. U slučaju potpuno nepoznate prirode istraživanog procesa ili sasvim slabo poznate, suočavamo se sa zadatkom identifikacije *crne kutije*. Tada se obično pokušava sa opisom sistema linearnim ili nelinearnim jednačinama opštih karakteristika. U drugim slučajevima, suočavamo se sa zadatkom identifikacije *sive kutije* — mnogo znamo o prirodi procesa i ispitujemo nedostatak zaključaka samo o konkretnim vrednostima nekih parametara.

Put koji sledimo pri pokušaju utvrđivanja strukture ili prirode procesa transformacije u svakoj komponenti sistema zavisi od naših apriornih znanja o sistemu. Prethodno iskustvo sastavljanja modela pokazuje da se kod razrade modela, često, ulazi u sledeće tipične situacije:

— struktura sistema je dosta dobro poznata, ili toliko jednostavna, da se može razjasniti neposrednim izučavanjem, ili u radu sa tim ko je angažovan u konkretnom podsistemu;

— struktura nije očigledna, ali je analogna nekoj strukturi, za koju postoji teorijski opis;

— struktura sistema nije jasna, ali se može iskazati iz statističke analize podataka, koji opisuju operacije u sistemu. Pri tome je obično potrebno znanje nekih promenljivih, koje imaju važnu ulogu u ponašanju sistema;

— nije moguće podeliti, analizom postojećih podataka, efekte koje izazivaju pojedinačne promenljive, što nas upućuje na eksperiment;

— nikakvih podataka o operacijama u sistemu nema, te se ne može izvesti nad njima direktni eksperiment.

U vezi s tim što ponašanje složenog ekonomskog sistema predstavlja, u krajnjoj liniji, kompleks operacija, mogu se izdvojiti opšti zadaci za završne etape procedura donošenja odluka, u celini, u složenim ekonomskim sistemima. Ti zadaci, povezani, u prvom redu, sa formiranjem procedura čovek-računar formiranja sistema terminalnih programa, svode se na probleme modeliranja procedura raspodele ograničenih resursa između kompleksa operacija u složenom ekonomskom sistemu.

Problem modeliranja procedura donošenja odluka razlaže se na dva zadatka:

— algoritimizaciju, na računaru, procedure formiranja skupa dopustivih varijanata projekta  $\{p(u)\}$ ,  $u \in U$ , gde je  $u$  — upravljački parametar;

— modeliranje i algoritimizaciju operatora  $\xi$  izbora optimalnog projekta  $P^*$ , gde je  $\xi$  — operator izbora pri donošenju optimalne odluke:

$$p^* = \xi(P(u)) = \text{extr}\{F(P(u))\}, \\ u \in U$$

Prvi zadatak ne izaziva principijelne teškoće i svodi se, kao obično, na rešavanje uprošćenih modela: tehnoloških mrežnih modela terminalnih programa i sistema jednačina, koje opisuju mogućnosti u resursima i tehnologiji date organizacije.

Drugi, važniji zadatak pri postojanju kvantitativne informacije o kriterijalnoj funkciji  $F(u)$ , svodi se na rešavanje, u automatizovanom režimu na računaru, modela matematičkog programiranja i drugih modela operacionih istraživanja. Međutim, u opštem slučaju, tipičnom za praktične zadatke, takva informacija nedostaje i operator predstavlja skup neformalnih pravila, metoda itd., koja koristi donosilac odluke. U tom slučaju, za korektno formiranje čovek-računar procedure donošenja odluka, potrebne su neke principijelne pretpostavke o svojstvima operatora  $\xi$ . Te se pretpostavke formulišu u vidu niza hipoteza, koje se zatim formalizuju u vidu aksioma i služe kao osnova za formulisanje modela, koji koriste pojmove teorije skupova, teorije grafova, matematičke logike.

Na primer, osnova hipoteze programskog prilaza o naučnom procesu odlučivanja za jedinstven cilj dovodi do formiranja modela operatora  $\xi$  na osnovu korišćenja orijentisanog grafa, koji izražava strukturu sistema na skupu alternativnih varijanata projekta. Na osnovu korišćenja takve vrste modela formira se dijalogna procedura, određuju njene osnovne karakteristike (tačnost, složenost) i zahtevi za njima, povezani sa zahtevima obezbeđenja uslova donosioca odluke.

Svojstva takvih modela istražuju se pri različitoj informisanosti u vezi operatora  $\xi$ . Pri tome, rezultati analize niza strukturalnih svojstava  $\xi$ , koji se određuju hipotezama o specifičnosti razmatranih podataka, govore o realnosti dobijanja tačnog rešenja zadatka izbora, za prihvaćeni broj iteracija, dijalogne procedure. To se potvrđuje i eksperimentalnim istraživanjem nekih procedura, na čijem svakom koraku računar predlaže rukovodiocu dopustive, po resursima, varijante projekta  $P$ , a donosilac odluke bira optimalnu varijantu itd., dok se ne odredi najpogodniji po  $\xi$  projekat.

Nakon završetka dijaloga vrši se prelaz na kvantitativno izražavanje, određuje se skalarni izraz funkcije kriterija  $F$ , koji je u skladu sa operatorom  $\xi$ . To omogućuje korišćenje relativno dobro razrađenih modela i metoda analize složenih ekonomskih sistema za automatizovano rešavanje zadataka raspoređivanja resursa velikih razmera.

Na toj osnovi razmatraju se procedure agregiranja i dezagregiranja, koje formiraju zahteve tipa ulaz-izlaz. Na primer, troškovi-efektivnost, prema blokovima (operatorima) agregiranja, za koje se mogu iskoristiti različiti automatizovani simulacioni modeli.

Među metodama modeliranja, simulacija je, dakle, jedan od najmoćnijih instrumenata istraživanja složenih ekonomskih sistema, up-

pravljanje kojima je povezano sa donošenjem odluka u uslovima neodređenosti. Ovo stoga, što omogućuje razmatranje velikog broja alternativa, poboljšanje kvaliteta upravljačkih odluka i prognoziranje njihovih posledica. Istovremeno, savlađuju se takve teškoće za široko korišćenje složenih simulacionih modela u procesima donošenja odluka, kao što su nedovoljna elastičnost i teškoća odražavanja, u njima, dinamičke i višenivojske strukture upravljanja.

#### MODELIRANJE KAO METOD ISTRAŽIVANJA EKONOMSKIH SISTEMA

U istraživanju ekonomskih sistema modeli se koriste, u prvom redu, u procesu donošenja odluka, za proveru rezultata mogućih varijantna rešenja i izbor optimalne i, makar, celishodne varijante. Utvrđena varijanta rešenja pretvara se u normativni model budućeg stanja i sistema upravljanja i kao model se koristi za ocenu njegovog stanja i upravljanja. Provera varijantna rešenja i izbor optimalnog, upravljanje promenama u ekonomskom sistemu, oformili su se u samostalan naučni pravac — operaciona istraživanja. Metodi modeliranja, zajedno sa informacionim sistemima i računarskom tehnikom, otkrivaju grandiozne perspektive u istraživanju složenih ekonomskih sistema. U tom kontekstu ne može se zanemariti činjenica da čovek i samo čovek ima odlučujući uticaj na sve procese koji nastaju u proizvodnji i društvenom razviku. Naime, uporedo sa procesima mišljenja, koji se podvrgavaju formulisanju i formalizaciji, prisutno je i stvaralačko mišljenje, u procesu kojeg računar istupa kao pomoć čoveka stvaraoaca. A to je povezano sa problemom modeliranja u upravljanju.

Stvaralački modelski prilaz rešavanju različitih problema, sa kojim se srećemo u analizi složenih ekonomskih sistema, u većini slučajeva, označava povećanje nivoa rešavanja složenih problema upravljanja. Međutim, modeli upravljačkih problema nikada ne mogu biti univerzalni. Sem toga, faktori koji u modelu nisu odraženi, pri datoj situaciji, ne mogu delovati na proces upravljanja u meri da bi, doneti na osnovu modela zaključci bili neprihvatljivi. Takvu ograničenost izražajne sposobnosti modela ne treba precenjivati. Ne postoji, u praksi, takva alternativa, koja bi omogućila da se izmere, u rešavanju, svi aspekti i faktori koji imaju uticaja na rešavanje problema upravljanja promenama u ekonomskom sistemu.

Za modelski prilaz rešavanju problema važno je da model, posebno matematički, odražava strukturu datog problema na formalan način, potreban za njegovu daljnju obradu na računaru. Pri tome, ukoliko subjekt, koji rešava problem upravljanja, ima na konstrukciju modela direktan uticaj, on može da obuhvati modelom sve elemente relevantne za rešavanje u datoj situaciji. Međutim, javljaju se momenti, koji se ne mogu predstaviti na modelu, te se, po pravilu, ne mogu obuhvatiti i pri drugim izračunavanjima. Ukoliko takvi momenti, u datoj situaciji, uslovljavaju problem, onda njegovo rešavanje treba zasnivati ne na kvantitativnim, već na drugim rasuđivanjima. Modelski prilaz, dakle, nije iscrpljujući, jedini, univerzalni prilaz rešavanju svih problema upravljanja. S druge strane, sam proces modeliranja, posebno na etapi

traženja nivoa apstrakcije, adekvatnog ciljevima koje treba dostići, rešavajući dati problem, primorava subjekta da dublje upozna svu problematiku upravljanja.

