

1.6. SISTEMOS SĄVOKA. SISTEMŲ KLASIFIKAVIMAS

Nors terminas „sistema“ vartojamas labai plačiai, tačiau iki šiol dar nėra nusistovėjusio, visuotinai priimto sąvokos „sistema“ apibrėžimo. Skirtingi autoriai ne visai vienodai interpretuoja šią sąvoką ir todėl sukuria skirtingus jos apibrėžimus. Jų jau gana daug. Vien tik knygoje [60, 72] nagrinėjama virš trisdešimties įvairių sistemos sąvokos apibrėžimų. Visuose tuose apibrėžimuose galima rasti bendrų bruožų, tačiau jie skiriasi vienas nuo kito kai kuriais niuansais.

Išnagrinėjus įvairių tokių apibrėžimų bendruosius bruožus, galima išskirti šiuos **sistemos požymius, kuriuos galima teigti esančiais būtiniais:**

1) tam, kad sudarytume sistemą, nepakanka vieno objekto, nes **sistemos sudarymui reikia nemažiau dviejų objektų**, o kartais net šimtų ir tūkstančių objektų – **sistemos elementų**, sudarančių **sistemos sudėtį**;

2) tačiau ne kiekviena kelių objektų aibė yra sistema, nes tam, kad ji taptų sistema, reikalinga dar ir **atitinkama tai sistemai jos elementų organizacija**, tam tikra **jų vietų ir vaidmenų toje sistemoje išsidėstymo ar tų elementų sąveikavimo tvarka**, vadinama **sistemos struktūra**, t. y. **reikalinga, kad tarp sistemos elementų ar jų savybių būtų ar nusistatytų tam tikri santykiai**, kurių dėka elementų aibė tampa ne pabiru elementų sambūriu ar konglomeratu, o **vieninga visuma**, į kurią galima žiūrėti, kaip į **atskirą naują objektą**, turinti nuosavų, jam būdingų, savybių.

Sisteminį požiūrį į objektus kaip į sistemas, sudarytas iš objektų, taip pat galinčių būti sistemomis, ir esančias dar sudėtingesnių sistemų dalimis, kartais vadina **holistiniu** (nuo graikiško žodžio „holos“, reiškiančio „visas“, „vienvisas“, t. y. „čielas“).

Norint sudaryti formalų sąvokos „sistema“ apibrėžimą, naudojantis ternarine TSF kalba, tikslinga išskirti **du sistemų tipus: pirmąjį ir antrąjį**.

1.6.1. Pirmojo tipo sistemos

Pirmajam sistemų tipui priskirsime tokias organizuotas sąveikaujančių objektų aibes, kuriose, tuos objektus jungiant į vieningas visumas, **atsiranda naujos savybės, priklausančios jau nebe paskiriems elementams, o visai tai visumai, tampančiai nauju objektu**.

Pirmojo tipo sistemos pavyzdžiu gali būti lėktuvas, nes, tam tikra tvarka sujungus lėktuvo dalis į vieningą visumą, vadinamą lėktuvu, ta visuma įgauna savybę skraidyti, kurios neturėjo lėktuvo dalys. Kad ši savybė priklausytų visumai ir atsiranda tik atitinkamai sujungus visas jos dalis, lengva įsitikinti išardžius lėktuvą ir sudėjus visas jo dalis (taip pat ir bakus su degalais) į atsitiktinę krūvą. **Turėsime visas lėktuvo dalis, tačiau neturėsime lėktuvo kaip sistemos, galinčios skraidyti**, nes lėktuvo dalys, atsitiktinai sumestos į krūvą, nors ir bus visos lėktuvo dalys, tačiau savybės skraidyti neįgis nei pavieniui, nei krūvoje.

Galime padaryti išvadą, kad naujų savybių, priklausančių tai vienvisei („čielai“) visumai, ir vadinamų **sisteminėmis savybėmis**, tiesioginis šaltinis yra **ne tiek sistemos dalys, kiek santykiai tarp jų**, tiksliau, **dalys, sujungtos atitinkamais santykiais, iššaukiančiais naujų savybių atsiradimą**, nes tik sujungus sistemos dalis tam tikrais santykiais, atsiranda sisteminės savybės. Sujungę tas pačias dalis kitais santykiais, mes galime ir negauti vieningos visumos – konstruojamos sistemos – arba gauti kitokią visumą su kitomis sisteminėmis savybėmis, t. y. kitą sistemą.

Reikia pasakyti, kad nebūtinai visi santykiai, kurie yra ar atsiranda tarp sistemos dalių, yra sisteminiai nagrinėjamos sistemos atžvilgiu. Gali būti ir tokių

santykių, kuriems keičiantis, nagrinėjamoji sistema pasilieka nagrinėjamąją sistemą, nors kai kurios jos savybės gali ir pasikeisti. **Sisteminiais santykiais** (nagrinėjamąsios sistemos atžvilgiu) vadinami tik tokie santykiai, kurie sąlygoja nagrinėjamąsios sistemos atsiradimą ir jos egzistavimą: išnykus tiems santykiams, išnyksta ir pati sistema. Pavyzdžiui, nagrinėdami tokią sistemą kaip „šeima“ rasime, kad sisteminiais santykiais tos sistemos atžvilgiu bus visi tie santykiai tarp jos narių, kurie sąlygoja šeimos atsiradimą ir sąlygoja jos egzistavimą. Šiuos santykius todėl ir vadina šeimyniniais santykiais. Tačiau tarp šeimos narių gali būti ir kitokių santykių, kurie nesąlygoja šeimos egzistavimo ir nesivadina šeimyniniais. Pavyzdžiui, vyro fizinis svoris gali būti didesnis už žmonos svorį. Žmonai gali labiau patikti aerobika, o vyrui – krepšinis ir t. t. **Sistemoje šalia būtinų sisteminių santykių gali egzistuoti ar neegzistuoti santykiai, kurie nėra sisteminiai tos sistemos atžvilgiu.**

Panašią situaciją gausim ir panagrinėję sistemos savybes. Vienos iš jų bus esminės nagrinėjamąsios sistemos atžvilgiu, nes jų atsiradimas, jungiant sistemos dalis į vieningą visumą, kaip tik ir charakterizavo tos vieningos visumos „gimimą“ ir leido ją **išskirti iš visų pasaulyje egzistuojančių objektų visumos kaip kažką vieningo, egzistuojančio kaip naujas objektas su jam būdingomis savybėmis.** Tokios savybės, kaip jau buvo minėta, ir vadinamos sisteminėmis. Pavyzdžiui, tokia lėktuvo savybė, kad jis gali skraidyti, yra sisteminė lėktuvo savybė. Tačiau lėktuvas gali turėti ir kitų savybių, kurios nebus sisteminėmis lėktuvo kaip skraidančio objekto atžvilgiu. Pavyzdžiui, lėktuvo fiuzeliažo spalva bus kokio nors konkretaus lėktuvo savybė, bet ši savybė nebus sisteminė, nes ją pakeitus, lėktuvas liks lėktuvu. Nesisteminių savybių atsiradimo nesąlygoja sisteminiai santykiai ir tas savybes galima keisti, nekeičiant sisteminių santykių, reiškia, nekeičiant ir sistemos esmės, jos tipo, jos pagrindinių, t. y. sisteminių savybių. Tačiau ir nesisteminės savybės kartais gali būti kokiu nors kitu atžvilgiu svarbios, reikšmingos.

Tos dalys, iš kurių sudaryta nagrinėjamoji sistema, pačios gali būti atskiromis sistemomis. Nagrinėjamąsios sistemos atžvilgiu tokias sistemas vadina pastarosios **posisteminiais**. Sistemos ir posisteminio sąvokos yra **reliatyvios**: viena ir ta pati sistema gali būti kokios nors kitos (didesnės) sistemos posisteminė ir tuo pačiu metu turėti savo posistemių. Pavyzdžiui, įmonės cechai yra tos įmonės posisteminės ir pats susideda iš posistemių – cecho barų. Planeta Žemė, būdama sudėtinga sistema, yra Saulės sistemos posisteminė.

Panagrinėję mus supantį pasaulį, o taip pat ir pačius save, mes rasime ištisą **posistemių ir sistemų hierarchiją**. Tai rodo, kad į klausimą, ar nagrinėjama vieninga objektų visuma yra sistema, ar tik posisteminė, atsakyti galima tik patikslinus, kokiu atžvilgiu mes minėtąją visumą nagrinėjame.

Tačiau ne kiekvieną sistemos dalį mes visada vadinsime posisteminė nagrinėjamąsios sistemos atžvilgiu, nes **posisteminė tikrai to žodžio prasme galime vadinti tik tokią sistemos dalį, kuri pati yra sistema**, t. y. susideda iš mažesnių objektų ir sudaro tam tikrą prasme savistovą naują objektą su savo sisteminėmis savybėmis. Kai kokias nors sistemos dalis yra toks objektas, kuris nagrinėjamu atveju yra pakankamai pilnai aprašomas savo išoriniu modeliu, nes to objekto vidinė sandara mūsų šiuo atveju nedomina, kadangi mums nesvarbi, tai tokią sistemos dalį mes vadinsime **sistemos elementu**. Kitaip tariant, sistemos elementu vadiname tokią sistemos dalį, kurios mes jau nebeskaidome į smulkesnes dalis: ar todėl, kad nėra reikalo taip daryti, ar todėl, kad negalime.

Pavyzdžiui, nagrinėdami gamybos planavimo klausimus, mes galime žiūrėti į tokias gamybinės sistemos dalis kaip žmonės, detalių apdorojimo staklės, instrumentai ir t. t., kaip į gamybinės sistemos elementus, nes, planuojant gamybą, nebūtina ir net

netikslinga nagrinėti, pavyzdžiui, žmogaus anatomiją, o užtenka atsižvelgti į „išorinį žmogaus modelį“, aprašantį jo galimybes ir poreikius. Tą patį galima pasakyti ir detalių apdorojimo staklių, transporto priemonių, instrumentų ir kitų gamybos elementų atžvilgiu.

Sistemos elemento sąvoka irgi reliatyvi: tai ką mes vadiname elementu vienu atžvilgiu, gali tapti tos sistemos posistemių kitu atžvilgiu. Jei, pavyzdžiui, pagrindinės gamybos planavimo atžvilgiu detalių apdorojimo staklės yra sistemos, vadinamos gamybine įmone, elementai, tai remonto ir atsarginių detalių planavimo atžvilgiu tos pačios staklės bus jau gamybinės įmonės posistemiais, nes, planuojant staklių remontą ir jam reikalingą atsarginių detalių gamybą, jau nebepakanka staklių išorinio modelio ir reikia atsižvelgti į jų vidinę sandarą, staklių dalių sąveiką, jų patikimumą ir t. t.

Nors sistemos, posistemių ir elemento sąvokos, kaip jau buvo minėta, yra reliatyvios, tačiau kiekvienu konkrečiu atveju mes privalome tiksliai nustatyti, ką mes laikysim sistema, ką – jos posistemiais, ką – jos ir jos posistemių elementais, ką sistemos išorine aplinka.

Nagrinėdami dideles ir sudėtingas sistemas, mes, nenorėdami be reikalo ap sunkinti sau darbo, turime stengtis išskirti maksimaliai didelius elementus, t. y. laikyti sistemos elementais visus tuos maksimaliai didelius objektus (ar jų aibes), kurių išoriniai modeliai mums jau žinomi ir suteikia visą šiuo atveju reikalingą informaciją apie objektą (ar jų sistemą, sudarančią „maksimaliai didelį objektą“). Nagrinėjamos sistemos dalis tik tuomet tikslinga išskirti kaip posistemius, kai šių dalių išorinių modelių sudarymui reikia išnagrinėti jų vidinę sandarą, t. y. išskirti šių dalių dalis, kurios savo ruožtu gali būti nagrinėjamos arba kaip žemesnio rango posistemiai, arba jau kaip elementai, kurių tolesnė dekompozicija jau nebetikslinga ar nebeįmanoma. Visa, kas buvo pasakyta posistemių ir elemento santykio atžvilgiu, galima pakartoti sistemos ir elemento atžvilgiu, nes sistema gali būti sudaryta ne tik iš posistemių ir jau tik per juos – iš elementų, bet ir tiesiog iš elementų (pavyzdžiui, jei sistema nelabai sudėtinga).

Žodžiu, laikyti nagrinėjamą objektą sistema ar paprastu objektu (didesnės sistemos elementu), – priklauso nuo nagrinėjamo aspekto, sprendžiamų problemų charakterio, nuo galimybės tiesiogiai sudaryti išorinį objekto modelį ir nuo to modelio pakankamumo iškilusioms problemoms spręsti. Trumpai tariant, objektus reikia nagrinėti kaip sistemas tada, kai kitaip jų pakankamai pilnai išnagrinėti jau nebegalima.

Panašiai sprendžiama ir posistemių išskyrimo problema: posistemius sistemoje išskirti tikslinga tik tada, kai to nebegalima išvengti, t. y. tada, kai sistema, dekomponuota elementų lygyje, tampa nebeaprepiama. Tuomet vietoj **tiesioginės dekompozicijos** (sistemos skaidymo į elementus) mes naudojames **hierarchinę dekompoziciją**: sistema skaidoma į posistemius, šie savo ruožtu – į mažesnius posistemius ar elementus ir t. t. Galima ir tokia sudėtingos sistemos dekompozicija, kai vienos sistemos dalys bus sudėtingi posistemiai, patys susidedantys iš posistemių, kitos – paprasti posistemiai, o dar kitos – tiesiog elementai.

Kadangi posistemiai – irgi sistemos, tai paprasčiausią sistemos modelį sudaro sistema, neturinti posistemių, o susidedanti iškart iš elementų. Tokį sistemos modelį mes ir nagrinėsime, nes, pasinaudojant tokiu modeliu, galima aprašyti ir sudėtingas sistemas, sudarančias daugiapakopę posistemių hierarchiją.

Pirmojo tipo sistemos sąvokos formalizavimui pasinaudosime ternarine Ujomovo kalba. **Raide be indeksų (pavyzdžiui, „A“, „a“, „t“) mes žymėsime ir vieną objektą, ir jų aibę.** Pavyzdžiui, formulę „t(A)“ mes interpretuosime ir kaip tvirtinimą, kad objektai „A_i“, įeinantys į aibę „A“, tenkina santykį (ar santykius) „t“, ir

kaip tvirtinimą, kad objekte „A“ egzistuoja santykis (ar santykiai) „t“. Analogiškai, formulę $\langle A \rangle t$ interpretuosime ne tik kaip teiginį, kad objektas A turi savybę t, bet ir kaip tvirtinimą, kad objektai A_i , sudarantys aibę A, turi savybę (savybes) t.

Kaip buvo parodyta, įvedant pirmojo tipo sistemos sąvoką, tvirtinimą, kad objektas „A“ turi savybę būti sistema (arba, kad objektai „ A_i “ sudaro sistemą) sisteminės savybės „t“ atžvilgiu, galima suformuluoti kaip ekvivalentišką tvirtinimą, kad objekte „A“ (tarp objektų „ A_i “) egzistuoja koks nors santykis „a“ (kokie nors santykiai a_{ij}), kuris (kurie) ir iššaukia savybės „t“ atsiradimą. Šią sudėtingą frazę, išreikštą žodžiais, galima trumpai užrašyti Ujomovo ternarinės TSF kalbos formule:

$$\langle :A \rangle \overset{\text{def}}{\text{ sistema I }} \Leftrightarrow \langle a \langle :A \rangle \rangle t.$$

Kairėje dviejų tvirtinimų ekvivalentiškumo ženklo „ $\Leftrightarrow$ “ pusėje tvirtinimas: „Mūsų pasirinktas ir pažymėtas objektas „A“ (elementų „ A_i “ aibė A) turi savybę būti pirmojo tipo sistema“. Dešinėje pusėje – tvirtinimas: „Tame (pažymėtame) objekte „A“ (tarp elementų „ A_i “) egzistuoja santykis „a“ (santykiai „ a_{ij} “), kuris (kurie) turi (iššaukia, sukuria) sisteminę savybę „t““.

Dviejų tvirtinimų ekvivalentiškumo tvirtinimas – irgi tvirtinimas, kurį galima laikyti **formaliu pirmojo tipo sistemos apibrėžimu**. Todėl ir pavartotas ženklelis „def“, reiškiantis apibrėžimą („definiciją“).

Reikėtų atkreipti dėmesį į tame apibrėžime vartojamus žymenis, į jų galimų reikšmių sritis, apie kurias jau buvo kalbėta 1.5. skyriuje, įvedant žymenis t, A ir a.