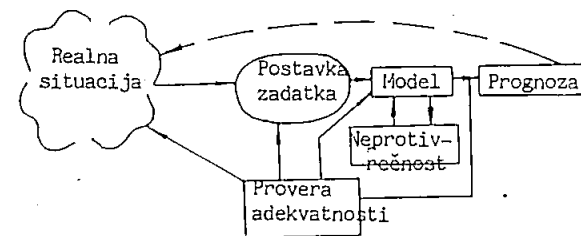
Modelske prilaz omogućuje nalaženje različitih mogućih varijanata rešavanja problema upravljanja. A od varijantnog mišljenja do optimizacionog rešenja ostaje samo jedan korak. Optimalno rešenje problema, sa kojima se srećemo u praksi upravljanja u sistemu, po pravilu, nije moguće bez korišćenja računara. Time se zatvara lanac problema savremenog upravljanja.

U oblasti upravljanja primenjuju se ekonomsko-matematički i simulacioni modeli ekonomskih procesa i pojava.

#### (a) OPIS METODA MODELIRANJA

Po Naylor-u i Tocher-u<sup>2</sup> ne postoje potpuno prihvatljive definicije modeliranja. Sledeći definiciju Naylor-a,<sup>3</sup> definisacemo modeliranje u širem smislu kao »eksperimentisanje sa modelom u vremenu«. Razmotrimo ovu definiciju detaljnije.

Modeliranje pretpostavlja eksperimentisanje, ali ne sa realnim sistemom, već sa njegovim modelom (sl. 3). Ponašanje sistema razmatra se u vremenu. Dakle, objekt istraživanja, metodama modeliranja, je sistem.<sup>4</sup>



Sl. 3

Modeli složenih ekonomskih sistema sastavljaju se u vidu blok-šema.<sup>5</sup> Ove blok-šeme sastoje se iz niza elementarnih blok-šema, me-

<sup>2</sup> Naylor et al. — *Computer Simulation Techniques*, Wiley, New York, 1967, str. 2.

<sup>3</sup> Tocher K.D. — *The state of the art of simulation — A survey*. Proc. 4th Intern. Conf. Operational Res., str. 693—695.

<sup>4</sup> Ibid., str. 3.

<sup>5</sup> Po P. J. Kiviat-u (*Digital Computer Simulation: Modeling Concepts* RM-5378-PR, The Rand Corporation, Santa Monica, Calif, 1967, str. 5) veoma često se termini »modelirani sistemi« i »modeliranje« koriste kao sinonimi.

<sup>6</sup> Složeni ekonomski sistemi sastoje se iz niza sistema-komponenta, te su ulazi jednih sistema izlazi drugih. Njihovi modeli se sastavljaju u vidu blok-šema. U modelu »proizvodnja-zalihe« T. H. Naylor-a (Naylor T. H. et al. — *Computer Simulation Techniques*, Wiley, New York, 1967), na primer, blok-šema pokazuje odnos između komponenta sistema.

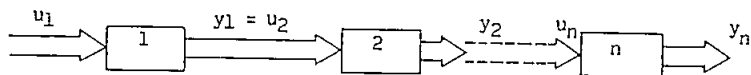
dušobno povezanih strelicama koje označavaju, da su ulazi i izlazi vektorske funkcije  $u, y$  (sl. 4). Ulaz sistema  $u(t)$  određuje komponente njegovog stanja<sup>6</sup>

$$x(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)),$$

a izlaz  $y(t)$  određuje se pojmovima ulaz-stanje i izlaz. Stoga se model ovih sistema određuje na sledeći način

$$S = (U, Y, E),$$

gde su:  $U$  — prostor ulaza, tj. skup svih ulaza, takvih da svakom ula-



Sl. 4

z odgovara izlaz, tj. par  $(u, y) \in E; Y$  — prostor izlaza, tj. skup svih izlaza, takvih da je svaki izlaz uslovljen ulazom, pri čemu  $(u, y) \in E; E$  — skup parova ulaz-izlaz, na način da  $(u, y) \in E$ .

Skup  $E$  naziva se karakteristikom sistema  $S$  ili stepenom odlučivanja, na bazi kojeg se utvrđuje optimalni raspored vertikalnih i horizontalnih veza u sistemu. Drugim rečima, skup  $E$  određuje odnos, kojim se utvrđuje zavisnost ulaza od izlaza, tj.  $E \subset UY$ .

U modelu kontrolnog sistema proizvodnje OOUR-a, metodom simulacije, materijalni i tehnološki tokovi opisuju se u podsystemima — nivou i funkcije rešenja, koje regulišu tempo toka između nivoa. Pri tome, nivou predstavljaju izlaze, a tokovi — stanja. Naime, u ovom modelu pod nivoima se podrazumeva: vrsta kontrole kvaliteta, šifre odstupanja, šifre lošeg kvaliteta, tipovi proizvoda, radne jedinice, tehnološke operacije u radnim jedinicama, pregled delova lošeg kvaliteta koji nemaju cene, pregled neispravnih blokova, pregled prijavljenih količina i vrednosti poluproizvoda. S druge strane, pod stanjima se podrazumeva: stanje materijala, količina minimalne zalihe, količina kritične zalihe. I nivou, i tokovi (izražavaju stanje, koje je rezultat aktivnosti u sistemu) opisuju se odgovarajućim diferencnim jednačinama.

Dakle, matematički model ekonomskog sistema (procesa, pojave) obuhvata tri grupe elemenata: karakteristike sistema koje treba odrediti (nepoznate veličine) — vektor  $Y = (y_j)$ ; karakteristike spoljnih (u odnosu na modelirani sistem) promenljivih uslova —  $U = (u_i)$ ; skup unutrašnjih parametara sistema —  $E$ .

Matematički model može se definisati kao spoljni transformator spoljnih uslova sistema »ulaza« ( $U$ ) — u tražene karakteristike sistema

<sup>6</sup> Pod komponentama stanja sistema podrazumevamo parametre, događaje, promenljive veličine, procese.

— »izlaza« ( $Y$ ). Po načinu izražavanja odnosa između spoljnih uslova, unutrašnjih parametara i traženih karakteristika, matematički modeli se dele na *strukturne* i *funkcionalne*.

Strukturni modeli ekonomskih sistema odražavaju njihovu unutrašnju organizaciju — podsysteme i elemente, unutrašnje parametre, njihove veze sa »ulazom« i »izlazom«, itd.

Moguća su tri oblika strukturnog modela:

— sve nepoznate se izražavaju u vidu eksplicitnih funkcija od spoljnih uslova i unutrašnjih parametara sistema.

$$y_j = f_j(E, U); \quad (1.1)$$

— nepoznate se određuju zajedno iz sistema poznatih odnosa i-tog oblika (jednačina, nejednačina, itd.):

$$i(E, U, Y) = 0; \quad (1.2)$$

— model obuhvata odnose tipa (1,2), ali je konkretni oblik ovih veza nepoznat. Modele ove vrste označavaćemo nadalje sa (1.3).

Modeli tipa (1.1) — (1.2) predstavljaju sasvim određene matematičke zadatke, koji se mogu rešiti formalnim ili numeričkim algoritmima. Model (1.1) daje analitičko rešenje. Očigledno, dobijanje rešenja u takvom obliku veoma je primamljivo i sa praktične tačke gledišta — jednostavnost izračunavanja pomoću formula. Međutim, mogućnosti sastavljanja takvih modela principijelno su ograničene. Za mnoge matematičke zadatke rešenja se ne mogu izraziti u formalnom, analitičkom obliku.<sup>7</sup> Za rešavanje zadatka (1.2), koji se ne svodi na zadatak (1.1), potrebno je naći algoritam.<sup>8</sup> Međutim, analiza takvog zadatka može ne samo dati algoritam za nalaženje parcijalnih rešenja (za dati skup spoljnih i unutrašnjih parametara), već i da otkriva opšta (kvalitativna) svojstva rešenja, relativno nezavisna od konkretnih vrednosti parametara.

Modeli tipa (1.3) ne svode se na precizno određene matematičke zadatke i zahtevaju specijalne tehnike za dobijanje rešenja. Takvi se modeli javljaju u pokušajima matematičkog opisa složenih sistema. Za istraživanje ovih sistema koriste se teorija stohastičkih procesa, teorija igara i statističkih odluka, teorija algoritama, algoritamski opis procesa funkcionisanja složenih sistema, itd. Aktivnu ulogu u procesu modeliranja (kao i u sastavljanju modela) imaju računari. Skup metoda u istraživanju modela datog tipa naziva se *simulaciono* modeliranje.

U modeliranju složenih ekonomskih sistema često se koristi sledeći prilaz. Za istraživanje procesa sastavlja se neki *algoritam modeliranja* za računar, koji simulira uzajamno dejstvo elemenata procesa i omogućuje određivanje  $Y$  za zadate vrednosti  $E$  i  $U$ . Pri tome se za opis po-

<sup>7</sup> Rešenja algebarskih jednačina petog i viših stepena, na primer, ne mogu se izraziti formulom. Sem toga, mnoge diferencijalne jednačine nemaju rešenja, koja bi se mogla izraziti u »konačnom« obliku, preko analitičkih funkcija, algebarskih operacija i operacija integracije.

<sup>8</sup> Izračunavanje formulama predstavlja poseban slučaj algoritma (formalni algoritam). Međutim, svaki algoritam ne može se izraziti formulom.

jedinačnih delova celokupnog procesa i njihovih međusobnih uticaja mogu upotrebiti »obični« matematički modeli. U budućnosti će se, očigledno, moći sastavljati univerzalni algoritmi modeliranja, koji će postati opštiji oblik matematičkog istraživanja od formalnih i numeričkih algoritama.

Model (1.3) daje nejasan opis unutrašnje organizacije (strukture) sistema, te se nalazi između strukturnih i funkcionalnih modela. Osnovna ideja funkcionalnih modela je utvrđivanje suštine sistema preko najvažnijih njenih ispoljavanja: delatnost, funkcionisanje, ponašanje. Unutrašnja struktura sistema, pri tome, se ne izučava, a informacija o strukturi se ne koristi. Apstraktni izraz sistema, koji se izučava pomoću funkcionalnog modela je »crna kutija« — sistem, čija je unutrašnja struktura potpuno nepoznata. Funkcionalni model simulira ponašanje sistema na način: zadavanjem vrednosti »ulaza« (U) dobijaju se vrednosti »izlaza« (Y), bez informacija o E, tj:

$$Y = D(U) \quad (1.4)$$

Na taj način, formiranje funkcionalnog modela znači utvrđivanje operatora D, koji povezuje U i Y.

Upoređivanje strukturnih i funkcionalnih modela ima relativni karakter. Izučavanje strukturnih modela daje, istovremeno, informaciju o ponašanju sistema, o tome kako sistem reaguje na izmenu spoljnih uslova. Sa druge strane, proučavanjem funkcionalnih modela postavljaju se hipoteze o unutrašnjoj strukturi sistema (kao uzroka određenog ponašanja) i otkriva put za strukturnu analizu.

U modelima složenih ekonomskih sistema promenljive se dele na endogene i egzogene. Sledeći terminologiju teorije sistema, egzogene (nezavisne) promenljive mogu se podeliti na upravljачke i neupravljачke. Neupravljачke promenljive (na primer, spoljnotrgovinska tražnja) su ulazne promenljive sistema. Promenljive upravljanja su promenljive na koje se može uticati pomoću određenih komponenti sistema. Vrednosti endogenih promenljivih zavise od modela. U sistemskoj terminologiji ove zavisne promenljive mogu se podeliti na promenljive koje opisuju stanje sistema, i na izlazne. Sem promenljivih, razlikuju se još parametri modela. Parametri kvantifikuju uticaj endogenih promenljivih i, za razliku od egzogenih promenljivih, predstavljaju konstante.

Odnosi opisuju veze između promenljivih i parametara. Ovi odnosi se mogu podeliti na identifikujuće, ili određujuće, i operacione karakteristike. Sem toga, možemo proučiti različite modele, koji se razlikuju međusobno po egzogenim promenljivim, parametrima ili odnosima. Ono što se menja u modelu od jedne njegove varijante do druge — egzogena promenljiva, parametar ili odnos — naziva se faktorom, sa tačke gledišta statističke teorije planiranja eksperimenta.

U slučaju izmene jednog ili više faktora, menjaće se, takode, izlazne promenljive. U terminologiji planiranja eksperimenta izlazna promenljiva naziva se transformacijom.<sup>9</sup>

Model ekonomskih sistema povezuje endogene promenljive sistema sa njegovim upravljačkim i egzogenim promenljivim. Egzogene (nezavisne) promenljive određuju uticaji, čiji se izvori nalaze van sistema. Neke od njih mogu biti stohastičke, druge izražene u vidu vremenskih trendova. Uvođenje u model stohastičkih veličina stvara niz metodoloških problema, koji se ne javljaju pri korišćenju determinističkih modela.

Formiranje modela ekonomskog sistema počinje od izbora promenljivih modela. Po pravilu, endogene promenljive modela teško je birati, pošto se obično određuju već u procesu formulisanja ciljeva istraživanja. Teškoće se javljaju i pri izboru ulaznih, egzogenih ili upravljačkih, promenljivih, koje deluju na izlazne promenljive. Ako je ulaznih promenljivih suviše malo, model može biti neadekvatan stvarnosti. Međutim, kada ih je mnogo, onda, zbog nedovoljnog obima memorije računara, ili složenosti računskih procedura, modeliranje se ne može izvesti.

U vezi s tim javlja se pitanje o složenosti modela ekonomskih sistema. Ekonomski sistemi su krajnje složeni, te su i modeli za opis ponašanja tih sistema veoma složeni.

Vreme, potrebno za sastavljanje programa koji realizuje model, zavisi od broja promenljivih i složenosti modela. Ako su neke od promenljivih modela, po svojoj prirodi, stohastičke, onda se vreme programiranja i vreme izračunavanja, na računaru, znatno uvećavaju. Trudeći se da se smanji vreme programiranja, ne treba zaboraviti na sadržinu modela i brzinu izračunavanja.

Kod izbora modela treba voditi računa o oceni njegove adekvatnosti. Treba odrediti da li modeli pravilno opisuju ponašanje sistema. Dok se pitanje ne reši, vrednost modela ostaje neznatna, a eksperiment se pretvara u prost zadatak u oblasti deduktivne logike.

Kada se odredi struktura modela ekonomskog sistema, koji opisuju njegovo ponašanje, treba oceniti veličine njegovih parametara i proveriti statističku značajnost tih ocena.

Nakon ocene parametara modela, na osnovu posmatranja sistema, potrebno je naći prehodnu ocenu njegove adekvatnosti, tj. proveriti model. Naime, eksperimentisanje na računaru sa neadekvatnim modelom donosi malo koristi, pošto bi jednostavno simulirali sopstveno nepoznavanje.

Na etapi provere adekvatnosti modela rešavaju se sledeća pitanja:

- izbaciti iz modela nebitne promenljive, koje ne poboljšavaju našu sposobnost predviđanja ponašanja endogenih promenljivih sistema;
- uključiti u model sve bitne egzogene promenljive;

<sup>9</sup> Emshoff J.R. and Sisson R.I. — *Design and Use of Computer Simulation Models*, Macmillan, New York, 1971, str. 52.

Hanken A.F.G. and Buys B.G.F. — *Systems analysis and business models. Ann. Systems Res.*, 1, 1971, str. 10—11.

Naylor et al. — *Computer Simulation Techniques*, Wiley, N.Y., 1967, str. 10—15, 322.



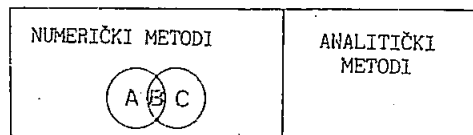
— pravilno formulirati funkcionalne veze između ulaznih i izlaznih promenljivih sistema;

— tačno oceniti parametre modela i definisati jednačine kretanja sistema u vremenu;

— utvrditi da li su ocene parametara našeg modela statistički značajne;

— utvrditi u kojoj meri se poklapaju teorijske veličine endogenih promenljivih, dobijene na osnovu ručnog izračunavanja. (program još nije napisan), sa prošlim ili stvarnim vrednostima endogenih promenljivih.

Postoje analitički i numerički metodi »rešavanja« modela (sl. 5). Za analitičko rešavanje koriste se metodi analize — teorija diferencijalnog i integralnog računa. Rešenje se, pri tome, daje u obliku formule, koja sadrži sve moguće vrednosti nezavisnih promenljivih i parametara. Analitička rešenja nađena su za jednostavne zadatke teorije zaliha i teo-



Sl. 5

A + B = metod Monte-Carlo u širem smislu;

B + C = modeliranje u širem smislu;

A = metod Monte-Carlo u užem smislu;

B = modeliranje u užem smislu 12

rije masovnog opsluživanja.<sup>10</sup> Theil i Boot<sup>11</sup> razmatrali su analitičko rešavanje ekonometrijskih modela, koji predstavljaju sistem linearnih diferencijalnih jednačina n-tog reda.

Kod numeričkog rešavanja umesto nezavisnih promenljivih i parametara zamenjuju se brojevi, te se rešenje dobija na osnovu operacija sa njima. Mnogi numerički metodi su iterativni, tj. na svakom koraku daju bolje rešenje, nego na prethodnom, čiji se rezultati koriste u rešavanju na novoj etapi. Kao primer ukažimo na metod linearnog programiranja i metod Njutna za približno nalaženje korena jednačina. U numeričke metode spadaju metodi Monte-Carlo i simulacionog modeliranja.<sup>12</sup> U rešavanju složenih modela kombinuju se različiti metodi.

Modele složenih ekonomskih sistema karakteriše mnoštvo faktora i transformacija, te je čoveku teško izabrati spoljne uticaje na sistem. Stoga se koriste pomoćni uprošćeni modeli, pred koje se mogu postaviti i rešiti optimizacioni zadaci sa različitim kriterijima, naći optimalna re-

<sup>10</sup> Churchman et al. — *Introduction to Operations Research*, Wiley, N. Y., 1959.