Raidė t šiame pirmojo tipo sistemos apibrėžime žymi **konkrečią sisteminę savybę** (savybes), **kuri** (kurios) **identifikuoja nagrinėjamą sistemą**, išskirdama (išskirdamos) iš kitų objektų. Tą reikšmę (sąvoką), kurią žymi raidė t, A.Ujomovas pavadino **pirmojo tipo sistemos konceptu** (žiūr. šios mokymo priemonės 1.7. skyrių).

Raidė A žymi **sistemos sudėties elementų A_i aibę**. Konstruojant pirmojo tipo sistemas, **elementus A_i galima pasirinkti laisvai** ar beveik laisvai (t. y. savo nuožiūra), tačiau taip, kad tarp jų būtų galima sudaryti **tokius santykius a_{ij}** , priklausančius sutvarkytai jų aibei a, **apibrėžiančiai sistemos struktūrą**, kurie emerđžencijos reiškinio dėka iššauktų mums reikalingų sisteminių savybių t atsiradimą. Todėl **santykiai a_{ij} jau negali būti pasirenkami laisvai**, nes **konkrečias sisteminės savybės t gali generuoti ne bet kuri, o tam tikro tipo struktūra a**. Tačiau ji gali būti ne būtinai vienintelė. Gali atsitikti ir taip, kad **atsitiktinai susiklosčius tam tikriems santykiams a tarp aibės A elementų, atsitiktinai* atsiras ir sistema S** su sisteminėmis savybėmis t. Tai irgi neprieštarauja duotajam pirmojo tipo sistemos apibrėžimui ir atitinka **savaiminį naujos sistemos atsiradimą**.

Tam apibrėžimui neprieštarauja ir tas faktas, kad struktūrą a, generuojančią konkrečią mums reikalingą savybę t, galima sukonstruoti, vartojant įvairios prigimties elementus A_i : pavyzdžiui, ventiline schemą, skirtą kokio nors technologinio proceso automatiniam valdymui, galima sukonstruoti ir iš elektrinių, ir iš elektroninių, ir iš pneumatinių, ir iš hidraulinių elementų.

Galima ir **kita pirmojo tipo sistemos formalaus apibrėžimo modifikacija**, besiskirianti nuo ką tik išnagrinėtos formulės koncepto t akcentavimu:

$$\langle :A \rangle \overset{\text{def}}{\text{ sistema I }} \Leftrightarrow \langle a \langle :A \rangle \rangle t.$$

Pirmojo tipo sistemos apibrėžimuose nuo tvirtinimų (predikatų) galima būtų bandyti pereiti prie sąvokų. Tam pakaktų atviras formules paversti uždromis.

* Apie galimas atsitiktinumo sąvokos interpretacijas jau buvo kalbėta 1.2. skyriuje.

Pirmuoju atveju gautume formulę $\langle\langle :A \rangle\rangle$ sistema I $\stackrel{\text{def}}{=} \langle\langle a\langle\langle ;A \rangle\rangle t \rangle\rangle$, o antruoju – formulę $\langle\langle A \rangle\rangle$ sistema I $\stackrel{\text{def}}{=} \langle\langle a\langle\langle ;A \rangle\rangle t \rangle\rangle$.

Pirmuoju atveju kairėje tapatybės pusėje gautume objektą „A_i“ aibės „A“ savybę būti pirmojo tipo sistema, o dešinėje – santykį „a“, egzistuojantį objekte „A“ ir iššaukiantį savybę „t“. Interpretuosime šį rezultatą ir parodysime, jog jis, nors ir ne visai tinka būti pirmojo tipo sistemos apibrėžimu, turi tam tikrą prasmę ir gali būti naudingas.

Kaip jau buvo minėta, „A“ (elementai „A_i“) sudaro **sistemos sudėtį**, o santykis „a“ (santykiai „a_{i,j}“) – **sistemos struktūrą**. Sistemine savybė „t“, išplaukianti iš struktūros „a“, jungiančios sistemos sudėties „A“ elementus „A_i“ į sistemą – **esminė sistemos savybė** (arba savybių aibė), išskirianti šią sistemą iš kitų objektų kaip tos savybės „t“ nešėja. Kadangi sistema – savybės „t“ nešėja, o ta savybė priklauso santykiui „a“, tai iš čia nagrinėjamoje formulėje ir išplaukia „tapatybė“ tarp „sistemos“ ir „santykio“: pirmojo tipo sistemą sukuria ne tiek elementai „A_i“, kiek ta struktūra, į kurią tie elementai sujungiami. Aišku, kad **minėtoji „tapatybė“** turi būti paimta į kabutes ir negali būti pirmojo tipo sistemos formaliu apibrėžimu, nes negalima tvirtinti, kad sistema – tai tik jos struktūra, o sistemos elementai, jos sudėtis – visai neturi reikšmės. Toks tvirtinimas neatitiktų tikrovės: nors ir tiesa tai, kad **naujų savybių atsiradime svarbiausias vaidmuo priklauso tiems santykiams, kurie atsiranda, jungiant elementus į sistemą, turinčią būdingą tiems santykiams struktūrą, tačiau būtų klaidinga teigti, jog sistema ir jos struktūra – visiškai tapačios sąvokos.**

Dar keistesnį rezultatą gautume uždare predikatus – antrosios modifikacijos kairiąją ir dešiniąją tapatybės dalis. Tokiu būdu gautume formulę $\langle\langle :A \rangle\rangle$ sistema I $\stackrel{\text{def}}{=} \langle\langle a\langle\langle ;A \rangle\rangle t \rangle\rangle$, kuri reikštų, jog pirmojo tipo sistema yra jos konceptas – savybė t, atsirandanti sistemos elementams A jungiantis į struktūrą a.

Iš to, kas pasakyta, išplaukia, kad **formulės, užrašytos dviejų predikatų ekvivalentiškumo forma, yra aiškesnės ir tikslesnės, negu užrašytos sąvokų tapatybės forma, todėl jas – atvirąsias formules – ir laikysime formalizuotais pirmojo tipo sistemos apibrėžimais.**

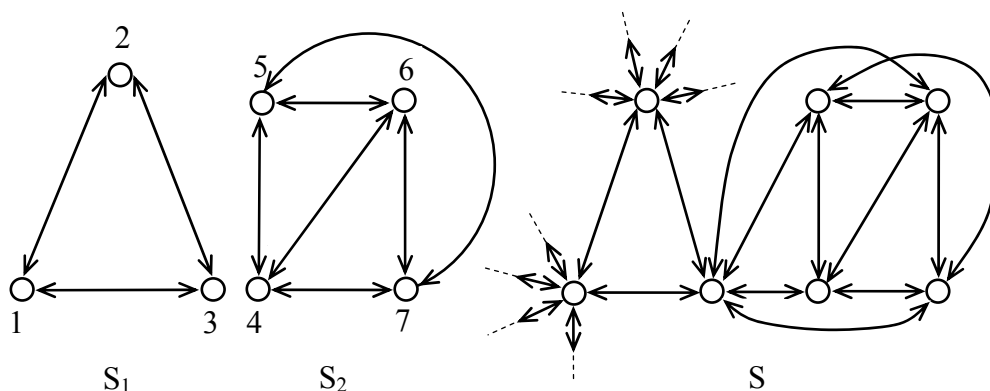
Antroji išvada, kuri išplaukia iš ką tik gautų rezultatų: **iš predikatų ar teiginių ekvivalentumo nebūtinai išplaukia atitinkamų uždarų formulių tapatumas.**

Naujų savybių, jungiant objektus į sistemą, atsiradimo reiškinį vadina **emerddžencija**, o tokio reiškinio galimybę – **emerddžentiškumu** (nuo žodžio „emergence“ – naujo atsiradimas, pasirodymas)*. Neretai, kritikuodami **emerddžentinės evoliucijos teoriją**, kai kurie filosofai, prisilaikantys dogmatiškai materialistinės pasaulėžiūros, bando paneigti net patį emerddžencijos reiškinį, nors tas reiškinys neturi savyje nieko „mistiško“ ir yra visai natūraliai paaiškinamas.

Tarkime, kad turime dvi atskiras sistemas S₁ ir S₂ (žiūr. 34 pav.).

Pirmoji iš jų turi tris elementus 1, 2, 3, sujungtus vienas su kitu galimais šešiais ryšiais („santykiais“) r_{1,2}, r_{2,1}, r_{1,3}, r_{3,1}, r_{2,3}, r_{3,2}. Antroji sistema turi keturis elementus 4, 5, 6, 7, sujungtus vienas su kitu dvylika galimų ryšių r_{4,5}, r_{5,4}, r_{4,6}, r_{6,4}, r_{4,7}, r_{7,4}, r_{5,6}, r_{6,5}, r_{5,7}, r_{7,5}, r_{6,7}, r_{7,6}.

* Emerddžencija neretai vadina dar ir vieną nuo kitos priklausančių sistemos dalių sąveikavimo **sinergiją** (nuo graikiško žodžio „synergos“, reiškiančio „kartu veikiantys“). Sinergetinio efekto atsiradimas, sistemos elementams jungiantis ir sąveikaujant, rodo, jog **emerddžencija – netiesinis reiškinys**. Tiesinėse jungimosi operacijose rezultatas yra lygus operandų sumai ir nieko nauja, išskyrus tą sumą, atsirasti negali.



34 pav.

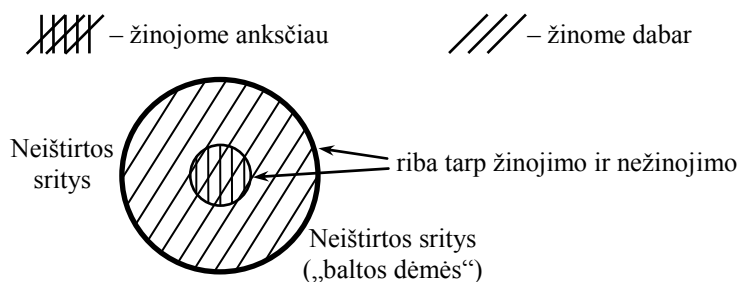
Jei sistemas S_1 ir S_2 pabandytume sujungti į vieną sistemą S , tai galėtų atsirasti (o galėtų ir neatsirasti) papildomi ryšiai tarp elementų, priklausančių skirtingoms sistemoms S_1 ir S_2 , būtent ryšiai $r_{3,4}$, $r_{4,3}$, $r_{3,5}$, $r_{5,3}$, $r_{3,6}$, $r_{6,3}$, $r_{3,7}$, $r_{7,3}$, $r_{2,4}$, $r_{4,2}$, $r_{2,5}$, $r_{5,2}$, $r_{2,6}$, $r_{6,2}$, $r_{2,7}$, $r_{7,2}$, $r_{1,4}$, $r_{4,1}$, $r_{1,5}$, $r_{5,1}$, $r_{1,6}$, $r_{6,1}$, $r_{1,7}$, $r_{7,1}$.

Tokiu būdu gauname, kad prie sistemų S_1 ir S_2 aštuoniolikos vidinių ryšių, toms sistemoms jungiantis, gali prisidėti dar iki dvidešimt keturių naujai atsiradusių tarpsisteminių ryšių, kurie sistemoje S bus jau vidiniai. Niekio nuostabaus, kad, pereinant nuo sistemų S_1 , S_2 prie sistemos S , gali atsirasti naujų savybių: juk sistemoje S , palyginus su S_1 ir S_2 , gali atsirasti tiek naujų ryšių, kad jų skaičius bus net didesnis už visų jau buvusių ryšių skaičių, o naujų ryšių atsiradimas gali iššaukti ir naujų savybių atsiradimą. Tačiau kartais jungiamos sistemos S_1 ir S_2 gali ir „nereaguoti“ viena į kitą. Tuomet neatsiras naujų ryšių, todėl neatsiras ir naujų savybių. Turėsime dviejų sistemų S_1 ir S_2 „sumą“ $S_1 \cup S_2$, bet neturėsime naujos sistemos S kaip naujo objekto, turinčio savas specifines savybes.

Kadangi, jungiant sistemas, gali vykti procesai, aprašomi ne tik operacijomis „b“ ir „ $\cup$ “, bet ir įvairiomis kitomis operacijos „v“ modifikacijomis, kurių, kaip jau buvo pažymėta 1.5. skyriuje (žiūr. taip pat 1.9.2.21.1÷1.9.2.21.4. skyrelius), yra gana daug, tai iš anksto dažnai sunku nuspėti, kokios naujos sisteminės savybės atsiras emerdžencijos dėka, kokį naują objektą – mažesnių objektų sujungimo rezultatą – gausime.

Tik gerai ištyrus besijungiančius objektus ir patį jungimosi procesą, galima išsiaiškinti, kodėl atsirado tos, o ne kitos sisteminės savybės, kodėl buvo gauta tokia, o ne kitokia nauja sistema. Dabar mes jau gana neblogai žinome, ką gausime jungdami tuos ar kitus cheminius elementus cheminės reakcijos metu, kokios naujos augalų bei gyvūnų savybės gali atsirasti, kryžminant augalus ar gyvūnus, bandome daryti pirmuosius žingsnius genų inžinerijoje, tačiau ir šiandien sutinkame daug atvejų, kada negalime nuspėti galimų sudėtingų sistemų sudėtingo sąveikavimo pasekmių. Todėl mes, žmonės, keisdami mus supantį pasaulį, privalėtume būti žymiai atsargesni ir kuklesni.

Ir taip, matyt, bus visada: **plečiantis mūsų žinojimo sričiai** (35 pav. ji užstrichuota), **išsiaiškinant vis daugiau reiškinių anksčiau mums buvusių nesuprantamais**, „linijos“, skiriančios „žinojimą“ nuo „nežinojimo“, **ilgis vis didėja, ir neišspręstų problemų skaičius auga**. Ir tas augimas vyksta tuo greičiau, kuo sparčiau mes sprendžiame tas problemas. Tai reiškia, **jog neišspręstų sprendžiamų problemų ateityje tik daugės**. Žinojimas, suteikdamas naujas galimybes, iššauks ir naujas problemas bei naują nežinojimą, o pastarasis skatins naujas paieškas ir ves prie naujo žinojimo ir t. t. Tai – **bedrasisteminis žmonijos progreso dėsnis**.



35 pav.

Jungiant elementus į sistemą, **gali atsirasti sisteminių savybių, priklausančių ne tik pačiai sistemai, bet ir jos elementams, nes naujų ryšių atsiradimas gali paveikti ir elementus**. Pavyzdžiui, sudarant **organizacijas**, t. y. pirmojo tipo sistemas, skirtas tam tikrų tikslų pasiekimui ir jungiančias savyje elementus, galinčius turėti nuosavų tikslų (pavyzdžiui, žmones), organizacijų elementai, užimdami tam tikras pareigas, gali įgyti savybių, būdingų užimamoms pareigoms. Tai reiškia, jog organizacijų elementų savybės gali būti dviejų rūšių: **nuosavos (individualios) elementų savybės**, kurios priklauso elementui nepriklausomai nuo jo vietos (vaidmens) sistemoje, ir **sisteminės (struktūrinės) elementų savybės**, kurios priklauso nuo elemento vietos (vaidmens) sistemoje ir keičiasi, keičiantis tai vietai (vaidmeniui, pareigoms).

Pavyzdžiui, termitas, būdamas vienas, elgiasi kitaip, negu termitų šeimoje. Stebint termitų bei bičių šeimų elgesį, nejučiomis kyla klausimas, ar termitų, bei bičių šeimos nėra savo rūšies „supraorganizmai“, t. y. daugiau negu individų, savo veikloje besivadovaujančių įgimtais instinktais, paprasti sambūriai. Matyt, ir čia pasireiškia emerđžencijos reiškiny, privedantis prie **instinktyvaus kolektyvinio „proto“ sistemos atsiradimo**. Įdomu šiuo atžvilgiu panagrinėti stichinės **saviorganizacijos** procesus žmonių minioje ir „kolektyvinės nuotaikos“ poveikį atskiriems individams. Žinodami šitą reiškinį, kai kurie politikai stengiasi „inkorporuoti“ į mitinguoti bei piketuoti susirinkusią minią savo agentus, kad šie formuotų minioje tiems politikams naudingas nuotaikas. Kai kurių asmenybių charizmatinis poveikis irgi surištas su emerđžencijos reiškiniu, organizuojančiu minią į pirmojo tipo sistemą.