<sup>11</sup> Theil H. and Boot J.C.G. — The final form of econometric equation systems. *Rev. Intern. Stat. Inst.* 1962, 30, str. 136—152.

<sup>12</sup> Kleijnen J.P.C. — *Statistical techniques in simulation* (part I, II, Marcel Dekker, Inc., N. Y., 1974.).

šenja ovih zadataka i dobijena rešenja iskoristiti za formiranje uticaja na osnovni model. U tom slučaju, istraživanje se vrši ne sa jednim modelom, već sa celim sistemom modela. Sistem modela mora da koristi istu polaznu informaciju, jer sa njim mora biti povezana baza podataka. Ukoliko se rad sa ovim sistemom ostvaruje u režimu dijaloga, on mora imati sredstva, koja omogućuju lako opštenje čoveka i računara. Sve to obeđinjava operativni sistem.

Sa modelima složenih ekonomskih sistema izvode se simulacioni eksperimenti. Pri tome, unutrašnji procesi, koji se odvijaju za vreme izvođenja na računaru, ne interesuju ekseperimentatora. Njega, pre svega, interesuje veza između uticaja i izabranih pokazatelja sistema. Stoga se na etapi izvođenja eksperimenta model izražava, u opštem obliku, na način:

$$Y = \gamma(X),$$

gde su: X — spoljni uticaji eksperimentatora na model, koje on menja u toku ekperimenta; Y — posmatrani rezultati. Stoga X nazivamo faktorom, a Y — transformacijom. Faktor X može imati oblik vektora, koji se sastoji iz nekoliko različitih faktora, ili vektor-funkcije vremena, a u nekim slučajevima oblik skalara. U zadatku prognoziranja razvika ekonomike, na primer, u slučaju kada eksperimentator uzima konstantne, u vremenu, upravljačke uticaje

$$s_1(t) = s_1 \quad i \quad s_2(t) = s_2,$$

vektor X sastoji se iz dva faktora:  $s_1$  i  $s_2$ .

Transformacija Y, takođe, može biti vektor ili čak vektor-funkcija vremena. U zadatku prognoziranja razvika ekonomskog sistema, transformacija Y predstavlja trajektorije u vremenu veličine osnovnih sredstava K(t) i potrošnje po glavi stanovnika c(t).

Faktori eksperimenta mogu biti kvantitativni i kvalitativni. Kvalitativni faktori mogu uzimati konačan broj vrednosti (npr. varijante izvođenja). Kvantitativni faktori mogu uzimati beskonačan broj vrednosti. Ta svojstva imaju, na primer, upravljački uticaji  $s_1$  i  $s_2$  u modelu prognoziranja.

Matematički modeli, na osnovu kojih se ostvaruje simulacioni eksperiment, mogu biti deterministički i stohastički. U determinističkom modelu zadavanje spoljnih uticaja jednoznačno određuje vrednosti izučavanih veličina. U modelu dugoročnog prognoziranja, na primer, zadavanje upravljačkih uticaja  $s_1$  i  $s_2$  omogućuje utvrđivanje trajektorija K(t) i c(t). Pri korišćenju determinističkog modela, ponavljanje izračunavanja za iste vrednosti faktora dovodi do istih transformacija. Drukčije je kod stohastičkih modela. U njima se transformacija dobija kao rezultat međusobnog dejstva spoljnih uticaja u nizu slučajnih brojeva. Ponavljanje izračunavanja, uz iste spoljne uticaje, dovodi do druge vrednosti pokazatelja.

Eksperimenti, s obzirom na cilj istraživanja, mogu biti opisni i optimizacioni. Metod analize rezultata određuje plan izvođenja eksperimenta. S obzirom na raznovrsnost tipova modela, faktora i ciljeva eks-

perimenta, koriste se različiti metodi planiranja, eksperimenta i obrade njegovih rezultata. Najpotpunije su razrađeni metodi za stohastičke modele sa skalarnom transformacijom.

Za obradu rezultata, u slučaju stohastičkih modela sa kvalitativnim faktorima, koriste se metodi disperzione analize, koji su pogodni i u slučaju opisnog i optimizacionog istraživanja. Ova univerzalnost metoda disperzione analize zasniva se na tome što je u slučaju kvalitativnih faktora, koji uzimaju konačan broj vrednosti, i u opisnom, i u optimizacionom istraživanju, potrebno uporediti sve varijante spoljnih uticaja međusobno.

Skup sistema modela, baza podataka i sredstava izvođenja simulacionih eksperimenata čine simulacioni sistem. Karakteristično je, međutim, da se simulacionim sistemom ne izvode pojedinačni simulacioni eksperimenti. Efikasnost sredstava izgradnje simulacionih sistema (u dužem vremenskom intervalu) ogleda se u njegovom pretvaranju u oruđe konstantne analize sistema. Pri tome će se, pomoću njega, istraživati problemi, povezani sa donošenjem različitih odluka. Simulacioni sistem je sredstvo svestrane sistemske analize ekonomskog sistema. On se mora neprekidno razvijati, kako bi se njime rešavali sve noviji zadaci. Pri tome se manje savršeni modeli zamenjuju sve savršениjim.

Dati zahtevi koji se postavljaju pred simulacioni sistem određuju njegovu strukturu. Očigledno, potreban element svakog simulacionog sistema je model sistema koji izučavamo. Ukoliko sistem treba da rešava različite zadatke, da vrši svestranu analizu, tj. koristi različite varijante polaznog modela, razumno je čuvati polazni model u vidu programa pojedinih podmodela na nekom algoritamskom jeziku. Ove programe nazivamo modulima. Pojedinačni moduli sastavljaju se tako da se, u slučaju potrebe, mogu objediniti. Dakle, prvi potreban element simulacionog sistema je skup modula.

Za izvođenje simulacionih eksperimenata sa modelima složenih ekonomskih sistema, koji se realizuju na osnovu pojedinačnih modula, treba za njih imati polazne podatke. Polazni podaci se čuvaju u bazi podataka — drugom potrebnom elementu simulacionog sistema. U nje ga se, takode, unose i rezultati izračunavanja koji, sa svoje strane, mogu biti polazna informacija za druge eksperimente.

Složene ekonomske sisteme karakteriše to što i skup modula i baze podataka sadrže veliki broj različitih elemenata. Stoga se javlja potreba stvaranja specijalnog informacionog sistema, koji bi sadržao podatke o postojećim modulima i podacima, davao mogućnost analize ovih podataka, brisao iz memorije podatke koji nisu potrebni ili module, ili unosi u nju nove.

Takav informacioni sistem je treći potreban element simulacionog sistema.

Teškoće izvođenja praktičnog istraživanja, putem simulacije, sa modelima složenih ekonomskih sistema su tehničke i principijelne. Ove teškoće treba savladati tokom formiranja simulacionog sistema.

## (b) MODELIRANJE I SISTEMI

Metodi modeliranja koriste se za izučavanje dinamičkog ponašanja složenih ekonomskih sistema<sup>13</sup>. Često više znamo o ponašanju pojedinačnih *komponenti* takvih sistema, nego o njihovom ponašanju *u celini*. Na primer, znamo kada zahtev napušta stanicu opsluživanja, zatim sledeći zauzima slobodno mesto. Međutim, ništa ne znamo o odnosima između »konkretnog« srednjeg vremena opsluživanja i srednjeg vremena čekanja. Blok-šema pokazuje same elemente sistema, njihove transformacije i međusobni uticaj. Matematički opisi, za svaki element, obično su veoma jednostavni. To su, ne obavezno, linearne jednačine, već mogu biti i jednostravne nelinearne jednačine ili nejednakosti. Svaki element deluje na druge elemente. Međusobna dejstva i čine složenim taj model. Mada je model zasnovan na znanju o ponašanju komponenta sistema, a ne sistema u celini, govorimo o modularnoj konstrukciji ili metodi dekompozicije. Opšti model može se rešiti pomoću modeliranja. Kao što ukazuju Conway i dr.<sup>14</sup>, modeliranje je moguće ako znamo ponašanje elemenata sistema.

Većina modela ekonomskih sistema ne odnosi se na modele modularnog tipa. Tradicioni ekonometrijski modeli predstavljaju sistem linearnih regresionih jednačina i koriste se za predviđanja vrednosti endogenih promenljivih u zadatom periodu. Nedavno su ovi modeli adaptirani na način da mogu da obuhvate dopunske uslove i nelinearnost, apriorne informacije o sistemu. Ovi modeli se mogu rešavati metodama modeliranja. Kao rezultat dobijaju se vremenske trajektorije, za razliku od predviđanja samo za zadati period<sup>15</sup>.

Najznačajnija je primena stohastičkog modeliranja nelinearnih sistema<sup>16</sup>. U ovom tipu modeliranja utvrđuju se vrednosti stohastičkih veličina u modelu. Prema tome, to je statistički eksperiment sa modelom sistema. Stoga stohastičko modeliranje ima i nedostatke, svojstvene metodama uzorka uopšte. Ovaj izbor sadrži u sebi sve probleme *statističkog planiranja* i analize *eksperimenta*.