Pirmojo tipo sistemos kartais vadinamos „konstruktyvinėmis“, nes jos atsiranda „konstruojant“ sistemas iš elementų, sudėtingesnes sistemas – iš paprastesnių sistemų. Tas „konstravimas“ gali būti kaip **sąmoningas** (pavyzdžiui, žmonių, konstruojančių įvairias sistemas, veikloje), taip ir **savaiminis** (įvairiuose savaiminiuose gamtos procesuose). Sąmoningame konstravime žmogus iškelia sau tikslą sukurti tokią sistemą, kuri turėtų norimas savybes „t“, ir ieško tokių elementų ir tokios jų jungimo struktūros (santykių tarp elementų), kad tų savybių atsiradimas būtų užtikrintas. „Savaiminiame konstravimesi“ atsitiktinai gali atsirasti įvairių sistemų ir įvairių savybių, bet išlieka ir paplinta tik tos sistemos, kurios labiau prisitaikiusios prie susidariusių ar susidarančių sąlygų. Sąmoningo pirmo tipo sistemos konstravimo pavyzdžiu gali būti, tarkim, televizoriaus konstravimas, kurio metu įvairios detalės jungiamos į struktūrą, atitinkančią televizoriaus principinę ir montavimo schemą, sugalvotą taip, kad sukurtoji sistema įgytų savybę priimti siunčiamas radijo bangas ir pervesti atneštą tomis bangomis informaciją į vaizdus ir garsus. „Savaiminio konstravimosi“ pavyzdžiu gali būti **gyvosios gamtos evoliucija**, kurios metu, veikiant atsitiktinėms **mutacijoms**, **atrakai** kovoje už būvį ir **paveldimumui** perduodant genus, atsirado ir tobulėjo daug įvairių pirmojo tipo **biosistemų**: augalai, gyvūnai ir tokios jų sistemos kaip biocenožė, fitocenožė, zoocenožė, biogeocenožė ir t. t. Yra sistemų, kurių formavimėsi dalyvauja ir savaiminiai, ir sąmoningai tvarkomi procesai.

Tokių mišrių pirmojo tipo sistemų pavyzdžiu gali būti dabartinės **socialinės ir ekologinės sistemos**.

Baigiant pirmojo tipo sistemų trumpą aprašymą, reikėtų pažymėti, kad **pirmojo tipo sistemos skiriasi nuo paprastų tų sistemų elementų aibių dar ir tuo, kad visiškai vienodi tų aibių elementai, turintys visiškai vienodus modelius (ir išorinius ir vidinius), pirmojo tipo sistemoje gali būti funkcionaliai neekvivalentūs**, nes gali užimti sistemos struktūroje skirtingas vietas ir atlikti skirtingus vaidmenis. Kitaip tariant, **vienodi sistemos sudėties elementai gali būti skirtingais tos sistemos struktūros elementais**.

Pavyzdžiui, elektroninė schema, vadinama trigeriu, apie kurią mes kalbėsime 1.10. skyriuje, kompiuteryje gali būti ir registro, ir skaitliuko, ir valdymo sistemos, ir aritmetinio įrenginio, ir kitų kompiuterio posistemų elementu, atlikdama juose skirtingas funkcijas.

Kitas pavyzdys: vienas ir tas pats žmogus gali dalyvauti kelių organizacijų veikloje, turėdamas skirtingas pareigas ir atlikdamas skirtingas veiklos funkcijas.

Taigi, **„aparatinis“ sistemos elementų ekvivalentiškumas negarantuoja jų funkcinio ekvivalentumo pirmojo tipo sistemoje**.

Iš kitos pusės, **sistemoje vienodas funkcijas kartais gali atlikti ir „aparatiškai“ skirtingi elementai bei posistemiai**. Kitaip tariant, **vienodais struktūros elementais kartais gali būti ir skirtingi sudėties elementai**.

Pavyzdžiui, mūsų jau nagrinėtieji įvairių tipų dvejetainiai sumatoriai, turėdami skirtingas sudėtis ir struktūras, atlieka vienodas funkcijas – sudeda dvejetainius skaičius, išvesdami savo išėjimuose tų skaičių sumą.

Kitas pavyzdys: robotas gali pakeisti kai kurių profesijų darbuotojus, atlikdamas už juos jų funkcijas.

Taigi, **funkcinis pirmojo tipo sistemos elementų ekvivalentiškumas negarantuoja jų „aparatinio“ (morfologinio) ekvivalentiškumo**, nors gana dažnai vienodas funkcijas atliekantys elementai būna morfologiškai vienodi (izomorfiški) ar bent jau panašūs. Su tokiais reiškiniiais mes susidursime dar ne vieną kartą.

Visa tai rodo, kokią didelę reikšmę sistemoje turi jos struktūra, kurios dėka pirmojo tipo sistemos ir skiriasi nuo iš tų pačių elementų sudarytų paprastų (neorganizuotų) aibių, nagrinėjamų aibių teorijoje.

Kaip tik pirmojo tipo **sistemos struktūros dėka** tos sistemos **įėjimo srautai transformuojasi į jos išėjimo srautus, sutvarkomas ir apribojamas į sistemą patekusių srautų ir jų komponentų judėjimas, sistemos perėjimai iš vienos būsenos į kitą**. Sistemos išorinis matematinis modelis – jo perėjimų ir išėjimų funkcijos – daugiau atspindi sistemos struktūrą negu jos sudėtį (prisiminkite „Įvade“ pateiktas mechaninių svyravimų ir elektromagnetinių virpesių diferencialines lygtis ir tų lygčių izomorfiškumą, rodantį, kad mechaniniai ir elektromagnetiniai virpesių kontūrai, turėdami skirtingos prigimties sudėtis, bet izomorfiškas struktūras, aprašomi izomorfiškais matematiniais modeliais ir todėl jų funkcionavime daug panašumų). **Sistemos turinčios izomorfiškos struktūras, gali būti fiziniiais viena kitos modeliais**.

Detaliau ir giliau apie struktūros vaidmenį pirmojo tipo sistemose bei sistemos struktūros ir sistemos sudėties santykius bus kalbama 1.7. ir 1.8. skyriuose, o 1.9. skyriuje bus apžvelgti kai kurie struktūrų tipai ir kai kurios operacijos su struktūromis.

1.6.2. Antrojo tipo sistemos

Antrajam sistemų tipui priskirsime tokias atitinkamu būdu sutvarkytas objektų – sistemos elementų – bei jų modelių aibes, kuriose objektų savybės

tenkina tam tikrus dėsningumus – sisteminius santykius, apsprendžiančius elementų vietas sistemoje.

Antrojo tipo sistemos pavyzdžiu gali būti periodinė Mendelejevo cheminių elementų sistema. Šios sistemos elementai sudaro antrojo tipo sistemą todėl, kad tų elementų savybės tenkina periodinį Mendelejevo dėsni: jei išdėstytume cheminius elementus atominio numerio (t. y. atomo branduolio krūvio) didėjimo tvarka, tai cheminių elementų savybės, kisdamos, einant nuo elemento prie elemento, keisis dėsningai ir tą dėsningumą mes rasime ne tik kitimo periodiškume, bet ir kitimo tendencijose kiekviename periode. Tuos dėsningumus mes nagrinėsime 1.9.1.2. skyrelyje.

Antrojo tipo sistemų elementai nebūtinai veikia vienas į kitą, ką mes matome pirmojo tipo sistemose, nes antrojo tipo sistemose tiesioginių fizinių (socialinių, politinių ir t. t.) ryšių tarp elementų gali ir nebūti. Tačiau elementų savybės antrojo tipo sistemoje išsidėsčiusios taip dėsningai, kad leidžia pastebėti, kurioje sistemos vietoje ir kokio elemento trūksta, koks elementas kurioje sistemos vietoje privalėtų būti. Kitaip tariant, **tarp antrojo tipo sistemos sudėties elementų ir jos struktūros elementų egzistuoja abipusė vienareikšmė atitiktis, apibrėžiama tuo dėsningumu, kuris egzistuoja tarp antrojo tipo sistemos elementų savybių.**

Antrojo tipo sistemos kartais vadinamos „**sistemizavimo sistemomis**“, nes jos surandamos bei sudaromos nagrinėjant ir atrandant objektyviai egzistuojančius dėsningumus bei po to sistemizuojant (klasifikuojant) objektus į klases, grupes ir pan. Sistemizavimo sistemos (kaip ir konstruktyvinės sistemos) gali būti ir **natūralios**, susidariusios savaime ir egzistuojančios objektyviai, ir **dirbtinės**, sukurtos žmonių. Dirbtinių antrojo tipo sistemų, sudarytų iš realių objektų, pavyzdžiu gali būti įvairios kolekcijos, tačiau dažnai dirbtinės antrojo tipo sistemos sudaromos ne iš pačių objektų, o iš jų modelių. Jau minėtąją periodinę cheminių elementų sistemą sudaro ne cheminės medžiagos, o jų modeliai, vadinami **cheminiais elementais**.

Tam, kad atrastume ar sukurtume antrojo tipo sistemą, reikia surasti dėsningumą, bendrą tos sistemos elementų savybėms, t. y. reikia surasti sisteminių santykių (santykius), kurį (kuriuos) tos savybės tenkintų. **Antrojo tipo sisteminiai santykiai skiriasi nuo pirmojo tipo sisteminių santykių:** antrojo tipo sisteminiai santykiai **surandami**, pirmojo – **sudaromi**, antrojo tipo sisteminiai santykiai **jungia individualias sistemos elementų savybes**, pirmojo – **jungia sistemos elementus ir iššaukia sistemos (o kartais ir elementų) sisteminių savybių atsiradimą**, antrojo tipo sisteminiai santykiai priklauso „**tvarkos**“ santykių tipui, pirmojo – „**sąveikos**“ santykių tipui.

Pasinaudoję ternarine Ujomovo kalba, galime sudaryti **formalizuotą antrojo tipo sistemos formalųjį apibrėžimą:**

$$\langle :A \rangle \overset{\text{def}}{\text{II}} \Leftrightarrow t\langle \langle ;A \rangle a \rangle \text{ arba } \langle :A \rangle \overset{\text{def}}{\text{II}} \Leftrightarrow t\langle \langle \langle ;A \rangle \rangle a \rangle.$$

Kairioji TSF pusė yra tvirtinimas, kad mūsų pasirinktų ir pažymėtų objektų „ A_i “ aibė „ A “ turi savybę būti antrojo tipo sistema. Dešinioji formulės pusė – tvirtinimas, kad tų (pažymėtų) elementų savybės „ a_i “ (ir savybių visuma „ a “) tenkina pilnai apibrėžtą sisteminių santykių (santykius) „ t “. Ekvivalentiškumo ženklas reiškia: jei teisingas tvirtinimas dešinėje ekvivalencijos pusėje, tai teisingas ir tvirtinimas kairėje jos pusėje, t. y., kad pasirinktojo objekto aibė „ A “ yra antrojo tipo sistema, ir atvirkščiai – iš kairiojo tvirtinimo teisingumo išplaukia dešiniojo tvirtinimo teisingumas. Antroji formulė skiriasi nuo pirmosios tik akcentavimu.

Kaip ir pirmojo tipo sistemų atveju, galima bandyti nuo formulų, jungiančių tvirtinimus (atviras TSF), pereiti prie formulų, jungiančių sąvokas (uždaras TSF).

Gauname formules: $\langle\langle :A \rangle\rangle$ sistema II $\stackrel{\text{def}}{=} \langle t\langle\langle :A \rangle\rangle a \rangle$ ir $\langle\langle :A \rangle\rangle$ sistema II $\stackrel{\text{def}}{=} \langle t\langle\langle\langle :A \rangle\rangle a \rangle$.

Kairioji tapatybių pusė reiškia mūsų pasirinktų ir pažymėtų objektų „A_i“ aibės „A“ savybę būti antrojo tipo sistema. Dešinioji pirmosios tapatybės pusė reiškia mūsų pasirinktų ir pažymėtų objektų „A_i“, įeinančių į aibę „A“ savybių „a_i“ visumą „a“, tenkinančią tam tikrą apibrėžtą dėsningumą – sisteminių santykį „t“. Tokiu būdu gauname, kad **antrojo tipo sistemos pagrindą sudaro jos elementų savybių visuma „a“, tenkinanti sisteminių santykį „t“**. Tą sutvarkytą savybių visumą vadina **atributine antrojo tipo sistemos struktūra**. Antrosios tapatybės dešinioji pusė reiškia santykį t, kurį tenkina sistemos elementų A_i savybės a_i. Tą santykį t, vaizduojantį tą tvarką, kuria išdėstomi antrojo tipo sistemos elementai, atsižvelgiant į jų savybes, vadina **reliacine antrojo tipo sistemos struktūra**. Pirmoji uždarytų formulų tapatybė sutapatina antrojo tipo sistemą su jos atributine struktūra, antroji – su jos reliacine struktūra. Kaip ir pirmojo tipo sistemų atveju, dviejų uždarytų formulų abi tapatybės negali būti antrojo tipo sistemos formaliais apibrėžimais. Tačiau abi tapatybės yra informatyvios, nes atkreipia mūsų dėmesį į „užslėptą“ (dar neišreikštą) atributinę ir jau išreikštą reliacinę antrojo tipo sistemos struktūrą.

Visa, kas buvo pasakyta apie pirmojo tipo sistemų posistemius ir elementus, sudėtį ir struktūrą, galioja ir antrojo tipo sistemoms, plačiai taikomoms sistematizuojant ir klasifikuojant įvairius objektus („daiktus“, jų savybes, santykius tarp daiktų ir savybių, įvairią informaciją apie daiktus, jų savybes ir santykius).

Antrojo tipo sistemoms galioja ir visa tai, kas buvo pasakyta apie sistemų, jų posistemų ir elementų sąvokų reliatyvumą, bei tos pastabos, kurios 1.6.1. skyrelyje buvo išsakytos atžvilgiu tų rezultatų, kurie buvo gauti, uždariant atviras TSF formaliuose sistemos apibrėžimuose.

A. Ujomovas savo knygoje nurodo dar vieną sistemos sąvokos reliatyvumo aspektą: jo nuomone, **į klausimą, ar nagrinėjama objektų visuma yra sistema, galima pakankamai pagrįstai atsakyti tik tada, jei klausiantysis nurodo santykį „t“ arba savybę „t“, kurių atžvilgiu nagrinėjama visuma sudaro (ar nesudaro) sistemą**. Žiūrėdami į kokią nors objektų aibę vienu atžvilgiu, t. y. vienos kokios tai savybės „t“ ar santykio „t“ atžvilgiu, mes galime rasti, kad ta aibė – sistema, o tuo metu, žiūrėdami kitu atžvilgiu, mes toje aibėje sistemos nerasime. Ujomovas nurodo keletą pavyzdžių, iliustruojančių šią mintį. Sakysim, mes įeiname į kambarį ir randame ten netvarką: knygos išmėtytos ant grindų, batai ant lovos ir t. t. Žiūrėdami į visa tai stropios šeimininkės akimis, pamatytume visiško nesistemiškumo pavyzdį – tikrą netvarką. Tačiau, jei kambarį, ką tik prieš mums įeinant, įvyko nusikaltimas, tai patyrusiam kriminalistui visa ši netvarka gali tapti gana informatyvia nusikaltimo nagrinėjimo ir jo aplinkybių bei eigos aiškinimo sistema. Knygos, sudėtos lentynoje, gali sudaryti sistemą vienu atžvilgiu, nes jų išdėstymo tvarka tenkina tam tikrą dėsningumą – sisteminių santykį, tačiau kitu atžvilgiu (kito dėsningumo reikalavimų atžvilgiu) tos pačios knygos gali sistemos nesudaryti.

1.6.3. Kas yra sistema?

Palyginę pirmojo ir antrojo tipo sistemų apibrėžimus, mes randame tarp jų ne tik skirtumus, bet ir tam tikrą jų bendrumą, kurį galima išreikšti **dualumo principu: jei pakeistume vietomis savybės ir santykio sąvokas, tai iš vieno tipo sistemos apibrėžimo (t. y. dešinėsios apibrėžimo formulės dalies) gautume kito sistemos tipo apibrėžimą** (naują dešiniąją apibrėžimo formulės dalį), o tai reiškia, kad

modeliuodami sistemas, mes galime sudarinėti ne tik to paties tipo, bet ir dualaus tipo sistemų modelius, nes yra galimybė, naudojantis dualumo principu, pereiti nuo vieno tipo modelių prie kito tipo, o po to, reikalui esant, vėl grįžti prie pradinio tipo.

Matyt, **tas bendrumas, kuris jungia abiejų tipų sistemų sąvokas, ir tam tikros tvarkos, tam tikros struktūros sistemos elementų aibėje įvedimo bei suradimo galimybė žmonių, įvedusių „sistemos“ termino panaudojimą į bendrąją ir mokslinę kalbą, buvo intuityviai nujauta ir išreikšta tuo, kad abiejų tipų sambūriai, sudaryti iš tam tikra tvarka išdėstytų elementų, buvo pavadinti vienodai – „sistemomis“.**

Įsivedus ir apibrėžus sąvokas „pirmojo tipo sistema“ ir „antrojo tipo sistema“, galima patikslinti atsakymą į klausimą „Kas yra sistema?“.

Man atrodo, jog, vadovaudamiesi „sisteminio požiūriu“ ir norėdami sukurti kuo tikslesnį ir kuo platesnį sąvokos „sistema“ apibrėžimą, kuris aprėptų visas esančias ir galimas sistemas, tuo pačiu būdamas kuo trumpesnis ir kuo suprantamesnis, į šį klausimą galėtumėme atsakyti taip:

„Mums, sistemotyriminkams, sistema yra ir gali būti bet kuri aibė, jei tik joje mes sugebame įžvelgti pirmojo ar antrojo tipo sistemą.“

Iš šio apibrėžimo išplaukia, jog atsakymas į klausimą, ar nagrinėjamas objektas yra sistema, priklauso ne tiek nuo to objekto, kiek nuo mūsų sugebėjimo pamatyti jame sistemą ir, pasinaudojant tokiu pamatymu, pastebėti ir suprasti tame objekte ir jo funkcionavime bei evoliucijoje žymiai daugiau, negu pastebi ir supranta tie, kurie mato tik objektą, bet nemato jame sistemos, susidedančios iš sistemų ir esančios dalimi dar didesnės sistemos, egzistuojančios erdvėje, laike ar kokių nors sistemų aibėje.

Tokio sugebėjimo, kurį galima pavadinti „sisteminio matymu“, ir tokios filosofijos, kurią galima pavadinti „sisteminio požiūriu“, esančių būtinomis sudėtinėmis „sisteminio mąstymo“ dalimis, ugdymas yra vienas svarbiausių sistemotyros kurso pirmosios dalies tikslų.

Tik sugebėdami pamatyti stebimame ar įsivaizduojamame objekte ar procese sistemą, mes galėsime bandyti ją analizuoti, modeliuoti ar projektuoti kaip sistemą. **Išmokymas ir išmokimas tai daryti – ir daryti pakankamai efektyviai – vienas svarbiausių sistemotyros kurso ir šios mokymo priemonės uždavinių.**

1.6.4. Sistemų klasifikavimas

Sistemų įvairovė tokia didelė, o pačių sistemų tiek daug, kad apžvelgti ir išnagrinėti visą jų aibę, jų nerikiuojant ir kitaip neklasifikuojant, tiesiog neįmanoma. Todėl **sistemų klasifikavimas – vienas pirmųjų sistemų sisteminės analizės etapų.** Galutinis **sistemų klasifikavimo tikslas – surikiuoti visas egzistuojančias bei galinčias egzistuoti sistemas į sistemų antrojo tipo sistemą, suradus tuos bendrasisteminius dėsningumus, kurie leistų nustatyti antrojo tipo sistemoje kiekvienai sistemų klasei savo vietą.** Iki to, tiesa, dar toli ir net neaišku, ar tas tikslas kada nors galės būti pasiektas, kadangi net žymiai siauresnei sistemų klasei – cheminiams junginiams – mes, kaip bus parodyta 1.9.3. skyrelyje, iki šiol tokios antrojo tipo sistemos, kuri aprėptų visus junginius, nesugebame sudaryti. Tačiau bandyti reikia, nes kokios nors tvarkos (nors ir dalinės, fragmentinės) įvedimas yra naudingas. Jis padeda išsiaiškinti „užslėptąją“ būsimosios sistemos atributinę struktūrą ar bent kai kurias jos dalis.

Sistemų aibę galima dekomponuoti ne tik į **pirmojo ir antrojo tipo** sistemas. Galimi (ir būna naudingi) taip pat ir kiti sistemų klasifikavimo būdai, kuriuose naudojami kiti sistemų požymiai. Trumpai apžvelgsime kai kuriuos sistemų klasifikavimo būdus, išskirdami kai kurias sistemų klases ir išsiaiškindami kai kurias

bendrąsias jų savybes, permesdami „tiltukus“, jungiančius tradicinius mokslus ir besikuriančią bendrąją sistemų teoriją į „mokslių sistemą“ – sisteminės pasaulėžiūros ir sisteminio mąstymo pagrindą.

1.6.4.1. Uždaros ir atviros pirmojo tipo sistemos. Pilnos ir nepilnos antrojo tipo sistemos

Vienas galimų ir turinčių teorinę ir praktinę prasmę klasifikavimo būdų – šios mokymo priemonės „Įvade“ jau minėtas pirmojo tipo sistemų skirstymas į **uždaras** ir **atviras** sistemas. Toks skirstymas turi prasmę todėl, kad **atvirų sistemų teorija** žymiai skiriasi nuo mechanikoje ir kituose fizikos moksluose nagrinėjamos ir gerai išvystytos bei matematizuotos **uždarų sistemų teorijos**.

Uždara sistema vadinama tokia sistema, kurios sąveikavimai su aplinka, pasireiškiantys kaip medžiaginiai, energetiniai ir/ ar informaciniai mainai tarp sistemos ir jos aplinkos, taip silpnai veikia (ar visai neveikia) tą sistemą bei joje vykstančius procesus, jog į tuos poveikius galima nekreipti dėmesio ir laikyti, kad nagrinėjamoji sistema su savo aplinka praktiškai nesąveikauja.

Fizikiniuose tyrimuose buvo nustatyta, jog **realiose uždaroose sistemose** vidiniai makroprocesai gali vykti tik taip, jog **chaotiškumo bei neorganizuotumo sistemoje charakteristika – termodinaminė entropija S – sistemoje gali tik didėti**.

Idealiose uždaroose sistemose, kuriose neegzistuoja trintis bei kiti analogiški procesai, vedantys prie energijos iššvaistymo ir/ar nuvertėjimo, ir kuriose todėl visi procesai yra **grįžtamieji** (t. y. gali vykti abejomis kryptimis visiškai vienodai), **termodinaminė entropija S išlieka pastovi, t. y. mažėti irgi negali**.

Šį dėsnumą, nusakantį makroprocesų kryptį uždaroje realioje bei idealioje pirmojo tipo sistemose ir kardinaliai skiriantį uždarojas sistemas nuo atvirųjų, kuriose entropija gali ir mažėti, vadina **antruoju termodinamikos dėsniu (principu)**, priskirdami energijos tvermės dėsniui **pirmojo termodinamikos dėsniu (principu) vardą**. Abu šiuos principus galima laikyti ir **bendrasisteminiais principais**, galiojančiais ne tik fizikinėms bet ir organizminėms bei organizacinėms sistemoms.

Yra dar ir **trečiasis termodinamikos principas**, vadinamas **Nernsto šilumine teorema**, teigiantis, jog **temperatūrai artėjant prie absoliutaus nulio**, kurį pasiekus turėtų sustoti molekulių šiluminis judėjimas, visų pusiausvyriųjų sistemų **termodinaminė entropija artėja prie nulio**.

Termodinaminė entropija S charakterizuoja molekulių šiluminį judėjimą iš jų sudarytoje sistemoje ir matematiškai apibrėžiama formule $dS = \frac{dQ}{T}$. Šioje formulėje Q – šiluminės energijos kiekis sistemoje, T – absoliuti temperatūra (t. y. temperatūros dydis sistemoje, Kelvino skalėje), kuriai esant vyksta nagrinėjamieji šilumos kiekio ir entropijos dydžio pokyčiai, $\frac{dS}{dQ}$ – termodinaminės entropijos didėjimo greitis, kintant šilumos kiekiui sistemoje.

Termodinaminės entropijos didėjimo uždaroje realioje sistemoje dėsniu pasireiškimą iliustruosiu paprastu dažnai stebimu reiškiniu: sąveikaujant dviem skirtingas temperatūras turintiems ir nuo kitų kūnų bei aplinkos izoliuotiems kūnams, šiluminiai mainai tarp tų dviejų kūnų vyksta ta kryptimi, kad labiau įkaitęs kūnas aušta, o mažiau įkaitęs – šyla tol, kol tų kūnų temperatūros nesusilygina.

Tarkime, jog į kalorimetrą, kuriame yra m_1 kilogramų vandens, turinčio temperatūrą T_1 , įpilamas papildomas vandens kiekis, turintis masę m_2 ir absoliučią temperatūrą T_2 .

Aišku, kad po tam tikro laiko visas vanduo tame kalorimetre turės jau vienodą temperatūrą T . Jos apskaičiavimui pasinaudosime pirmuoju termodinamikos dėsniu. Paprastumo dėlei priimsime, jog kalorimetro masė ir jo specifinė šiluminė talpa turėtų būti tokie maži dydžiai, kad šilumos pokyčius pačiame kalorimetre, keičiantis jame esančiai temperatūrai, galėtumėme laikyti tokiais mažais, jog į juos

būtų galima nekreipti dėmesio. Laikysime, jog ši prielaida šiuo atveju yra tenkinama*. Tuomet, laikydami, kad bendras šilumos kiekis, kurį turi abu vandens kiekiai, nepasikeis, gausime lygybę $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 = c m_1 (T - T_1) + c m_2 (T - T_2) = 0$. Šioje lygybėje koeficientas c žymi specifinę šiluminę vandens talpą, kurią laikysime nekintančia* ir apytiksliai lygią $4223,5 \frac{\text{J}}{(\text{kg} \cdot \text{K})}$.

$$\text{Iš šios lygybės išplaukia, jog } T = \frac{(c m_1 T_1 + c m_2 T_2)}{(c m_1 + c m_2)} = \frac{(m_1 T_1 + m_2 T_2)}{(m_1 + m_2)}.$$

Dabar apskaičiuosime, kaip pasikeis bendroji dviejų nagrinėjamų vandens kiekių entropija:

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \int_{T_1}^T \left(\frac{dQ}{T} \right) + \int_{T_2}^T \left(\frac{dQ}{T} \right).$$

$$\text{Kadangi } dQ = d(c m T) = c m dT, \text{ tai } \Delta S = \left(c m_1 \int_{T_1}^T \left(\frac{dQ}{T} \right) + c m_2 \int_{T_2}^T \left(\frac{dQ}{T} \right) \right) = c \left(m_1 \ln \left(\frac{T}{T_1} \right) \right) + \\ + \left(m_2 \ln \left(\frac{T}{T_2} \right) \right) = c \ln \left(\left(\frac{T}{T_1} \right)^{m_1} \cdot \left(\frac{T}{T_2} \right)^{m_2} \right).$$

Tarkime, jog $m_1 = m_2 = m = 10 \text{ kg}$, $T_1 = 350^\circ \text{ K}$, $T_2 = 300^\circ \text{ K}$.

$$\text{Tuomet } T = m \frac{(T_1 + T_2)}{2m} = \frac{(T_1 + T_2)}{2} = 325^\circ \text{ K}, \quad \Delta S = c m \left(\ln \left(\frac{T}{T_1} \right) + \ln \left(\frac{T}{T_2} \right) \right) = c m \ln \left(\frac{T^2}{(T_1 \cdot T_2)} \right) = \\ = c m \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{4 \cdot T_1 \cdot T_2}.$$

$$\text{Kadangi } (T_1 + T_2)^2 - 4 T_1 \cdot T_2 = (T_1 - T_2)^2 \geq 0, \text{ tai } \frac{(T_1 + T_2)^2}{(4 \cdot T_1 \cdot T_2)} \geq 1.$$

$$\text{Todėl } \Delta S \geq 0, \text{ nes } c > 0, m > 0, \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{(4 \cdot T_1 \cdot T_2)} \geq 0. \text{ Kai } T_1 \neq T_2, \text{ tai } \frac{(T_1 + T_2)^2}{(4 \cdot T_1 \cdot T_2)} > 1 \text{ ir } \Delta S > 0, \text{ o kai } T_1 = T_2,$$

tai $\Delta S = 0$, t. y., **kai vyksta šilumos perdavimo iš vieno kūno į kitą ir kūnų temperatūrų išsilyginimo procesai, tai bendras sistemos, sudarytos iš dviejų izoliuotų kūnų, entropijos pokytis yra teigiamas dydis.**

$$\text{Konkrečiu mūsų nagrinėjimo atveju } \Delta S = c m \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{(4 \cdot T_1 \cdot T_2)} \approx 4223,5 \cdot 10 \cdot \ln \frac{13^2}{14,12} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right) \approx 251 \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right),$$

t. y. sistemos entropija padidėjo apytiksliai 251 vienetu.

Nustatyta, jog dujinės sistemos **makroskopinę būseną (makrobūseną)**, charakterizuojamą dujų slėgiu p , temperatūra T ir tūriu V , atitinka daug skirtingų tos sistemos **mikroskopinių būsenų (mikrobūsenų)**, charakterizuojamų dujų molekulių išsidėstymu erdvėje viena kitos atžvilgiu ir tų molekulių greičių dydžių pasiskirstymu. Tas mikrobūsenas žymus vokiečių fizikas, kvantinės mechanikos pradininkas M. Plankas (M. Planck), pavadino **kompleksijomis**. Pažymėję makrobūseną z_i atitinkančių skirtingų mikrobūsenų (kompleksijų) skaičių žymeniu W_i , galime būseną z_i atitinkančios termodinaminės entropijos S_i priklausomybę nuo W_i išreikšti formule: $S_i = k \ln W_i$. Ši formulė išreiškia svarbų **termodinaminį principą**, kurį suformulavo austrų fizikas L. Boltzmanas (L. Boltzmann). Jo

$$\text{vardu pavadintas ne tik šis principas, bet ir konstanta } k = \left(\frac{R}{N_A} \right) \approx (1,380656 \pm 0,000012) \cdot 10^{23} \left(\frac{\text{J}}{\text{K}} \right).$$

Šioje formulėje $N_A \approx 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ – Avogadro skaičius – molekulių skaičius viename molyje, o R – universalioji idealių dujų konstanta, t. y. konstanta Klapeirono lygtyje $pV = \left(\frac{m}{\mu} \right) RT$ idealioms dujoms. Dydį W_i vadina **makroskopinės būsenos z_i statistiniu svoriu**, o kartais – tos

* Teoriniuose samprotavimuose tokios ir panašios prielaidos leidžia žymiai supaprastinti skaičiavimus. Žymiai sudėtingiau būna realiuose eksperimentuose, siekiant pakankamo tikslumo. Čia verta prisiminti šios mokymo priemonės „Pratarmėje“ pateiktą pastabą, aptariant skirtumą tarp teorinių ir praktinio taikymo uždavinių. Ši iliustracija patvirtina „Pratarmėje“ suformuluotą teiginį, kad praktinius uždavinius spręsti dažnai yra sudėtingiau.

būsenos termodinamine tikimybe, nors tam, kad tą dydį būtų galima interpretuoti kaip tikrą tikimybę, ji reikėtų padalinti iš visų galimų nagrinėjamos dujinės sistemos mikrobūsenų skaičiaus $\sum_{i=1}^n W_i$, kur n – visų galimų skirtingų makrobūsenų skaičius.

Iš Boltzmano principo ir antrojo termodinamikos principo išplaukia, jog **uždaroje pirmojo tipo sistemoje makroprocesai vyksta sistemos būsenos tikimybės didėjimo kryptimi**, nors mikroprocesų lygyje yra galimi atskiri („individualūs“) laikini („momentiniai“) nukrypimai nuo makroprocesų kitimo krypties, vadinami **fliktuacijomis**. Kitaip tariant, **termodinamikoje veikia didžiųjų skaičių dėsnis**: nors atskirais atvejais ir gali įvykti atskiri mažai tikėtini mikroskopiniai įvykiai, tačiau žymiai dažniau įvyksta labiau tikėtini įvykiai, ir todėl bendras visų tų mikroprocesų integravimosi rezultatas – makroprocesas – vyksta taip, kad laikui bėgant sistema artėja prie tos makrobūsenos, kurios buvimo tikimybė yra didžiausia.

Todėl labiausiai tikėtina, uždaros (izoliuotos) termodinaminės sistemos makrobūseną charakterizuoja tos sistemos entropijos maksimumas ir laisvosios energijos minimumas. Tai atitinka didžiausio chaoso būseną sistemoje. Kitaip tariant, bet kuri uždara sistema, negalinti atsinaujinti savo aplinkos sąskaita, pasmerkta degradacijai ir suirimui. Šis dėsnis galioja ne tik dujoms, bet ir organizmams bei visuomeninėms sistemoms. Tai – **bendrasisteminis dėsnis**, kurį patvirtina daugybė konkrečių pavyzdžių.

Sistemotyros mokslui svarbu, jog su uždaros sistemos būsenų tikimybėmis surišta ne tik termodinaminė, bet ir taip vadinamoji **informacinė entropija H** , esanti **ne tik sistemos būsenos**, bet ir **jos neapibrėžtumo mums (mūsų nežinojimo, mūsų neinformuotumo apie stebimos sistemos būseną) lygio kiekybinė charakteristika**.