Do danas su dobro proučeni modeli optimalnog planiranja, čiji su parametri determinističke veličine. Reč je, u stvari, o modelima linearnog, nelinearnog, diskretnog, dinamičkog programiranja. U praksi to

<sup>13</sup> Pre svega, izučavaju se prelazne karakteristike sistema, a ne utvrđenih režima. U poslednjem slučaju mogu se primenjivati granične teoreme. U slučaju, kada nas ne interesuje dinamičko ponašanje sistema, već *kraj* trajektorije (dohodak za tri meseca), modeliranje može biti potrebno ako promenljive sistema međusobno deluju na *složen* način. Traženje globalnog optimuma suviše usložnjava model. Takav model može biti analitički nerešiv, posebno ako ima stohastičke veličine.

<sup>14</sup> Conway R. W. et al. — Some problems of digital systems simulation. Management Sci., 1959, 6, str. 93—94.

<sup>15</sup> Naylor T. H. — Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems, Wiley, N. Y., 1971.

<sup>16</sup> U poslednje vreme, ekonomisti ispoljavaju rastući interes industrijskoj dinamici Forrester-a. Međutim, ovaj prilaz je u većoj meri deterministički. On dopušta modeliranje podsistema, koji su međusobno povezani. Za ovaj prilaz je karakteristično korišćenje diferencijalnih jednačina (sistem se razvija u toku fiksniranih intervala vremena), a takode visoki stepen agregiranja.

znači da se izračunavanja moraju bazirati na strogo određenim pokazateljima troškova, proizvodnje, potrošnje i sl. Istovremeno, posebno u perspektivnom planiranju, veoma je složeno, a katkad nemoguće, dati tačne vrednosti ovih pokazatelja; njihove stvarne vrednosti mogu se bitno razlikovati od tih koje se uzimaju za osnovu u praksi planiranja, mogu se kretati oko analiziranih vrednosti. Ta okolnost može dovesti do značajnih grešaka pri donošenju odluka.

Jedan od načina obuhvatanja nedeterminističkog karaktera polazne informacije je primena modela i metoda stohastičkog programiranja<sup>17</sup> i metoda modeliranja. Dati metodi koriste se, u ekonomskoj teoriji i privrednoj praksi, kao sredstvo spoznaje i kao tehnološki aparat.

Zasnovan realistički prilaz savremenim i perspektivnim mogućnostima matematičke zasnovanosti sistema upravljanja proizvodnjom izuzetno je važan danas — u periodu brzog razvoja i uvođenja, u praksu planiranja, automatizovanih sistema obrade informacije i upravljanja. Pri tome je značajno to da, u svakom usavršavanju matematičkih metoda i računarske tehnike, uloga neformalne teorije, koja izučava objektivne zakonitosti prirode i društva, ostaje određujuća za upoređivanja i kvalitativnu ocenu puteva razvitka ekonomskih sistema. Međutim, kvalitativna analiza ne protivreči kvantitativnoj, one su čvrsto povezane i međusobno se dopunjuju. Društvene nauke udesetostručuju svoje mogućnosti, primenom metoda modeliranja.

Usloznjavanje proizvodnje i organizacione strukture društva dovode do toga da rukovodioci gube neposrednu kontrolu nad osnovnim elementima procesa proizvodnje. Efektivno rukovođenje sve više zahteva pravovremenu, potpunu, verodostojnu i operativnu informaciju. Da bi se izbegao subjektivizam u važnim zaključcima i isključila mogućnost sastavljanja planova, za koje se ne mogu obezbediti resursi, potrebno je znati da se kvantitativno ocenjuju i prognoziraju rezultati proizvodnje i kvalitet odluka. Pojava računarske tehnike i metoda analize i sinteze složenih sistema stimuliše razradu novih prilaza postavlci i rešavanju privrednih zadataka.

Jedna od teškoća ekonomskih istraživanja je u tome što skoro ne postoje ekonomski sistemi, koji bi se mogli razmatrati kao posebni elementi. Karakteristika njihove unutrašnje organizacije je *polistruktura* —

<sup>17</sup> Osnovni cilj razvitka stohastičkih modela i metoda optimalnog planiranja (modela i metoda stohastičkog programiranja) sastoji se u obuhvatanju celokupnog dijapazona mogućih vrednosti parametara izučavanih procesa, u obuhvatanju stohastičkog karaktera informacije. Uzroci stohastičkog (verovatnosnog) karaktera polazne informacije za ekonomsko-matematičke modele su poznati: postojanje slučajnih grešaka kod prognoziranja, posebno pri brzom tempu naučno-tehničkog progressa; slučajnost tražnje; uticaj vremenskih uslova na neke grane materijalne proizvodnje itd. Izučavanje i praktična primena stohastičkih modela omogućuje ne samo povećanje naučne zasnovanosti, tačnosti i stabilnosti planskih proračuna, već i postavljanje niza interesantnih zadataka, čije rešenje (čak i grubo) u okvirima determinističkih modela principijelno nije moguće. Pri tome je karakteristično da većina, za praksu interesantnih, modela stohastičkog programiranja ima niz svojstava, zbog kojih nije moguća primena tradicionalnih numeričkih metoda nelinearnog programiranja. To su, pre svega, nemogućnost diferenciranja funkcije kriterija i ograničenja, kao i praktična nemogućnost tačnog izračunavanja vrednosti ovih funkcija, njihovih izvoda ili analoga izvoda.

uzajamno preplitanje podistema, koji obrazuju međusobno povezane hijerarhijske strukture. Teškoće izučavanja ekonomskih sistema (posebno, metodama modeliranja) određuju ne samo njihova objektivna svojstva, već i karakteristike međusobnog dejstva objekata i subjekata istraživanja.

Delovanje objektivnih i subjektivnih faktora u razvitku ekonomskog sistema nalazi se u čvrstoj međusobnoj povezanosti i uslovljenosti. Čovek je, istovremeno, i najvažniji element proizvodnih snaga, i nosilac proizvodnih odnosa. Ekonomski razvitak je ciljno usmeren. Međutim, ciljevi tog razvitka se neprekidno konkretizuju i modifikuju pod uticajem izmena objektivnih ekonomskih uslova i, pre svega, razvitka.

Složenost ekonomskih sistema ponekad se razmatrala kao osnova nemogućnosti njihovog modeliranja. Ali takva tačka gledišta nije opravdana. Teza o nemogućnosti modeliranja sistema identična je tvrdnji o njegovoj principijelnoj nesaznajnosti. Sem toga, složeni sistemi predstavljaju najveći interes za modeliranje. Modeliranje, upravo ovde, može dati rezultate, koji se ne mogu dobiti drugim metodama istraživanja.

Matematičko modeliranje postaje veoma važan metod istraživanja ekonomskih sistema, kada se dostigne određena zrelost naučnih predstava o kvalitativnim svojstvima, prirodi ekonomskih procesa. Drugi potreban uslov je duboko ovladavanje matematičkim znanjima. Pri tome se, često, otkriva da postojeće matematičke strukture daju suviše grub opis suštine ekonomskih problema. Stoga su mogućnosti matematičkog modeliranja ekonomskih sistema tesno povezane sa progresom matematike i matematičke kibernetike<sup>18</sup>, sa stvaranjem novih njihovih struktura. Potrebe ekonomske nauke, u praksi, sredinom XX veka, doprinele su razvitku matematičkog programiranja, teorije agara, funkcionalne analize, mnogih oblasti numeričke matematike. S tim u vezi, u najbližoj budućnosti, ekonomika i druge društvene nauke biće osnovni pokretači stvaranja novih oblasti matematike i matematičke kibernetike.

Automatizacija simulacionih eksperimenata za analizu složenih ekonomskih sistema ima izrazit značaj. Ovo stoga što se pri upravljanju ekonomskim pojavama i procesima, računar može uspešno koristiti za reprogramiranje ciljeva i parametara koji se odnose na proizvodnju, marketing, finansije i sl.; za ispitivanje više alternativa uzimajući u obzir širi dijapazon kriterijuma; za pripremu tehničkih i organizacionih usavršavanja. Potrebno je naći jednu elastičniju interaktivnu strukturu odnosa: donosilac odluke — računar. Na taj način, elektronski računar ne bi predstavljao samo opremu za sisteme informisanja. On je sredstvo kojim se, u udruženom radu, postižu racionalnija proizvodnja i poslovanje, a samim tim i poboljšanje konkurentne sposobnosti privrede, posebno u međunarodnoj podeli rada, kao i postizanje drugih potreba i zadataka u privredi i društvu.

<sup>18</sup> Matematička kibernetika predstavlja skup matematičkih metoda rešavanja zadataka kibernetike (teorija diferencijalnih jednačina, teorija dinamičkih sistema). Ovaj skup se formirao kao deo same kibernetike, čiji su predmet istraživanja formalno-logične šeme, izdvojene iz kibernetičkih zadataka, a oformio se tokom razvitka kompleksa kibernetičkih disciplina. Utvrđivanje predmeta kibernetike kao specijalne nauke o informaciji i upravljanju, usmerilo je i njen matematički deo na istraživanje opštih zakonomernosti dobijanja, transformacije, čuvanja i predaje informacije.