Informacinė entropija H apskaičiuojama naudojantis formule $H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$,

kuri vadinama **Šenono formule**. Šioje formulėje P_i yra tikimybė, jog nagrinėjamoji sistema yra bei gali būti makrobūsenoje z_i , o n – tos sistemos visų galimų skirtingų makrobūsenų skaičius. Todėl $\sum_{i=1}^n P_i = 1$. Minuso ženklas Šenono formulėje yra atsiradęs

todėl, kad informacinė entropija H (kaip ir termodinaminė entropija S) negali būti neigiamu dydžiu, o dinaminėje sistemoje, turinčioje ne vieną, o keletą (ar net labai daug) galimų skirtingų makrobūsenų, bet kurios galimos makrobūsenos z_i tikimybė P_i turi tenkinti nelygybes $0 < P_i < 1$, $i = 1, \dots, n$ dėl ko $\forall i (\log_2 P_i < 0)$.

Šenono formulės išvedimą skaitytojas gali rasti šios mokymo priemonės „[vade“ jau minėtame preprinte [4], o plačiau pasiskaityti apie šią formulę bei jos taikymus – knygoje [73÷77].

Nesunku įrodyti (įrodymą taip pat galima rasti ką tiki minėtame šių eilučių autoriaus preprinte [4]), jog **informacinės entropijos H maksimumas pasiekiamas**

tada, kada visos tikimybės P_i yra vienodos ir lygios $\frac{1}{n}$. Tai atitinka sistemos būsenų

z_i tolygų pasiskirstymą ir sistemos būsenos neapibrėžtumo mums maksimumą (mūsų informuotumo apie tai, kokioje būsenoje sistema yra ar galėtų būti, minimumą).

Informacinės entropijos H sąvoka vaidina svarbų vaidmenį **kiekybinėje informacijos teorijoje**, nes **mūsų gaunamos informacijos apie sistemos būseną kiekis gali būti įvertintas informacinės entropijos sumažėjimu $H_1 - H_2$** . Čia H_1 – sistemos būsenos informacinė entropija, apskaičiuota dar iki informacijos apie sistemą gavimo, H_2 – sistemos būsenos informacinė entropija mums jau po informacijos gavimo, t. y. atsižvelgus į tą gautąją informaciją.

Pateiksiu konkretų informacijos kiekio, kurį gauname pranešime apie sistemos būseną, apskaičiavimo pavyzdį.

Tarkime, jog mes mestelėjome į viršų simetrišką monetą taip, kad ji ore bent kelis kartus apsisuktų bei apsisvertų, ir dar nežinome, kaip ta moneta nukrito: ar herbu į viršų, ar į apačią.

Šiuo atveju galimų monetos būsenų skaičius $n=2$ ir $P_1=P_2=\frac{1}{2}$. Situacijos neapibrėžtumas

$$H_1 = -\left(\frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\log_2\frac{1}{2}\right) = 1, \text{ t. y. – vienas bitas.}$$

Tarkime, jog sužinojome, kad moneta nukrito herbu į apačią. Tuomet situacijos neapibrėžtumas tapo lygus $H_2 = -(0\log_2 0 + 1\log_2 1) = 0$, t. y. nulis bitų. Toks rezultatas visiškai natūralus: mes tiksliai žinome, kaip nukrito moneta ir todėl neapibrėžtumo nebelyka.

Informacinės entropijos pokytis $\Delta H = H_1 - H_2 = 1 - 0 = 1$, t. y. vienas bitas. Tai informacijos, esančios pranešime, kad moneta nukrito herbu į apačią, kiekis.

Naudojantis Šenono formule nesunku paskaičiuoti, kad į triggerinį registrą, sudarytą iš m triggerių, galime patalpinti ne daugiau kaip m bitų informacijos. Juk kai tas registras tuščias, tai į jį galime įrašyti bet kurį m -ženklį dvejetainį skaičių, pradedant nuo 00...0 ir baigiant 11...1, iš kur

$$\text{išplaukia, jog } H = -\sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i = -2^m \left(\frac{1}{2}\right)^m \log_2 \left(\frac{1}{2}\right)^m = m, \text{ nes šiuo atveju } n=2^m \text{ ir visos } P_i = \frac{1}{2^m}.$$

Kai registras užpildytas, tai jo būsenos neapibrėžtumas H_2 yra lygus 0, nes iš visų galimų 2^m būsenų realizuota tik viena.

Todėl $\Delta H = H_1 - H_2 = m - 0 = m$.

Informacijos kiekio informaciniuose pranešimuose ir informacijos saugyklų **informacinės talpos** bei informacijos kanalų **informacinio pralaidumo** vertinimu užsiima **statistinė informacijos teorija** (žiūr. [75, 76, 78], kurios pradininku laikomas jau minėtas JAV matematikas Klodas Šenonas (C. Shannon)).

Ši teorija **pagilina ir praturtina informacijos sąvoką** (kurią mes jau aptarinėjome 1.1. skyriuje), suteikdama jai **statistinę interpretaciją** ir surišdama su entropijos ir negentropijos sąvokomis (žiūr. [73, 77÷79]) bei pateikdama jos **kiekybinio vertinimo formules ir metodus**.

Sisteminio požiūriu tai labai svarbu, nes **išryškina giluminius ryšius tarp įvairių mokslų**. Tai aktualu ne tik besikuriančiai informacijos teorijai, bet ir statistikai, nes **pagrindinis matematinės statistikos uždavinys kaip tik ir yra tokių metodų kūrimas, kurie leistų iš riboto stebėjimo duomenų kiekio gauti kuo daugiau informacijos apie stebimą objektą ar procesą**.

Norėčiau pažymėti, kad požiūriai į informaciją, išplaukiantys iš statistinės informacijos teorijos, ne tik papildo, bet ir patvirtina požiūrį, išplaukiantį iš kibernetikos mokslo, išsakytą šios mokymo priemonės 1.1. skyriuje.

Juk surinktus, bet dar neapdorotus statistinius duomenis galima interpretuoti kaip užšifruotą, bet dar neiššifruotą tekstą, kurio iššifravimu, taikydami matematinės statistikos metodus, ir užsiima statistikai. O užšifruotą, bet dar neiššifruotą tekstą galima interpretuoti kaip tam tikru būdu užšifruotus pirminius signalus, iš kurių reikia išgauti antrinius signalus, t. y. tai, ką kibernetikoje priimta vadinti informacija. Bet juk ir statistinė informacijos teorija tai, ką statistikai gauna apdorodami statistinius duomenis, taip pat vadina informacija. Vadinasi „statistinė“ informacijos sąvoka semantikos atžvilgiu sutampa su „kibernetine“ informacijos sąvoka. Tačiau **tos sąvokos, sutapdamos semantikos atžvilgiu, viena kitą papildo kitais atžvilgiais: „statistinis“ požiūris į informaciją leidžia kiekybiškai vertinti informacinių srautų apimtį bei informacijos perdavimo kanalų pralaidumą ir informacijos saugojimui reikalingų saugyklų talpas, ko trūko „kibernetinei“ informacijos koncepcijai, o „kibernetinis“ požiūris leidžia vertinti informaciją „pragmatiškai“, atsižvelgiant į tai, kokią naudą gautoji informacija gali duoti didinant mūsų veiklos efektyvumą, kas yra svarbu, sprendžiant, ar apsimoka rinkti ir apdoroti statistinius duomenis**.

Svarbu pažymėti dar ir tai, jog „negentropinis“ požiūris į informaciją, lyginant jį su „kibernetiniu“, praplečia informacijos sąvoką ir semantiniu atžvilgiu: laikydamas informacija tai, kas mažina neapibrėžtumą ir didina mūsų žinojimą, „negentropinis“ požiūris nereikalauja, kad tas žinojimas būtinais tarnautų „pragmatiniams“ valdymo tikslams. Tokio požiūrio į informaciją atsiradimas kaip tik ir suformavo perėjimą nuo „kibernetikos siaurąją prasme“ prie „kibernetikos plačiąją prasme“, kurią dabar dažnai vadina tiesiog „informatika“.

Išryškėję ryšiai tarp informacijos teorijos, statistikos, kibernetikos ir termodinamikos ypatingai aktualūs sistemos tyros mokslui, ieškančiam bendrasisteminių dėsningumų bei sąlyčio taškų tarp įvairių mokslų.

Manau, jog skaitytojui natūraliai kyla klausimas, **sutampa ar nesutampa termodinaminės ir informacinės entropijų sąvokos**. Pasirodo, jog šios sąvokos, būdamos gana artimos, nes charakterizuoja procesus ir tendencijas, kurių „mechanizmai“ sisteminiu požiūriu yra analogiški, nėra absoliučiai tapačios: Bolcmano entropija nėra Šenono entropijos analogas, nes Bolcmano entropija nėra ribinis Šenono entropijos atvejis, kurį gautume, pereidami prie ribos $n \rightarrow \infty$ ir pakeisdami sumavimą integravimu, o tikimybes – integralinės pasiskirstymo funkcijos diferencialais. Tačiau (kaip teigiama [80]) galima įrodyti, jog Bolcmano entropija gali tapti Šenono krosentropijos analogu, atitinkamai transformavus entropijas aprašančias formules.

Atvirųjų sistemų teorijos pradžios pradmenis, kaip jau buvo rašyta „Įvade“, suformulavo austrų biologas L. fon Bertalanfis (Liudvig von Bertalanffy), bandydamas aprašyti gyvųjų organizmų sąveikavimą su jų aplinka, to sąveikavimo metu vykstančią medžiagų apykaitą, vadinamą **metabolizmu**, bei metabolizmo sudėtinės dalis: anabolizmą ir katabolizmą.

Katabolizmu vadinama tokia medžiagų apykaitos proceso sudėtinė dalis, kurios metu vyksta sudėtingų medžiagų, gaunamų iš organizmo aplinkos bei esančių organizmo viduje, **skaidymas į paprastesnes**, reikalingas organizme nuolat vykstantiems „statybos“ ir „remonto“ procesams, ir organizmui **reikalingos energijos išskyrimas** bei **nereikalingų organizmui medžiagų pašalinimas**.

Anabolizmu vadinama tokia sudėtinė metabolizmo dalis, kurios paskirtis – organizmui reikalingų **sudėtingų medžiagų sintezė** iš katabolizmo metu gautų paprastesnių, **organizmo auginimas bei atnaujinimas** gaunamų iš išorės medžiagų sąskaita, o taip pat energijos, išskiriamos katabolizmo metu, sąskaita.

Metabolizmo dėka organizmai gali ne tik pasipriešinti uždaroje sistemoje vykstančiam chaoso (ir jo mato – **entropijos**) didėjimui, bet ir kaupti savyje neigiamą entropiją (**negentropiją**), t. y. didinti reikalingą tvarką ir organizuotumą savo viduje, ne tik palaikyti savo gyvybę, bet net didinti savo išlikimo galimybes, augti ir plėsti savo populiaciją.*

Skirtingai nuo uždarų pirmojo tipo sistemų, **kuriose negentropija savaime nedidėja ir kurių pusiausvyra charakterizuojasi entropijos maksimumu ir laisvos energijos minimumu**, atviros sistemos gali užtikrinti sau stabilią būseną apykaitos su aplinka sąskaita. Panaudodamos gaunamas iš aplinkos medžiagas, energiją ir informaciją, **atviros sistemos gali palaikyti jų egzistavimui reikalingą dinaminę pusiausvyrą** ir, kaip ką tik buvo minėta, **gali augti ir tobulėti, didinti savo negentropiją**. Joms būdinga **autostabilizacija**, o aukštesnių sudėtingumo ir išsivystymo pakopų atviroms sistemoms – ir **saviorganizacija** bei **struktūros hierarchizacija**. L. Bertalanfi, kurdamas atvirųjų sistemų teoriją, teigė, jog ši teorija leis paaiškinti gyvųjų organizmų „fiziką“. Reikšmingą įnašą aiškinantis gyvųjų organizmų „fizikoje“ bei „chemijoje“, padarė 1.2. skyriuje minėtasis I. Prigožinas.

Atvirųjų sistemų teorija pradžioje buvo taikoma tik biologiniuose moksluose, nagrinėjant medžiagų apykaitos procesus gyvuose organizmuose. Tačiau gana greit paaiškėjo, jog tą teoriją galima taikyti taip pat ir energijos bei informacijos apykaitai. Tuomet atvirųjų sistemų teorija buvo pradėta taikyti psichologijoje, sociologijoje, antropologijoje, ekonomikoje ir organizacijų teorijoje.

Derėtų pažymėti, kad pirmojo tipo sistemų, idealiai tenkinančių uždaro sistemos apibrėžimą, realiame pasaulyje nėra, nes nėra sistemų, per kurių paviršių, skiriančių tas sistemas nuo jų aplinkos, netekėtų medžiagų, energijos bei informacijos srautai. Net atomas nėra visiškai uždara sistema. Yra tik tokios pirmojo tipo sistemos,

* Procesai, analogiški metabolizmo procesams, būdingiems gyviems organizmams ir atskiroms jų ląstelėms, vyksta ir kitose atvirose sistemose: visoje gyvojoje gamtoje ir atskirose ekosistemose, žmonių visuomenės gyvenime. Tai – bendrasisteminis reiškinys. Šio reiškinio bendrumo pastebėjimas ir atvedė L. fon Bertalanfi prie bendrosios sistemų teorijos idėjos.

kurias tik tuo ar kitu atžvilgiu galima būtų laikyti praktiškai uždaromis, kadangi jų medžiaginė, energetinė ir informacinė apykaita su aplinka yra tokia silpna ir neesminė, jog į ją galima neatsižvelgti. Pavyzdžiui, daugelį mechaninių sistemų, įtraukiant Žemės traukos jėgą į sistemoje veikiančių jėgų sąrašą, galima laikyti praktiškai uždaromis mechaninių jėgų atžvilgiu, lygiai taip pat, kaip natūrinį ūkį galima laikyti uždara sistema ekonominiu atžvilgiu, nors fiziniu atžvilgiu natūrinis ūkis yra atvira sistema.

Uždaroms pirmojo tipo sistemoms, kaip jau buvo minėta, galioja **pirmasis ir antrasis termodinamikos dėsniai: energijos tvermės dėsnis ir entropijos nemažėjimo (praktiškai, didėjimo) dėsnis. Todėl uždaroje pirmojo tipo sistemoje procesai vyksta ta linkme, kad sistema pereina iš mažiau tikėtinos į labiau tikėtiną būseną**, dėl ko esantys sistemoje energetiniai (pavyzdžiui, temperatūros, elektrinio potencialo ir pan.) skirtumai, laikui bėgant, gali išsilyginti ir esanti tose sistemoje energija gali nuvertėti, išsisklaidydama ir virsdama medžiagos dalelių chaotiško judėjimo šilumine energija, kurios sąskaita, išsilyginus temperatūroms, jau nebegalima nuveikti jokio darbo. Kitaip tariant, **energijai pereinant iš vienos formos į kitą, išliekant jos kiekiui, gali vykti jos vertės „degradacija“** (savotiška „infliacija“)*.

Atsižvelgdamas į tai, vienas pagrindinių termodinamikos ir kinetinės dujų teorijos kūrėjų, XIX a. vokiečių fizikas R. Klauzijus buvo iškėlęs mintį apie Visatos „šiluminę mirtį“, kuri neišvengiamai turėtų ištikti tokią uždara sistemą, kokia turėtų būti visa Visata: ilgainiui visa visų rūšių Visatos energija turėtų virsti chaotiško šiluminio molekulių judėjimo energija, kuriai tolygiai pasiskirsčius Visatos medžiagoje Visatos temperatūra visur taptų vienoda ir jau nebegalėtų vykti jokie makroskopiniai procesai. Šiluminė energija taptų bevertė, nes nebūtų temperatūrų skirtumo. Kitas tos teorijos kūrėjas, jau minėtasis L. Bolcmanas, kuriam pasirodė nepriimtina tokia pesimistinė Visatos baigtis, buvo sukūręs taip vadinamą fluktuacinę teoriją, pagal kurią Visata visą laiką egzistuoja „šiluminės mirties“ būsenoje, o visi Visatos viduje pastebimi nukrypimai nuo jos – tai tik vietinės fluktuacijos, kurios atsitiktinai atsiranda, laikui bėgant išnyksta ir vėl atsiranda.

Šiuolaikiniai kosmologiniai tyrimai parodė, jog „šiluminės mirties“ hipotezė yra klaidinga, nes joje nebuvo atsižvelgta į gravitacijos poveikį. Veikiant gravitacijos jėgoms, besiplečiančioje Visatoje labiausiai tikėtina būseną, kurią atitiktų entropijos maksimumas, nėra „šiluminės mirties“ būseną, ir didėjant entropijai, medžiaga ir energija gali ne tik sklaidytis, bet ir koncentruotis, dėl ko gali atsirasti naujos galaktikos, naujos žvaigždės ir planetos. Neatrodė, jog būtų teisinga ir L. Bolcmano versija: besiplečianti Visata yra labai nestacionarioje būsenoje.

Atvirų pirmojo tipo sistemų pavyzdžių galima rasti labai daug. Ir ne tik gyvojoje gamtoje, nagrinėjant organizmus bei jų funkcionavimą. Universitetai ir ligoninės – tai irgi atviros sistemos. Atviros sistemos gali susiformuoti ir negyvojoje gamtoje. Kai kurios cheminės reakcijos, kurių metu vyksta procesai, panašūs į

* L. Briljuenas savo knygoje [77] išskiria tris energijos rūšių kategorijas: A, B ir C. Kategorijai A jis priskiria mechaninę ir elektros energiją. Tai energijos rūšys, kurios gali pilnai virsti bet kuria kita energijos rūšimi. Žemiausią kategoriją – kategoriją C – L. Briljuenas priskiria šiluminei energijai, kuri pilnai virsti kita energija negali. Šiluminės mašinos naudingo veikimo koeficientas, kaip įrodė prancūzų fizikas ir inžinierius N. L. S. Karno (N. L. S. Carnot), negali būti didesnis už $1 - \frac{T_2}{T_1}$, kur T_1 – kaitintuvo, o T_2 – aušintuvo absoliuti temperatūra.

Tarpinę padėtį – kategoriją B – L. Briljuenas priskiria cheminei energijai, nes cheminių reakcijų metu kartu vyksta ir šiluminiai procesai. Pavyzdžiui, pakraunant akumuliatorių, ne visa elektros energija pavirsta į cheminių ryšių energiją: dalis elektros energijos virsta šiluma. Akumuliatoriui išsikraunant, ne visa cheminė energija virsta elektros energija, nes dalis jos virsta šilumine energija. Tokiu būdu vyksta **energijos kokybės nuvertėjimas, pasireiškiantis entropijos didėjimu**.

anksčiau aprašytus metabolizmo procesus, gali būti laikomos atviromis sistemomis su joms būdingomis savybėmis.

Viena tokių savybių – **ekvifinališkumas**, pasireiškiantis tuo, kad **stabilios pusiausvyros būseną, kurią atvira pirmojo tipo sistema, laikui bėgant, pasiekia, nepriklausomai nuo pradinių sąlygų, o tik nuo tos sistemos parametrų**. Vaizdžiai tariant, **nesvarbu, nuo ko pradėsi – pabaiga bus vienoda**.

Pavyzdžiui, kai, vykstant cheminei reakcijai, medžiagų i koncentracijos $z_i(t)$ tirpale, besikeisdamos reakcijos metu, tenkina iš **medžiagos tvermės dėsnio** išplaukiančią lygybę $\frac{dz_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}z_j + b_i$, kur $i=1, 2, \dots, n$; a_{ij} – pastovūs koeficientai, vaiz-

duojantys kiek medžiagos j reikia, kad reakcijos metu būtų gautas medžiagos i vienetų; b_i – pastovūs koeficientai, vaizduojantys medžiagų i pritekėjimo iš išorės tempus (kai kurie b_i gali būti ir neigiami, o kai kurie – ir lygūs 0), tai pusiausvyrinė koncentracija $z_i^* = \lim_{t \rightarrow \infty} z_i(t)$ (jei tik matricos (a_{ij}) determinantas $|a_{ij}| \neq 0$) nepriklausomai nuo pradinių koncentracijų $z_i(0)$, o tik nuo konstantų a_{ij} ir b_i .

Tuo nesunku įsitikinti, išsprendus diferencialinių lygčių $\frac{dz_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^n a_{ij}z_j + b_i$, $i=1, 2, \dots, n$ sistemą ir gavus, kad $z_i^* = \frac{B_i}{A}$, kur A yra tos sistemos

$$\text{koeficientų } a_{ij} \text{ matricos determinantas } \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}, \text{ o } B_i - \text{ kintamojo } z_i$$

$$\text{determinantas } \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1i-1} & -b_1 & a_{1i+1} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2i-1} & -b_2 & a_{2i+1} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ii-1} & -b_i & a_{ii+1} & \dots & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{ni-1} & -b_n & a_{ni+1} & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}.$$

Jei ši sistema taptų uždara, tai visi b_i taptų lygūs 0 ir determinantas B_i taip pat taptų lygus 0. Nenulinę sistemos sprendinį galėtume gauti tik tuo atveju, kai determinantas A būtų lygus 0. Tuomet lygčių sistema turėtų daug skirtingų sprendinių, atitinkančių skirtingas pradines sąlygas, ir jau nebebūtų ekvifinalinė. Kitas neekvifinalinių sistemų pavyzdys – 1.4.9. skyrelyje nagrinėtos klasikinės dinaminės sistemos (KDS): jų fazinių trajektorijų portretai sudaro nesikertančių kreivių šeimas. Tokių sistemų raidą pilnai (t. y. vienareikšmiškai) apsprendžia jų pradinės būsenos. Pakeitus pradines būsenas KDS fazinės trajektorijos ir jų portretai gali pasikeisti.

Pirmojo tipo sistemų uždaro ir atviro sąvokoms yra analogiškos antrojo tipo sistemų pilnumo ir nepilnumo sąvokos.

Pilnaja sistema vadinama sistema, kuri savo sudėtyje turi visus galimus savo elementus ir todėl jau nebegali būti papildyta naujais elementais, nes arba tokių elementų nėra ir būti negali, arba kokių nors naujų elementų prijungimas (įvedimas) pakeistų tą sistemą į kitą sistemą, ar net sugriautų ją.

Pavyzdžiui, sudarę iš kokios nors baigtinės aibės elementų sistemą taip, kad į tą sistemą įeitų kiekvienas tos aibės elementas, užimdamas toje sistemoje tik vieną ir tik jam vienam sistemos struktūroje priskirtą vietą, gautume pilnąją sistemą.

Pateiksiu keletą konkrečių pilnosios sistemos pavyzdžių.

1. Dešimtainių vienaženklų skaičių daugybos pilnoji lentelė, vaizduojanti kiekvieno vienaženkliaus skaičiaus daugybą iš kiekvieno vienaženkliaus skaičiaus ir tos daugybos rezultatus.

2. Kokio nors eksperimento visų galimų baigčių rezultatų rinkinys kartu su nurodytomis gautų rezultatų tikimybėmis, kai tų tikimybių suma lygi vienetui.

3. Teiginių skaičiavimo nepriklausomų aksiomų sistemos aprašytos [53,81] ir nagrinėjamos šios mokymo priemonės 1.16.1.5.2. skyrelyje. Tos aksiomų sistemos yra pilnos ir semantiškai, ir formaliai.

Tos aksiomų sistemos yra **semantiškai** (arba, kitaip tariant, **substancionaliai**) pilnos todėl, kad iš tų aksiomų, taikant baigtinį skaičių griežtai vienareikšmiškai suformuluotų (formaliai išreikštų) **išvedimo taisyklių**, galima išvesti bet kurią (t. y. kiekvieną) teisingą teiginių skaičiavimo formulę.

Tos aksiomų sistemos yra **formaliai pilnos** todėl, kad tų sistemų neįmanoma papildyti kokia nors iš tų aksiomų neišvedama taisyklingai sudaryta teiginių skaičiavimo formule, nepaverčiant gaunamos išplėtos aksiomų sistemos į logiškai prieštarinę sistemą, iš kurios taptų išvedama bet kuri taisyklinga teiginių skaičiavimo formulė, tame tarpe – ir neteisinga formulė.

Semantinio ir formalaus pilnumo sąvokos nėra tapačios: pavyzdžiui, pirmos eilės predikatų skaičiavimo sistemos, nagrinėjamos knygelėse [54, 55, 56, 65] ir šios mokymo priemonės 1.16.1.5.4. skyrelyje, yra semantiškai pilnos, tačiau nėra pilnos formaliai, nes gali būti papildytos predikatinėmis formulėmis, teisingomis siauresnėms objektinių kintamųjų galimų reikšmių aibėms. Tokie papildymai neišvedamomis formulėmis nepaverčia predikatų skaičiavimo formaliai prieštarinę sistema.

Nepilnąja sistema vadinama tokia sistema, kurią galima papildyti naujais elementais, skiriant jiems atitinkamas vietas sistemos struktūroje.

Nepilnųjų sistemų aibėje galima išskirti laikinai nepilnas sistemas ir absoliučiai nepilnas sistemas.

Laikiniai nepilnomis sistemomis vadinsime tokias sistemas, kurios galėtų tapti pilnomis, bet nagrinėjamu momentu dar nėra pilnos, nes dar ne visi galimi tos sistemos elementai yra surasti ar sukurti ir „įstatyti“ į sistemos struktūroje esančias ar galinčias būti atitinkamas vietas, tačiau mes žinome (galime įrodyti), jog tų dar nesurastų bei neištirtų (neaprašytų) sistemos elementų skaičius yra baigtinis ir mes juos kada nors visus surasime ir ištirsime.

Absoliučiai nepilna sistema vadiname tokią sistemą, kuri, kiek ją bepildytum, niekada negalės tapti pilna, nes jos galimų elementų skaičius yra begalinis.

Konkretus laikinai nepilnos sistemos pavyzdys – kokio nors neseniai mirusio žymaus rašytojo ar mokslininko jubiliejaus proga ruošiamas (tačiau dar nepilnai paruoštas, nes dar ne visi jo veikalai bei straipsniai surinkti) jo raštų sistematizuotas pilnasis rinkinys.

Kitas laikinai nepilnos sistemos, galinčios tapti pilna, tačiau greičiausiai taip ir liksiančia laikinai nepilna sistema, pavyzdys – kokio nors dailininko darbų kolekcija, kai dalis to dailininko darbų pateko į kitas kolekcijas, kurių tvarkytojai (kiti kolekcininkai, muziejų vadovybės ir pan.) nesiruošia tų darbų perleisti ar perduoti.

Absoliučiai nepilnos sistemos pavyzdžiu gali būti biblioteka, nes ją visada galima papildyti naujomis knygomis bei kitais informaciniais leidiniais, kurių srautas egzistuos tol, kol egzistuos žmonija.

Austrų logikas ir matematikas Kurtas Gėdelis (Kurt Gödel) 1931 m. įrodė, jog bet kuri pakankamai sudėtinga formali matematinė ar loginė sistema yra formaliai nepilna ir visada tokia išliks, nes visada gali būti papildoma naujais toje formalioje sistemoje neišvedamomis, bet ir nepaneigiamomis formulėmis, kurios gali būti laikomos naujomis (papildomomis) aksiomomis. Kitaip tariant, tokių sistemų aksiomų sistema negali būti baigtinė. Ši Gėdelio teorema formaliai patvirtina **pasaulio neišsemiamumo principą**. Ji taip pat patvirtina teiginį, jog **baigtinė formali loginė sistema niekada negalės aprėpti viso mąstymo**.

Sistemos pilnumo ir nepilnumo sąvoką galima taikyti ne tik antrojo, bet ir pirmojo tipo sistemoms, nes sudėtingos pirmojo tipo sistemos turi savybę, vadinamą **gyvybingumu** ir gali funkcionuoti net nebūdamos pilnai sukomplektuotos bei sugedus kai kurioms jų sudėtinėms dalims. Nuo tokio sistemos nepilnumo gali sumažėti

sistemos funkcionavimo efektyvumas, tačiau pati sistema kaip tokia gali funkcionuoti ir veikti, atlikdama pagrindines savo funkcijas.

Pavyzdžiui, lėktuvas, kai skrydžio metu sugenda kai kurios jo dalys, kartais dar sugeba tęsti savo skrydį ir nugabenti keleivius bei krovinį į kitą oro uostą, į kurį jis privalėjo nuskristi.

Dar ryškiau gyvybingumo savybė pasireiškia organizacijose bei gyvuose organizmuose: organizacijos tęsia savo darbą, kai kuriems jų darbuotojams susirgus ir neatvykus į darbą, o kai kurie gyvūnai netekę kai kurių savo kūno dalių, ne tik išgyvena, bet ir sugeba jas atsiauginti. Apie regeneravimo bei autoregeneravimo savybes mes šiame skyriuje dar kalbėsime.

Sistemos pilnumo ir nepilnumo sąvokos, nors ir yra tam tikra prasme analogiškos sistemų uždaro ir atviro sąvokoms, tačiau vis dėlto esminiai skiriasi: sistemų uždaro ir atviro charakterizuoja sistemos santykiai su aplinka, t. y. su sistemos išore, o **sistemų pilnumas ir nepilnumas yra vidinė sistemų charakteristika**. Panašumas gi pasireiškia tuo, kad ir pilna sistema, ir uždara sistema turi viską, ko reikia jų funkcionavimui, o atvira sistema (kaip ir nepilna sistema) gali ir privalo gauti iš išorės tai, ko toms sistemoms trūksta.

1.6.4.2. Natūraliosios ir dirbtinės sistemos. Kompleksinės sistemos

Kitą sistemų klasifikavimo būdą gautume, klasifikuodami sistemas pagal **žmogaus vaidmenį sistemos genezėje**.

Pagal šį požymį sistemos gali būti suskirstytos į natūrines (natūralias), dirbtines ir kompleksines, t. y. mišrias šio požymio atžvilgiu.

Natūraliųjų sistemų pavyzdžiai – planetų ir žvaigždžių sistemos, pačios planetos ir žvaigždės, įvairūs organizmai, jų populiacijos bei kitos biologinės sistemos ir pan.

Dirbtinių sistemų pavyzdžiai – įvairios techninės sistemos, dirbtinės kalbos ir t. t.

Natūraliosios pirmojo tipo sistemos atsirado natūralių procesų eigoje kaip **savikonstravimosi rezultatas, kuomet, besijungiant objektams, emerđencijos dėka atsirasdavo junginys, turintis savo struktūros dinaminio stabilumo savybę**.

Dirbtinės pirmojo tipo sistemos buvo specialiai sukonstruotos žmonių, jungiant tų sistemų dalis į tokias struktūras, kad tas junginys įgytų žmonėms reikalingų savybių.

Daugelis antrojo tipo sistemų taip pat priklauso dirbtinių sistemų klasei. Net ir natūraliai egzistuojančios mums žinomos antrojo tipo sistemos, nors ir nebuvo žmonių sukurtos, tačiau buvo jų pastebėtos (atrastos), kaip, pavyzdžiui, cheminių elementų periodinė sistema, pavadinta rusų chemiko Mendelejevo vardu, ar švedų biologo Karlo Linėjaus pasiūlyta augalų bei gyvūnų klasifikavimo sistema ir pan.

Grynai dirbtinių antrojo tipo sistemų pavyzdžiu gali būti 1.10.8. skyrelyje nagrinėjamos matavimo vienetų sistemos.

Ne visada įmanoma praveisti griežtą skiriamąją liniją tarp natūraliųjų ir dirbtinių sistemų, nes yra sistemų, kurios dalinai priklauso natūraliųjų, dalinai – dirbtinių sistemų klasėms. Tai – **kompleksinės sistemos**. Šiai klasei priskiriamos socialinės, ekologinės ir ekonominės sistemos, o taip pat eilė sudėtingų sistemų, priklausančių „simbiozinių“ (arba **ergatinių**), taip vadinamų „**žmogus–mašina**“, **sistemų tipui**. Kompleksinių sistemų susidaryme dalyvauja ir žmogaus valdomi procesai bei jo sukurtos sistemos, ir žmogaus nevaldomi objektyvūs procesai, vykstantys pagal objektyvius gamtos bei visuomenės vystymosi dėsnius. Prie kompleksinių sistemų priskirtinos ir natūralios kalbos, taip pat kai kurios žmogaus išvestos gyvūnų veislės.

Visos – ir natūralios, ir dirbtinės, ir kompleksinės – sistemos yra pavaldžios **objektyviems dėsniams**, tačiau dirbtinėse ir kompleksinėse sistemose gali veikti ir

papildomos žmogaus sugalvotos ir nustatytos sistemų **funkcionavimo taisyklės**, žmonių priimti **įstatymai**. Žinoma, tos taisyklės bei įstatymai neturi prieštarauti objektyviems dėsniams, jei norima, kad dirbtinė sistema galėtų pakankamai ilgą laiką egzistuoti realiaame pasaulyje efektyviai funkcionuodama, tačiau tas taisyklės bei įstatymus kartais kai kam pavyksta ir „apeiti“, pasielgiant priešingai toms taisyklėms bei įstatymams, ko neįmanoma padaryti objektyvių dėsnių atžvilgiu. Todėl, kuriant minėtąsias taisykles ir įstatymus, **būtina maksimaliai įtraukti į tą kūrybą visus tuos žmones, kurie turės tomis taisyklėmis ir tais įstatymais vadovautis**. Tik tuomet, kai jie laikys save tų taisyklių ir tų įstatymų bendraautoriais, atsakingais už jų kokybę ir vykdymą, bei **supras, jog tos taisyklės ir įstatymai yra naudingi ir reikalingi jiems patiems**, tik tuomet tos taisyklės ir tie įstatymai **pradės egzistuoti ne tik popieriuje, bet ir gyvenime**, panašiai kaip ir gamtos dėsnių. Šios akivaizdžios tiesos, deja, nesupranta ar nenori suprasti net tos valdžios, kurios vadina save demokratinėmis. O juk visuomenę reikia ne tiek valdyti, kiek ugdyti. Tik tokiu būdu gali atsirasti ir tobulėti pakankamai racionalios socialinės sistemos. Jos turi būti sąmoningai kuriamos saviugdos būdu, bendru sutarimu keliant sau strateginius raidos tikslus ir bendromis jėgomis kuriant strateginius jų pasiekimo planus ir juos realizuojant.