Sve složeniji uslovi privređivanja i potreba stalne primene savremenih naučnih dostignuća u organizaciji rada, uz primenu savremene tehnologije u proizvodnji, nužno traže obezbeđenje i savremenog sistema poslovanja i informisanja. To, u uslovima sveukupne složenosti poslovanja, pruža tačne i pravovremene informacije, koje omogućuju i uvid u negativne učinke. Njihova rešenja, uz stalno usavršavanje poslovanja, obezbeđuju brži porast produktivnosti rada i rentabilnost poslovanja.

Složeni ekonomski sistemi ne mogu, bez obrade na računaru, obezbediti pravovremenost i tačnost različitih informacija koje, u savremenim uslovima poslovanja, predstavljaju bitan preduslov razvoja. Dosadašnja praksa dokazuje da računar sve više postaje značajan faktor uspešnog poslovanja. Mogućnost davanja različitih informacija, po različitim nivoima rukovođenja, utiče da se, uz pristup stalno novih podataka, samoupravljač svestrano informiše i, dalje, kroz izmenu svesti i odnosa prema radu, podstiče na veći stepen discipline i uvođenja inovacija u proces rada. To stvara uslove stalnog progressa u celokupnom poslovanju, a time i razvoj materijalne baze i samoupravljanja, uz sve manji uticaj tehnokratije u upravljanju i donošenju odluka.

Uz primenu savremenih tehnoloških dostignuća i dobrog poznavanja procesa proizvodnje, čovek zadaje zadatke računaru sa ciljem iznalaženja optimalne strukture proizvodnje, uz maksimalno korišćenje sredstava proizvodnje i manje učešće ljudskog rada. Na osnovu toga prati se, nadalje, proces rada, uz pravovremeni uvid u celokupni tok procesa, što omogućuje da se blagovremeno preduzimaju mere u cilju ostvarenja planiranih zadataka.

Na računaru se izvode operacije koje se izvršavaju u pripremi za modeliranje, kao i u procesu istraživanja sistema velike složenosti. Čoveku ostaje samo neformalni deo posla — postavka zadatka i analiza rezultata. Svi ostali radovi, povezani sa opisom sistema u potrebnoj formi, pomoću unapred određenih šema, formiranjem algoritma modeliranja, njegovim programiranjem, organizacijom složenog računskog procesa savremenog računara itd., automatizuju se i ostvaruju pomoću specijalnih, blagovremeno pripremljenih programa, objedinjenih u jedinstven kompleks pod nazivom »automatizovani simulacioni model«.

Principi formiranja opšteg automatizovanog modela simulacije predstavljaju složen, povezan sa rešavanjem velikog broja različitih zadataka, informacioni proces, koji se odvija u složenom ekonomskom sistemu. Krajnji proizvod tog procesa je opšti automatizovani simulacioni model — kompleksan program izvođenja proizvodnih operacija, usklađen sa ciljevima i mogućnostima složenog ekonomskog sistema. Razume se, formiranje takvog programa moguće je samo u slučaju, ako i same procedure izvođenja operacija budu u skladu sa osnovnim principima programskog prilaza<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Kod sastavljanja programa za računar, pomoću kojih se realizuju simulacioni eksperimenti sa modelima složenog ekonomskog sistema, potrebno je rešiti sledeće zadatke: sastaviti sam program za računar; organizovati unošenje podataka i početnih uslova; generisati podatke koje nemamo.

Na taj način, ostvaruje se višefazna procedura, čiji se jedan ciklus opisuje u vidu uzastopnosti etapa analize: formulisanje problema; izbor ciljeva; utvrđivanje alternativa; skupljanje podataka, formiranje modela; merenje troškovi-rezultat; analiza verodostojnosti; provera polaznih pretpostavki i podataka; ponovno razmatranje ciljeva; utvrđivanje novih alternativa. U realizaciji ovog procesa, izraziti značaj pripada modeliranju, koje se može ostvariti na osnovu sledećih metoda:

- opis procesa;
- simulacija;
- teorija igara;
- simulacioni eksperimenti;
- ekonomsko-matematičko modeliranje.

Posmatranje i deskripcija procesa je osnovni metod rada eksperta. Pri istraživanju složenih ekonomskih sistema, sve veći značaj imaju metodi obrade eksperbnih ocena (delfi metod i dr.).

Metod simulacije realizuje se u vidu eksperimenta sa modelom ekonomskog sistema, a koji sadrži: veliki broj komponenata sistema; složene veze koje izražavaju delovanje promenljivih upravljanja na endogene promenljive, koje zavise od vremena; veliki broj koordinata vektora, sastavljenog od promenljivih upravljanja i njihovih funkcija; stohastičke veličine i njihove rasporede verovatnoća; ograničenja različitih tipova; nelinearnost.

Poseban metod modeliranja su tzv. operacione, ili poslovne, igre. Poslovna igra predstavlja proces modeliranja čovek-mašina, gde čovek-rukovodilac ili grupa ljudi učestvuju u procesu donošenja upravljačkih odluka, a posledice njihove se ocenjuju putem višefazne realizacije na računaru.

Konstruktivni elementi svake poslovne igre su: učesnici igre; pravila, koja ograničavaju i usmeravaju interese shodno predstavama konstruktora igre o modeliranom sistemu; informacione baze, koje odražavaju slanje i kretanje resursa modeliranog sistema, kao i interesa ljudi — učesnika poslovne igre.

Simulacioni eksperimenti su, danas, jedan od osnovnih metoda analize složenih ekonomskih sistema. Njima se »reprodukuje« skup različitih strategija, na računaru, i kvantitativno ocenjuju njihove posledice.

Usavršavanje ekonomsko-matematičkih modela, koje obuhvata ne samo međusobni odnos ciljeva i ograničenja, već i zakonitosti masovnog ponašanja ljudi, doprineće savlađivanju nedovoljne ocene uloge metoda u ekonomskoj nauci. S druge strane, sa razvitkom ekonomskog sistema i naučno-tehničkog progressa rašće složenost zadataka planiranja i upravljanja znatno brže, nego formalne i tehničke mogućnosti njihovog rešavanja. Stoga se uloga ekonomske nauke i odgovornost rukovodilaca sa vremenom neće smanjivati, već će bitno rasti.

Kod svakog predviđenog nivoa razvika matematičkih metoda i tehnike upravljanja, uloga specijaliste-sposobnog, iskusnog rukovodioca, koji mnogo zna — ostaje odlučujuća. Zahtevi za pripremom, stalnim proučavanjima i odgovornosti neizmerno se povećavaju.

(c) KARAKTERISTIKE PRIMENE METODA MODELIRANJA  
U ANALIZI EKONOMSKIH SISTEMA

Modeliranje procesa i sistema moguće je tada kada je za njih formiran jasan formalni opis, koji obuhvata njihove osnovne zakonitosti i delujuće faktore. Na primer, model proizvodnog procesa predstavlja zavisnost  $F$ , koja povezuje stanje  $Y$  sistema sa njegovim ulazima — neupravljanim ( $X$ ) i upravljanim ( $U$ ):

$$Y = F(X, U).$$

U opštem slučaju, model  $F$  se određuje nekim algoritmom (pravilom, instrukcijom), koji ukazuje kako se može, na osnovu informacije o ulazima  $X$  i  $U$ , odrediti izlaz  $Y$ , bez upućivanja na realan sistem. Proces sinteze modela sistema<sup>20</sup> obično se odvija u tri etape:

- strukturna sinteza modela;
- identifikacija parametara modela; i
- planiranje eksperimenata.

Kada se formuliše »opšti skelet« modela datog problema, počinje se pokrivanje modelskog skeleta informacionim podacima. Za ovo se koriste ekonomske informacije i profesionalno iskustvo. Materijalizovani informacioni sistemi mogu, stoga, uvek da sadrže samo deo informacije, potrebne za modelsko rešavanje problema.

Pri rešavanju problema upravljanja proizvodnjom, bez stvaralačkog modelskog prilaza, biraju se, po pravilu, samo takvi načini konstituisanja datog problema, koji se, konačno, mogu pokriti raspoloživim informacijama. Ukoliko se za rešavanje datog problema predlaže gotov provereni matematički model, onda se, često, javlja situacija da je za njegovo »informaciono pokrivanje« potrebna informacija, koju nema rukovodilac, s obzirom da je u svojoj prethodnoj praksi koristio druge metode sastavljanja strukture problema, kada se s njom, u nekoj formi, susretao. Zahvaljujući dubljoj analizi niza sličnih situacija, došlo se do zaključka da se u toku upravljanja, često, može zameniti model rešavanog problema, koji se ne može informaciono pokriti, drugim modelom »istog problema« za čiju konstrukciju postoji potrebna informacija.

Ta činjenica se ne uvek, u dovoljnoj meri, uzima u obzir. Neki modeli »izgledaju suviše apstraktno« i brigu o svom informacionom pokrivenju potpuno nalažu na onog ko ih rešava. Takvi modeli nisu uspešni. Najuspešniji su, međutim, modeli čija struktura, u znatnoj meri elastična i odlučujuća, može lako da ga podčini konkretnim uslovima svoje situacije. Čovek, koji rešava problem, mora ostati autor konkretne formulacije svog problema i može i mora, u toku rešavanja, konstantno dijalektički upoređivati sredstva i ciljeve, te u tom smislu imati mogućnost da menja strukturu »proverenih i preporučenih« modela za re-

<sup>20</sup> Rastrigin L. A. — *Sovremennije principii upravlenija složnimi objektami*, Moskva, Sovjetskoe radio, 1980, str. 71—102.

šavanje konkretnih problema. Razmatrajući, s te tačke gledišta, primenu pojedinih modela u upravljanju, neki modeli se lako primenjuju, a drugi ostaju samo »teorijski interesantna iskustva«. S tačke gledišta rešavane problematike, u praksi upravljanja proizvodnjom, najrasprostranjeniji su modeli strateškog planiranja proizvodnje, modeli raspoređivanja resursa, modeli upravljanja zalihama, modeli masovnog opsluživanja, modeli zamene i matični modeli (strukturnog tipa).

U mnogim slučajevima modelski prilaz upravljanju proizvodnjom podrazumeva obuhvatanje faktora neodređenosti. Zadaci upravljanja i kontrole raspoređivanja materijalnih tokova, u takvim uslovima, rešavaju se metodama stohastičkog programiranja ili putem statističkog (simulacionog) modeliranja sistema.

Najjednostavniji su linearni modeli sa jednim ili nekoliko stohastičkih ograničenja. Jedno ograničenje se zadaje na verovatnoću izvršenja svih nejednakosti, koje imaju stohastički karakter. U slučaju nekoliko stohastičkih ograničenja zadaju se verovatnoće ispunjavanja pojedinačnih ograničenja. U oba slučaja, uporedo sa stohastičkim, takođe je moguće obuhvatanje i determinističkih ograničenja.

Slični su, po postavci, zadaci sa ograničenjima matematičkih očekivanja i disperzije (na primer, disperzije materijalnih tokova ili pokazatelja kvaliteta proizvoda). Ti zadaci nazivaju se zadacima sa statističkim uslovima.

Slučajne veličine mogu biti koeficijenti funkcije kriterija, matrice ograničenja i desni delovi ograničenja-resursi<sup>21</sup>.

U zadacima sa stohastičkim ograničenjima ili statističkim uslovima, kao rešenje određuje se deterministički vektor. Metod rešavanja stohastičkog zadatka sa verovatnosnim ograničenjima ili sa statističkim uslovima sastoji se u prelazu od stohastičkog zadatka na ekvivalentni deterministički. Zatim se rešava dobijeni deterministički zadatak, koji je obično nelinearni.

Pri postavci zadatka moguća su dva slučaja: zadati su zakon rasporeda slučajnih (aleatornih) koeficijenata i statistički parametri (srednje vrednosti, disperzije) ili zadatak je uzorak vrednosti stohastičkih koeficijenata. U drugom slučaju zadatak se može rešiti na dva načina. Prvi se sastoji u određivanju zakona rasporeda verovatnoća, prelazu na ekvivalentan deterministički zadatak i njegovom rešavanju. Drugi način sastoji se u formiranju ograničenja sa korišćenjem neposredno datog uzorka.

Matematički model zadatka upravljanja proizvodnjom predstavlja formalni matematički zapis uslova, koji se postavljaju pred bilo koje rešenje datog zadatka planiranja i upravljanja, i ciljeve upravljanja. U

<sup>21</sup> Oni su podvrgnuti izmenama, izazvanim različitim uzrocima: neravnomernim skladištenjem sirovina, havarijama, nestabilnošću pokazatelja kvaliteta polufabrikata, izmenama u planu proizvodnje, i sl. Stoga se, u modelima upravljanja proizvodnjom, resursi posmatraju kao nezavisne slučajne veličine, za koje se može odrediti funkcija rasporeda i njeni parametri. Tada ograničenja mogu biti ispunjena samo sa nekom verovatnoćom. Verovatnoća zajedničkog ispunjavanja svih ograničenja  $P_0$  predstavljaće verovatnoću realizacije optimalnog programa. Bitno uprošćenje zadatka povezano je sa pretpostavkom o nezavisnosti slučajnih komponenti.

vezi s tim, pojam modela upravljanja (planiranja) i pojam zadatka upravljanja (planiranja), ako je taj zadatak formalizovan i za njega formiran odgovarajući model, u znatnoj meri se poklapaju.

Zadaci planiranja i upravljanja i njima odgovarajući modeli dele se na dinamičke i statičke. Model je dinamički, ako obuhvata ili diferencijalne jednačine, ili jednačine transportnog lagiranja, ili ograničenja, koja povezuju promenljive zadatka, koje se odnose na različite momente vremena. Ukoliko model ne obuhvata date jednačine i ograničenja, onda je on statički.

Kod razmatranja zadataka operativnog upravljanja i strateškog planiranja, kao zadataka raspoređivanja materijalnih tokova industrijskog kompleksa, javlja se potreba obuhvatanja dinamike pojedinačnih agregata i zaliha, tj. uvođenja u model diferencijalnih jednačina.

Računarska tehnika široko se primenjuje za upravljanje proizvodnjom sa neprekidnim karakterom tehnoloških procesa.

Za rešavanje zadataka linearnog i nelinearnog programiranja razrađeni su paketi programa i posebni standardni programi. Na primer, poznati su sledeći paketi: LPS/360, MPS za računar serije IBM/360; LP-400 za računar ICL4-70; FMPS za računar Sigma-5 firme Rank Xerox i dr.

Paketi programa razrađuju se u vezi s tim, što se za rešavanje zadataka linearnog programiranja velikih razmera obično koriste dovoljno složeni algoritmi sa iterativnim izračunavanjem matrice. Pri tome se u operativnoj memoriji razmešta samo deo kolona matrice. Sem toga, u paketima programa ostvaruju se povoljno unošenje podataka, provera, korekcija podataka, štampanje rezultata, a takode analiza stabilnosti rešenja.

Danas je, dakle, veliki problem praktične primene metoda modeliranja — punjenje modela konkretnom i kvalitetnom informacijom. Tačnost i potpunost polaznom informacijom, realne mogućnost njenog prikupljanja i obrade, u mnogome, određuju izbor tipova modela, koji se mogu praktično primeniti. S druge strane, istraživanja u oblasti modeliranja ekonomskih sistema postavljaju nove zahteve informacionom sistemu (potreba izgradnje orijentisanog informacionog sistema).

U zavisnosti od modeliranih sistema i namene modela, polazna informacija ima bitno različit karakter i primenu. Ona se deli u dve kategorije: informacija o prošlom razvitku i savremenom stanju sistema (posmatranja i obrada podataka) i informacija o budućem razvitku sistema (podaci o očekivanim izmenama njihovih unutrašnjih parametara i spoljnih uslova — prognoze). Druga kategorija informacije je rezultat samostalnih istraživanja, koja se, takode, mogu izvršiti metodom modeliranja.

Metode posmatranja u ekonomici i korišćenja njihovih rezultata razrađuje *ekonomska statistika*. Stoga ćemo se ograničiti time što ćemo ukazati na dva specifična problema posmatranja u ekonomici, u vezi sa modeliranjem ekonomskih procesa.

Ekonomske sisteme karakteriše masovnost mnogih procesa. Njima su svojstvene zakonomernosti, koje se ne otkrivaju na osnovu samo jednog ili nekoliko posmatranja. Stoga se modeliranje ekonomskih sistema mora opirati na masovna posmatranja.

Drugi problem je u dinamičnosti ekonomskih procesa, izmenljivosti njihovih parametara i strukturnih odnosa. Usled toga ekonomske procese treba konstantno držati pod opservacijom, treba imati stabilan tok novih podataka. Kako posmatranja ekonomskih procesa i obrada empirijskih podataka obično zauzimaju mnogo vremena, kod formiranja matematičkih i simulacionih modela ekonomskih sistema potrebno je korigovati polaznu informaciju, sa obuhvatanjem njenog kašnjenja.

Proučavanje kvalitativnih odnosa ekonomskih procesa i pojava opire se na ekonomska merenja. Tačnost merenja, u znatnoj meri, predodređuje i tačnost konačnih rezultata kvantitativne analize, posredstvom modeliranja. Stoga je potreban uslov efikasnog korišćenja metoda modeliranja — usavršavanje ekonomskih pokazatelja mera (veličine proizvodnje, resursa, elemenata troškova, itd.). Primena metoda modeliranja zaoštrila je problem merenja u ekonomici, postavila ekonomskoj statistici nove zadatke.

Mnoge pojave u ekonomici uopšte ne mogu biti izmerene neposredno. U procesu modeliranja, posebno na nivou privrede, javlja se uzajamno dejstvo »osnovnih« i »sporednih« ekonomskih mera. Modeli privrednog razvoja opiru se na određeni sistem ekonomskih pokazatelja. Istovremeno jedan od važnih rezultata modeliranja su nove (sporedne) ekonomske mere — ocena efikasnosti različitog kvaliteta prirodnih resursa, mera društvene korisnosti proizvodnje. Međutim, ove mere mogu da ispituju uticaj nedovoljno zasnovanih osnovnih mera, što stvara potrebu razrade specijalne metodologije korekcije osnovnih mera za metode privrednog razvoja.