Norėčiau priminti skaitytojui šios mokymo priemonės „Pratarmėje“ paminėta paradoksą: **žmonija, sugebanti kurti sudėtingas technines sistemas, suteikiančias žmonėms tokias galimybes, kurios neseniai net svajonėse atrodė fantastinėmis, iki šiol dar neišmoko kurti pakankamai tobulų organizacinių sistemų, sugebančių teisingai ir efektyviai spręsti neatidėliotinai spręstinas skaudžias socialines problemas, vis dar nusikalstamai neatsakingai elgtis su savo fizine ir informacine aplinka, nusikalstamai ir neatsakingai švaisto ir naikina gamtos mums dovanotas ir pačių sukurtas gėrybes bei pačius save ne tik nesiliaujančiuose karuose, bet ir daugybėje kitų neišmintingai tvarkomų žmogaus veiklos sričių**. Negali būti atmesta ir tokia niūri „perspektyva“, jog neišmintinga žmogaus veikla gali sunaikinti jį patį žymiai anksčiau negu baigsis Saulėje esantys energijos ištekliai.

Esu įsitikinęs, jog, **kuriant bei tobulinant organizacines sistemas ir sprendžiant globalines žmonių visuomenės raidos reguliavimo problemas, sisteminis požiūris, sisteminis mąstymas ir sisteminis prognozavimas bei sisteminis strateginis planavimas reikalingi ir gali būti naudingi net labiau nei bet kur kitur**.

Organizacinės sistemos yra ypatingos sistemos ne tik tuo, kad jos yra mišrios (kompleksinės) sistemos ir todėl jų kūrimo raidos ir tobulinimo procesai turi ir dirbtinius techninių sistemų kūrimo bei tobulinimo procesų, ir natūralių organizacinių sistemų evoliucinės raidos bruožų, bet ir tuo, kad jos yra **aktyvios sistemos**, keliančios sau savo raidos tikslus, ir **jų pagrindiniai elementai taip pat yra aktyvios sistemos**, taip pat keliančios sau savo raidos tikslus, **nebūtinai sutampančias su organizacijų tikslais, ir aktyviai jų siekiančios**, sugebančios **saviorganizuotis ir kurti naujas organizacijas**.

Organizacinės sistemos ir jų aktyvieji elementai turi daug tokiu specifinių labai svarbių savybių, kurių neturi nei techninės sistemos, nei jų elementai, nei organizacinių sistemų pasyvieji elementai.

Todėl organizacinių sistemų kūrimo ir tobulinimo procesai, organizacijų valdymas ir to valdymo automatizavimas turi daug svarbių specifinių savybių, apie ką bus kalbama šio skyriaus 1.6.4.6., 1.6.4.7. ir 1.6.4.8. skyreliuose. Apie tai bus kalbama, tik jau žymiai profesionaliau bei detaliau ir praktiškiau, ir antrojoje šios mokymo priemonės dalyje.

1.6.3.3. Konkrečios ir abstrakčios sistemos. Formalios sistemos

Pagal egzistencijos būdą sistemas galima skirstyti į konkrečias ir abstrakčias.

Konkrečios sistemos pavyzdžiu gali būti bet kokia realiai **egzistuojanti realiame pasaulyje individuali sistema**, o **abstrakčios** sistemos pavyzdžiu – tos konkrečios sistemos **konceptinis modelis, egzistuojantis mūsų sąmonėje**. Realiame pasaulyje mes sąveikaujame su konkrečiomis sistemomis, tačiau savo veiksmuose mes vadovaujamės abstrakčiais jų modeliais, susikurtais savo sąmonėje tų konkrečių sistemų pažinimo pagrindu.

Tokių abstrakčių modelių aprašymui, norint suteikti jiems išorinę išraišką, prieinamą ir suprantamą kitiems žmonėms, vartojama **kalba**. Kuriamos ir specialios kalbos, turinčios padidintą apibrėžtumą bei vienareikšmiškumą. Jos vadinamos **formaliomis kalbomis**. Formalios kalbės pavyzdžiu gali būti **teiginių skaičiavimo kalba**, aprašyta šių eilučių autoriaus knygelėje [53], o taip pat 1.5. skyriuje aprašytoji **ternarinė TSF kalba**. **Algoritminės kalbos** taip pat priklauso formalųjų kalbų grupei.

Formaliomis kalbomis išreikšti sistemų abstraktūs modeliai vadinami **formaliais modeliais**, o tokių modelių sudarymas – **formalizavimu** (formalizacija). Formalizavimo vieta sisteminiame modeliavime pavaizduota 1 pav., o apie formalizavimo uždavinius ir reikšmę buvo kalbama „Ivade“ bei 1.4. ir 1.5. skyriuose. **Matematiniai modeliai**, kuriuos nagrinėjome 1.4. skyriuje – formalųjų modelių pavyzdžiai.

Abstrakčios sistemos, sudarytos iš abstrakčių elementų, vadovaujantis formaliomis taisyklėmis, vadinamos **formaliomis sistemomis**. Kitaip tariant, **formalios sistemos – tai sistemos, išreikštos formaliomis kalbomis, t. y. formaliais žymėjimais, sujungtais prisilaikant formalijų formalios kalbos sintaksės taisyklių**.

Su formaliomis sistemomis (panašiai kaip ir su konkrečiomis sistemomis) galima vykdyti įvairias operacijas, tačiau operacijos, vykdomos su formaliomis sistemomis, dažnai yra bendresnės už operacijas, vykdomas su konkrečiomis sistemomis, nes **formali sistema gali būti (ir dažniausiai būna) ne vienos konkrečios sistemos, o ištisos jų klasės formalus modelis ir todėl operacijos su formaliomis sistemomis yra konkrečių operacijų su konkrečiomis sistemomis bendrieji modeliai**.

Formali kalba su savo ženklais ir jų jungimo sintaksės taisyklėmis, **formalios sistemos**, sudarytos, naudojantis formalia kalba, **formalios operacijos** su formaliomis sistemomis ir formalios tų operacijų vykdymo taisyklės **sudaro tai, ką vadina formalia teorija**. Formalios teorijos pavyzdžiais gali būti 1.16.1.5. skyrelyje nagrinėjami **teiginių bei predikatų skaičiavimai**, kuriuose formalios tų skaičiavimų kalbos rėmuose, naudojantis formaliomis išvedimo taisyklėmis, iš tų skaičiavimų aksiomų, sudarančių baigtinį sąrašą, išvedamos to skaičiavimo teoremos – nauji teiginiai bei predikatai. Teiginių bei predikatų skaičiavimai tuo pačiu yra ir formalųjų sistemų pavyzdžiai. Šie skaičiavimai gali būti pavadinti sistemomis todėl, kad juos sudarant atsiranda nauja savybė – galimybė iš teiginių bei predikatų, įeinančių į sistemos sudėtį ir vadinamų jos aksiomomis, gauti naujus teiginius bei predikatus – sistemos teoremas.

Formalios sistemos, kad jų sudarymas ir panaudojimas turėtų prasmę, turi tenkinti **neprieštaringumo** reikalavimą. Gana dažnai siekiama, kad formalios sistemos tenkintų ir **pilnumo** reikalavimą, tačiau tai padaryti ne visada pavyksta. Pavyzdžiui, kaip jau buvo minėta 1.6.4.1. skyrelyje, teiginių skaičiavimas yra formaliai ir substancionaliai pilna sistema, o predikatų skaičiavimas, būdamas pilnas substancionaliai (iš jo aksiomų galima išvesti visas tapačiai teisingas predikatų

skaičiavimo teoremas), yra formaliai jau nepilna sistema, nes predikatų skaičiavimo aksiomų sąrašą galima papildyti iš tų aksiomų neišvedamu predikatu, nepaverčiant tokios išplėtos formalios sistemos formaliai prieštaringa sistema.

Kartais iš formalių sistemų reikalaujama jų aksiomų **nepriklausomumo**, tačiau tai nėra būtinas reikalavimas.

Egzistuoja **du formalių sistemų bei formalių teorijų sudarymo būdai**, kuriuos vadinsime **keliais**.

Pirmajam keliui būdingi tokie etapai:

1) žmonės, tirdami realų pasaulį ir apibendrindami pastebėtus faktus, atranda egzistuojančius tame pasaulyje dėsningumus ir formuluoja dėsnius (**indukcijos etapas**);

2) naudodamiesi susikurta formalia kalba, žmonės kuria realaus pasaulio sistemų formalius modelius, išreikšdami ta kalba anksčiau atrastus dėsnius ir tokiu būdu paversdami juos kuriamos formalios sistemos aksiomomis (**formalizavimo etapas**);

3) naudodamiesi formalios sistemos aksiomomis ir teoremų išvedimo loginėmis taisyklėmis, žmonės išveda iš aksiomų išplaukiančias teoremas ir tokiu būdu sukuria formalią teoriją (**dedukcijos etapas**);

4) formaliąją teoriją (jos teoremas) bando pritaikyti žmonijai iškylančių mokslinių ir praktinių problemų sprendimui (**taikymo etapas**);

Antrajam keliui būdinga, jog jau pirmajame etape bandoma suformuluoti formalių aksiomų sistemą, kurios neprieštarautų viena kitai, t. y. bandoma sukurti neprieštaringą formalią sistemą, nesidomint tuo, ar ta sistema yra kokios nors realios sistemos formalus modelis ar ne.

Antrasis to kelio etapas sutampa su trečiuoju pirmojo kelio etapu, trečiasis – su ketvirtuoju, o ketvirtasis su penktuoju.

Pirmojo kelio pavyzdys – Euklido geometrijos atsiradimas. Antrojo kelio pavyzdys – Lobačevskio geometrijos atsiradimas. Einant antruoju keliu gali būti sukurti ne tik realaus, bet ir virtualaus pasaulio formalūs modeliai.

1.6.4.4. Realios ir virtualios sistemos

Iš to išplaukia, jog sistemas galima skirstyti į **realias** ir **virtualias**, t. y. į sistemas, kurios realiai egzistuoja ar egzistavo realiame pasaulyje, ir į sistemas, kurios galėtų egzistuoti, tačiau kurių realaus egzistavimo niekas niekur iki šiol neužfiksavo. Realijų sistemų pavyzdžių ilgai ieškoti nereikia – jos supa mus ir egzistuoja net pačiuose mumyse. Virtualias sistemas labai mėgsta mokslinės fantastikos autoriai, jos neretai vaizduojamos ir naudojamos kompiuteriniuose žaidimuose, gali būti modeliuojamos matematiniuose modeliuose, nagrinėjant galimas situacijas bei įvairių sprendinių priėmimo jose pasekmes. Juk susiklosčius tam tikroms aplinkybėms, virtuali situacija ir sistema gali tapti realia situacija ir realia sistema, ir sprendiniai priimti, nagrinėjant virtualias sistemas bei jose iškylančias virtualias problemas, gali tapti naudingais, sprendžiant realias problemas. Virtualių sistemų ir jų funkcionavimo **kompiuterinis imitavimas, eksperimentai su realiais ir virtualiais analiziniais ir imitaciniais modeliais**, jų panaudojimas **kompleksiniuose dalykiniuose žaidimuose** gali žymiai pagyventi mokymosi procesą, padidinti jo efektyvumą ir intensyvumą, tiesiog stebėtinai **paspartinėti sudėtingai veiklai reikalingos patirties kaupimą**, pasiekiant per keletą mėnesių tai, kam seniau prirėkdavo metų ir dešimtmečių.

1.6.4.5. Medžiaginės (rochrematinės), energetinės, informacinės (kibernetinės) ir mišriosios (kompleksinės) sistemos

Dar vienas (ypatingai taikytinas dirbtinėms sistemoms) sistemų klasifikavimo požymis – **substratas, kurio perdirbimui, apdorojimui bei gamybai skirta nagrinėjamoji sistema**. Pagal šį požymį sistemos skirstomos į medžiagines (rochrematines), energetines ir informacines (kibernetines).

Medžiaginėmis sistemomis vadinamos sistemos, kurių pagrindinė paskirtis – medžiagų apdorojimas bei kokių nors naujų medžiagų bei daiktų gamyba iš turimų žaliavų, pusfabrikačių bei paprastesnių gaminių, įeinančių į gaminamo sudėtingesnio gaminio sudėtį ir vadinamų komplektuojamomis jo dalimis. Medžiaginių sistemų pavyzdžiai – mašinų, baldų, tekstilės ir kitokios produkcijos gamybos, statybinės, žemės ūkio ir t. t. įmonės. Medžiaginės sistemos kartais vadinamos **rochrematinėmis**, o medžiaginių srautų sudarymą, funkcionavimą ir valdymą nagrinėjanti mokslą – **rochrematika** (nuo graikiškų žodžių „rhoë“ – „srautas“, „chrēmata“ – „materialinės gėrybės“).

Energetinėmis sistemomis vadinamos sistemos, kurių pagrindinė paskirtis – elektros, šiluminės, mechaninės ir t. t. energijos „gavyba“ iš įvairių energijos šaltinių, jos transformavimas bei perdavimas į tos energijos panaudojimo (tolimesnio transformavimo) vietas. Energetinių sistemų pavyzdžiai – įvairios jėgainės, atominės, šiluminės, hidraulinės ir kitokio tipo elektrinės, šildymo bei apšvietimo sistemos ir pan.

Informacinėmis sistemomis vadinamos sistemos, kurių pagrindinė paskirtis – informacijos rinkimas, kaupimas, apdorojimas, perdavimas bei pateikimas vartotojams. Apie tai, kas yra **informacija**, jau buvo kalbėta 1.1. skyriuje, o apie **informacijos kiekį** – 1.6.4.1. skyrelyje, todėl čia nebesikartosiu. Informacinių sistemų pavyzdžiai – kompiuteriai, jų tinklai, skaičiavimo centrai, telekomunikacijų sistemos, įvairios informacinės tarnybos, tokios kaip valstybinė statistinė sistema, įvairios žvalgybinės sistemos ir t. t. Kartais informacinės sistemos vadinamos dar ir **kibernetinėmis**, interpretuojant **kibernetiką plačiąja prasme** kaip mokslą apie informacinius procesus technikoje, gamtoje ir visuomenėje, o ne tik kaip mokslą apie bendruosius valdymo sistemų sandaros ir funkcionavimo principus, ką vadina „**kibernetika siaurąja prasme**“.

Suprantama, kad bet kurioje iš sistemų, priskirtų vienai iš šių klasių, gali vykti ir rochrematiniai, ir energetiniai, ir informaciniai procesai, tačiau kai kurie iš tų procesų nagrinėjamoje sistemoje yra pagrindiniai, kurių vykdymui ir sukurta nagrinėjamoji sistema. Pagal tų pagrindinių procesų tipą nagrinėjamoji sistema ir priskiriama vienai iš trijų čia išvardintų klasių.

Pavyzdžiui, plieno liejykla, nors ir suvartoja gana daug energijos, o liejimo proceso valdymui panaudoja nemažai įvairios informacijos, vis dėlto priskiriama prie rochrematinių sistemų, nes energetiniai ir informaciniai procesai, vykstantys liejykloje, nėra pagrindiniai, o tik aptarnauja pagrindinį – rochrematinį – plieno gamybos – procesą. Analogiškai, šiluminė elektrinė, nors joje sudeginama daug kuro, priskiriama prie energetinių, o skaičiavimo centras, nors jis suvartoja nemažai energijos bei įvairių medžiagų, – prie informacinių sistemų.

Žymiai sunkiau, o neretai – net neįmanoma, suskirstyti į šias tris klases sistemas, priklausančias natūraliųjų sistemų klasei, nes tokių sistemų paskirtis (nei jų pačių, nei žmogaus atžvilgiu) ne visada yra aiški. Pavyzdžiui, vargu ar galima atsakyti į klausimą, kuriai iš trijų čia išvardintų klasių būtų galima priskirti patį žmogų.