Usled ogromnog broja faktora, koji deluju na ekonomske procese, potrebni i bitni odnosi ne ispoljavaju se u čistom obliku u svakom pojedinačnom slučaju. U socijalizmu, ekonomski procesi nisu stihijni, ali imaju karakter masovnih procesa, koji sadrže slučajne (stohastičke) komponente. Nepredviđene slučajnosti mogu izazvati prirodne pojave, izmene u međunarodnoj situaciji, naučno-tehnička otkrića, različiti subjektivni faktori. Na taj način, ekonomske zakonomernosti imaju *stohastički karakter*.

Za metodologiju planiranja u samoupravnom društvu izrazit značaj ima pojam *neodređenosti* ekonomskog razvitka. Najopštiji smisao ovog pojma je — *odsustvo jednoznačnosti*. U istraživanjima u oblasti ekonomskog prognoziranja i planiranja, razlikuju se dva tipa neodređenosti: neodređenost, uslovljena svojstvima ekonomskih procesa i neodređenost, povezana sa nepotpunošću i netačnošću postojeće informacije o ovim procesima.

Neodređenost, uslovljena svojstvima ekonomskih procesa ne treba mešati sa objektivnim postojanjem različitih varijanata ekonomskog razvitka i mogućnošću naučnog izbora varijanata. Reč je o principijelnoj nemogućnosti tačnog izbora jedinstvene (optimalne) varijante.

Neodređenost se javlja usled toga što se tok planiranih i upravljačkih procesa, kao i spoljni uticaji, ne mogu tačno predvideti zbog dejstva slučajnih faktora i ograničenosti čovekovog saznanja u svakom datom momentu. Ovo je posebno karakteristično za prognoziranje naučno-tehničkog progressa. Sem toga, moguće su neusaglašene odluke i aktivnosti, jer upravljanje ne obuhvata sve strane društvenog života

(potrošačku tražnju, demografske procese i sl.). Nepotpunost i netačnost informacije o objektivnim procesima jača neodređenost, uslovljenu svojstvima ekonomskih procesa.

U prvim fazama istraživanja ekonomskih sistema, metodama modeliranja, primenjivi su, u osnovi, modeli čisto determinističkog tipa. U ovim modelima se svi parametri (npr. koeficijenti i slobodni članovi jednačina) pretpostavljaju poznatim. Međutim, determinističke modele ne treba shvatiti u mehanicističkom duhu i identifikovati ih sa modelima, lišenim svih »stepena slobode« (mogućnosti izbora), a koji imaju jedno dopustivo rešenje.

Kao rezultat iskustva primene strogo determinističkih modela, stvorene su realne mogućnosti uspešne primene savršenije metodologije modeliranja ekonomskih procesa, koja obuhvata stohastiku i neodređenost. Ovde se izdvajaju dva osnovna pravca istraživanja. Prvo, usavršava se metodologija primene modela strogo determinističkog tipa: izvođenje viševarijantnih izračunavanja sa varijacijom polaznih podataka; izučavanje stabilnosti i pouzdanosti dobijenih rešenja; izdvajanje zone neodređenosti; uključivanje u model rezervi; primena metoda koje povećavaju adaptivnost rešenja na nepredvidive situacije. Drugo, sve se više primenjuju modeli, koji neposredno odražavaju stohastiku i neodređenost ekonomskih procesa, a koriste adekvatan matematički aparat — teoriju verovatnoće i matematičku statistiku, teoriju igara i statističkih odluka, teoriju masovnog opsluživanja, stohastičko programiranje, teoriju stohastičkih procesa.

#### LITERATURA

1. Babić Mate — *Makroekonomski modeli*, Zagreb, »Narodne novine«, 1977.
2. Churchman et al. — *Introduction to Operations Research*, Wiley, New York, 1959.
3. Cohen M. J. — *Computer Models of the Shoe, Leather, Hide Sequence*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. Y., 1960.
4. Conway R. W. et al. — *Some problems of digital systems simulation*, Management Sci., 6, 1959.
5. Driehuis W. — *Fluctuations and Growth in a Near Full Employment Economy*, Universitaire Press, Rotterdam, 1972.
6. Ernschoff J. R. and Sisson R. L. — *Design and Use of Computer Simulation Models*, Macmillan, N. Y., 1971.
7. Hanken A. F. G. and Buys B. G. F. — "Systems analysis and business models" — *Ann. Systems Res.*, 1, 1971.
8. Homrey E. P. — *Stabilization Policy in Linear Stochastic Systems*, Economic Research Program, Princeton University, Princeton N. J., 1966.
9. Horvat Branko — *Ekonomski modeli*, Zagreb, Ekonomski institut, 1962.
10. Horvat Branko — *Dijalektika i dinamički model*, Beograd, Jugoslovenski institut za ekonomska istraživanja, 1967.
11. Kleijnen J. P. C. — *Statistical techniques in simulation*, part I, II, Marcel Dekker, Inc., N. Y., 1974.
12. Ivanović Branislav — *Input-output regression for a given set of countries*, Beograd, Institut ekonomskih nauka, 1971.

13. Mađžar Ljubomir — "Kriterij efikasnosti alternativnih ekonomskih sistema," *Gledišta*, XVII, 11, 1976, 1050—1057.
14. Martić Ljubomir — *Matematičke metode za ekonomske analize*, Zagreb, »Narodne novine«, 1963.
15. Naylor T. H. — *Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems*, Wiley, N. Y., 1971.
16. Pacher A. H. — *Model of Economic Systems*, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Mass., 1972.
17. Shannon R. E. — *Systems simulation — the art science*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1975.
18. Zečević Tomislav — *Matematičko i statističko modeliranje*, NIP Književne novine, red. Stručna knjiga, Beograd, 1977.

Primljeno: 12. 2. 1981.

Prihvaćeno: 10. 6. 1981.

#### GENERAL PRINCIPLES FOR MODELING ECONOMIC SYSTEMS Rosa ANDŽIĆ

#### Summary

This article attempts to map out the contours of a theory for forming models of economic systems. The term model is used here in the broadest sense, as a structure for confirming the results of possible variants for management problem-solving in organizations of associated labour and the selection of optimal and, at least, suitable variants. The reduction of information is most frequently connected to the establishment of relations between various data banks of information and, by extension, to questions of familiarity with systemic structure and function. Therefore, the formation of a model is an important auxiliary means for obtaining new information on the basis of already-existing specialized knowledge.

On the basis of these relations, forecasts using a model are possible, primarily important for those models where the major interest is represented by the relations among the various aspects of system behaviour.

Thanks to simulation experiments with models of complex economic systems, it is possible to reproduce a wide range of scenarios, i. e., to point out possible perspectives. In doing so, the models of economic systems take on the function of substitutes for real systems, resting in their foundation, and enable forecasts, i. e., the prognosis or calculation of reactions (transformations) to influences.

As the formulation of models is now acquiring increasing significance for systems analysis in a broad range of scientific disciplines and in the national economy, the need has been indicated to encompass the problems involved in determining the characteristics and forming models of complex economic systems, i. e., modelling as a

method of investigating economic systems. An appropriate place is taken here by the problem of modelling a procedure for distributing limited resources between operation complexes in a complex economic system because evolutionary processes can be described only in the frameworks of complex systems — where it is possible to represent such a system in the form of a specific graph structure whereby the elementary subsystems are depicted by the peaks of the graph. Then there is a need for a suitable description of the elementary evolutionary processes in the subsystems and the use of the connections between the peaks of the graph in order to elucidate the evolution of the complex system as a whole and to implement computer modelling.

 THE ECONOMICS OF PROPERTY RIGHTS — A NEW PARADIGM  
 IN SOCIAL SCIENCE?

Hans G. NUTZINGER\*

## 1. INTRODUCTION

Monsieur Jourdan, the hero of Molières's comedy *Le bourgeois gentilhomme*, had a strange experience during his various attempts to become a true nobleman: His teacher of rhetoric tells him that he has spoken prose all his life long. Similar feelings may arise in many an economist when he is addressing himself to the *economics of property rights* which has emerged mainly during the past twenty years in the United States. He will not only be impressed by the terminological efforts but even more so by the claims put forward by the representatives of this new approach. According to them, the economics of property rights is not only

- "one of the most important advances in economic thinking that has occurred in the post-war period" (Furubotn/Pejovich, 1974, XV), but it also provides in particular the following improvements in knowledge:
- The standard model of production and exchange is generalized by considering the interrelationship between legal ownership rights, incentive systems and economic behaviour.
- In doing so, property rights analysis does not only explain human behaviour under given alternative structures of property rights, but moreover the development of those structures itself.
- Finally, the economics of property rights provides a general foundation of organization theory by explaining structure and performance of enterprises (and other types of organizations) from the interactions among the utility-maximizing members of those organizations.

Without exhausting all these claims, one can summarize the self-appraisal of property rights economists by quoting Monissen and Pejovich (1977, pp. 283—284):

---

\* Department of Economics, Gesamthochschule Kassel.