Todėl gali kilti klausimas, ar iš viso tikslingas toks sistemų skirstymas į rochrematinių, energetinių ir informacinių sistemų klases. Į šį klausimą galima atsakyti teigiamai todėl, kad sistemos, priklausančios bet kuriai vienai iš šių klasių, turi gana daug bendrų bruožų, būdingų tik tos klasės sistemoms. Tų bendrų bruožų žinojimas palengvina tokių sistemų projektavimą, eksploatavimą ir valdymą. O ir **mišriųjų sistemų** nagrinėjime neretai būna naudinga išskirti ir nagrinėti jų rochrematinį, energetinį ir informacinį posistemius.

Sistemotyra gi ypatingai domina klausimas, ar tarp dėsningumų, būdingų kiekvienai iš tų klasių, nėra tokių, kurie būtų būdingi visoms tomis klasėms, nepriklausomai nuo substrato, kurio apdorojimui bei gamybai skirta sistema.

Pasirodo, kad toks **bendrumas egzistuoja ir ypatingai pasireiškia tų sistemų valdyje ir projektavime**, nors pats sistemų, priklausančių skirtingoms klasėms, funkcionavimas žymiai skiriasi. Bendrasisteminių dėsningumų, išreiškiamų tokiais bendrasisteminiiais principais kaip objektinės ir funkcinės projektavimo metodologijų sintezės, izomorfizmo, sistemos elementų funkcijų aktualizavimo, emerđžencijos ir eile kitų bendrasisteminių principų (žiūr. [5] ir [16]), kurie bus nagrinėjami antroje šios mokymo priemonės dalyje, egzistavimas, rodo, kad **egzistuoja objektyvus pagrindas tokiam mokslui kaip sistemotyra, o taip pat tai, kad toks mokslas gali būti naudingas sistemų projektavimo bei tobulinimo praktikoje. Inžinerinę praktiką ir kultūrą, kurios susiformavo projektuojant technines rochrematines ir energetines bei informacines sistemas, tikslinga perkelti į organizacinių informacinių sistemų ir pačių organizacijų projektavimą bei tobulinimą.** Tai leis žymiai padidinti organizacijų kūrimo, funkcionavimo ir valdymo racionalumą ir efektyvumą. Juk tiesiog stebėtina, kad žmonės, sugebėję sukurti šiuolaikines sudėtingas ir tobulas technines sistemas, kurių galimybės mūsų proseneliams atrodytų fantastinėmis, tiek nedaug pažengę, sprendami organizacines ir socialines problemas bei tvarkydami visuomenės gyvenimą, nesugeba sustabdyti riedėjimo į ekologines katastrofas proceso. **Kas jiems trukdo panaudoti tą kūrybingumą ir išradingumą, kurie taip ryškiai pasireiškė technikos srityje? Išminties ir geros valios stoka ar egzistuojančios santvarkos, orientuojančios žmogų į individualizmą, egoizmą ir hedonizmą?** Šis klausimas svarbus ne tik filosofijai, sociologijai, politologijai ir psichologijai, bet ir sistemotyrai.

1.6.4.6. Techninės, organizminės ir organizacinės sistemos. Kompleksai

Sistemas galima skirstyti ne tik į rochrematines, energetines ir informacines, bet ir į technines, organizmines (biologines) ir organizacines.

Techninėmis sistemomis vadinamos sistemos, sudarytos iš **pasyviųjų** elementų, t. y. iš elementų, neturinčių nuosavų tikslų, ir pačios jų neturinčios.

Organizminėmis sistemomis vadinami **gyvi organizmai**, jų **populiacijos**, o taip pat tokios sudėtingos **biosistemos** kaip biogeocenožė ir pan.

Organizacinėmis sistemomis vadinamos sistemos, kurios yra **aktyvios**, t. y. sugeba kelti ir kelia sau savo egzistavimo ir raidos tikslus ir kurių pagrindiniai elementai taip pat yra **aktyvūs**, t. y. turi nuosavus tikslus, kurie gali sutapti ar nesutapti su pačių **organizacijų tikslais**.

Pavyzdžiui, lėktuvas ir kompiuteris yra techninės sistemos, ameba ir žmogus – organizminės sistemos, o aviakompanija ir skaičiavimo centras – organizacinės sistemos.

Kiekvienai šių klasių būdingos specifinės savybės, kiekvienoje iš šių klasių egzistuoja specifiniai dėsningumai.

Pavyzdžiui, techninėse sistemose dažniausiai nėra sunku nustatyti, kur čia priežastis, o kur – jos pasekmė. Organizminėse sistemose tokių atvejų, kada tai padaryti sunku ar net beveik neįmanoma, jau žymiai daugiau, todėl medikai apsirinka žymiai dažniau nei fizikai. Organizacinėse sistemose, priskiriamose socialinių sistemų grupei, daugumoje atvejų neįmanoma atskirti priežastį nuo pasekmės. Tiesioginiai ir grįžtamieji ryšiai tokiose sistemose dažnai taip susipynę ir veikia taip sudėtingai, kad sunku nustatyti, kur čia tiesioginis poveikis, o kur – grįžtamoji reakcija į jį. Žymaus JAV matematiko T.Saati (Thomas L. Saaty) žodžiais (žiūr. [46]), tokiose sistemose į dabartį veikia ne tik praeitis, bet ir ateitis, nes aktyvieji tokių sistemų elementai, keldami sau ateities tikslus ir tų tikslų motyvuojami, taip organizuoja savo veiklą, kad dažnai tampa nebeaišku, kokie tų elementų veiksmai sąlygojami „praeitimi“, kokie – „ateitimi“. Todėl taip sunku prognozuoti socialinių sistemų evoliuciją ir suprasti aktyviųjų elementų poelgių motyvus. Nenuostabu todėl, kad ekonomistai, sociologai ir politologai apsirinka dar dažniau negu medikai.

Tačiau vis dėlto **egzistuoja ir bendri visoms trimis sistemų klasėms kibernetiniai ir bendrasisteminiai dėsningumai**, o taip pat galima pastebėti, kaip (einant nuo techninių sistemų per organizmines sistemas prie organizacinių) dėsningai modifikuojasi dėsningumai, pastebėti pirmojoje klasėje, kaip prisideda antrosios klasės specifiniai dėsningumai, kaip ir šie dėsningumai modifikuojasi, pereinant į trečiąją klasę, ir kaip prie jų prisideda organizacinių sistemų specifiniai dėsningumai. Pereinant iš techninių sistemų klasės į organizminių sistemų klasę ir iš jos – į organizacinių sistemų klasę auga sistemų sudėtingumas, jų išsivystymo lygis, atsiranda naujos sisteminės, didėja sistemų ir jų elementų lankstumas adaptyvumas, aktyvumas ir savarankiškumas.

Ši su kiekvienu perėjimu iš žemesnio sudėtingumo klasės į aukštesnio sudėtingumo klasę pasireiškiantį dėsningumų pereinamumą, jiems specifiskai modifikuojantis bei evoliucionuojant ir pasipildant naujais specifiniais dėsningumais, atsirandančiais emerdingų dėka, pastebėjęs Bouldingas sukūrė evoliucinę sistemų klasifikaciją, kurioje išskiriami sistemų sudėtingumo ir išsivystymo lygiai (dabar vadinami **Bouldingo lygiais**). Apie tą klasifikaciją taip pat bus kalbama šiame skyriuje, tačiau šiek tiek vėliau, Bouldingo lygių aprašymui specialiai skirtame 1.6.4.15. skyrelyje.

Egzistuoja ir tokios sistemos kaip miestai ir regionai bei regioniniai ūkiniai kompleksai, kurių jau neįmanoma priskirti tik kokiai nors vienai šiame skyrelyje paminėtai sistemų klasei, nes analizuojant ir planuojant tokių sistemų raidą tenka susidurti ir su techninėmis, ir su ekologinėmis bei epidemiologinėmis, ir su organizacinėmis, ekonominėmis bei socialinėmis problemomis. Tokias sistemas vadinsime **kompleksinėmis**, t. y. **mišriomis**, arba tiesiog – **kompleksais**. Jų analizei, modeliavimui, projektavimui bei valdymui nepakanka ne tik tradicinių specialistų (architektų, inžinierių-konstruktorių, inžinierių-technologų, ekonomistų, ekologų, sociologų it t. t.) su jų metodais, bet ir vien tik sistemotechnikų ir orgprojektuotojų, turinčių sudėtingų techninių sistemų bei sudėtingų organizacinių sistemų projektavimo ir diegimo patirtį. **Reikalingi jau ir patyrę dženeralistai – sugebantys sistemiškai analizuoti ir organizuoti tokių kompleksų darbą, vadovauti jam.**

1.6.4.7. Pilnai pasyvios, pasyvios, tačiau orientuotos į tikslą ir aktyvios pirmojo tipo sistemos

Pagal **aktyvumo laipsnį** pirmojo tipo sistemas galima skirstyti į pilnai pasyvias (t. y. ne tik neturinčias nuosavų tikslų, bet ir neorientuotas į kokį nors išorinį tikslą), pasyvias, tačiau orientuotas į kokį nors išorinį joms tikslą, ir į aktyvias, t. y. turinčias nuosavų (pačių sau išsikeltų) tikslų, jų siekiančias sistemas.

Pilnai pasyvių sistemų klasei priskiriamos natūraliosios sistemos, priklausančios negyvajai gamtai, taip pat didžioji dalis nesudėtingų techninių sistemų, nes jos neturi nuosavų tikslų ir jokių tikslų nesiekia.

Pasyvių, orientuotų į tikslą, sistemų pavyzdžiu gali būti raketa, turinti automatinį (programinį) valdymo bloką, kurio valdoma raketa pati nusitaiko į taikinį ir persekioja jį, jei šis juda ar keičia judėjimo kryptį. Tokių sistemų klasei priklauso ir **aukštesniųjų kartų robotai**, apie kuriuos bus kalbama 1.16.3.3. skyrelyje.

Nuosavų tikslų siekiančių aktyviųjų sistemų klasei priklauso aukštesnieji gyvūnai ir žmonės, o taip pat įvairios organizacijos. Tokios sistemos ypatingai domina sistemotyros mokslą, nes jos dar nepakankamai ištirtos ir turi daug įdomių savybių, atsiradusių **emerđencijos, mutacijų, atrankos ir paveldimumo, dėka**, toms sistemoms besivystant. Juk pats **nuosavų tikslų (trumpalaikių, ilgalaikių tikslų ir idealų) atsiradimas evoliucijos eigoje yra ypatingas reiškinys**, kurio „mechanizmas“ nėra pilnai aiškus iki šiol, kaip nėra išaiškinta ir eilė kitų nuostabių reiškinių. Pavyzdžiui, pastebėtas dar neišaiškintas faktas, kad **aukštesnieji gyvūnai, besivystydami nuo savo pradėjimo iki gimimo, pagreitinu tempu kartoja tas vystymosi stadijas, kurias praėjo savo evoliucijoje ta gyvūnų rūšis**. Išeitų taip, lyg gamta „prisimintų“ tą tos rūšies gyvūnų „gaminimo technologiją“, kurią ji atsitiktinai surado evoliucijos eigoje, ir dabar „tikslingai“ ją kartoja, nes kitos „technologijos“ (tame tarpe – ir tobulesnės) ji dabar „nežino“ ir, kurdama atskirą individą, „neieško“. Kitaip tariant, gamta, gamindama individus, naudojami daug kartų išbandytomis ir genuose užprogramuotose **„tipinėmis technologijomis“ ir „tipiniais projektais“**, juos tobulindama labai atsargiai ir labai pamažu – tik evoliucijos eigoje, **masiškai išbandydama natūraliame eksperimente – atrankoje – ir perduodama ateinančioms kartoms tai, kas išlaikė „atrankos egzaminą“**.

Analizuodami įvairios prigimties, įvairaus substrato bei energetinio ir informacinio turinio aktyvias orientuotas į tikslą sistemas, galime pastebėti, jog **pagrindiniu organizuojančiu faktoriumi, apsprendžiančiu tokios sistemos sugebėjimą tikslingai veikti**, kelti nuosavus tikslus, adaptuotis, tobulėti ir net tobulinti save, keisti savo aplinką ir net formuoti savo funkcionavimui reikalingą bei pageidautiną aplinką, yra **pačios sistemos viduje savęs pačios ir savo aplinkos informacinio modelio susikūrimas**, t. y. atsiradimas sugebėjimo susikurti **sąlyginius refleksus**, surištus su pirminiais poveikiais, ir žymėti pastaruosius **antriniais – informaciniais – signalais**, juos **struktūrizuoti į primityvius informacinius modelius – percepcinius modelius** – ir tuos **modelius įsiminti**, kad po to būtų galima jais pasinaudoti, lyginant susidarančias situacijas su jau buvusiomis, **atpažįstant jas naujose situacijose** ir pasinaudojant jau **sukaupta patirtimi**.

Aukštesnėse išsivystymo stadijose atsiradęs **sugebėjimas abstrahuoti ir apibendrinti** sudarė sąlygas percepcinių modelių pagrindu pradėti kurti **konceptinius modelius** ir jais naudotis. Taip atsirado **loginis mąstymas**.

Savo aplinkos ir savęs pačios modelio susikūrimas leidžia sistemai atpažinti susiklostančias situacijas bei modeliuoti (prognozuoti) galinčias susidaryti, o tai leidžia sistemai tapti pakankamai **atsparia įvairiems išorės poveikiams ir vidinėms**

disfunkcijoms, ne tik pristabdyti savyje entropijos didėjimą, bet ir sumažinti ją, t. y. gaunamos energijos sąskaita padidinti savo ir savo aplinkos organizuotumo lygį.

Čia išsakytų minčių – **hipotezių** – teisingumą patvirtina ne tik natūralių orientuotų į nuosavų tikslų siekimą sistemų stebėjimai, bet ir bandymai kurti panašaus tipo dirbtines sistemas bei valdyti jas ir natūralias sudėtingas sistemas.

Pilnai pasyvios sistemos **neturi nuosavo elgesio**. Jų **veiksmus valdo kitos sistemos**. Todėl pasyviųjų sistemų valdymas – visada **išorinis**.

Į tikslą orientuotos sistemos elgesys formuojasi sistemos valdymo procese, kuris gali būti ir išorinis ir vidinis (savivalda), nes į tikslą orientuotų sistemų klasei priklauso ne tik tam tikra sudėtingų techninių sistemų dalis, bet ir visos aktyviosios sistemos. Pastarosios gali siekti ne tik nuosavų tikslų, bet ir tikslų, kuriuos iškėlė kitos aktyvios sistemos.

Valdymas gali būti loginis, refleksinis ir adaptyvus.

Esant **loginiam valdymui**, sprendžiančioji sistema R (valdymo subjektas, žiūr. 32 pav.), vadovaudamasi savo tikslais, formuoja komandas $\bar{K}$, kurias turėtų besąlygiškai vykdyti valdomoji sistema S (valdymo objektas), kad tokiu būdu artėtų prie numatyto tikslo. **Loginis valdymas gali būti ir išorinis ir vidinis.**

Esant **refleksiniam valdymui**, suveikia pačioje valdomoje sistemoje esantys atitinkami **refleksai** bei **instinktai** (iš anksto sudarytos ir į pačią valdomąją sistemą „iškiepytos“ automatinio valdymo „programos“, užtikrinančios reikalingo atsako į aplinkos ar vidinį poveikį suformavimą ir beveik automatinį sistemos veikimą gyvybiškai svarbios tai sistemai tipinėse situacijose. „Iškiepijami“ ir motyvai (stimulai), skatinantys pageidautino sprendinio priėmimą ir numatyto tikslo siekimą (pavyzdžiui, alkio ar troškulio numalšinimą). **Refleksinis valdymas visada būna vidinis.**

Esant **adaptyviam valdymui**, sprendiniai formuojasi aukštesniojo valdymo sistemos ešelonuose, fragmentiškai kopijuojant savo buvusį sėkmingą elgesį ir pridėdant prie jo naujus atsitiktinai surastus naudingus elementus. Paprastam (ne pretenduojančiam į galimybę mokytis ir tobulėti, o tik į galimybę prisitaikyti) adaptyviam valdymui nebūtina apriorinė informacija apie aplinką ir situaciją, bet būtina, kad aukštesniųjų ešelonų posistemiai turėtų receptorius bei efektorines priemones ir **galėtų vertinti savo veiksmų efektyvumą**. Toks vertinimas leidžia sistemai pasirinkti tinkamą reakciją į išorės poveikius. O kai adaptyvaus valdymo sistema turi ne tik galimybę vertinti gautus rezultatus, bet dar ir pakankamos apimties **atmintį**, kurioje gali kaupti ir saugoti informaciją apie tai, kas buvo praeityje, tai tokia sistema pradeda naudotis ir apriorine informacija ir **gali mokytis**. Dar aukštesnio lygio savų tikslų siekiančios sistemos **susikuria „vertybių skalę“** ir pradeda orientotis į ją, priimdamos valdymo sprendimus.

Kai kurių mokslininkų nuomone nuosavus tikslus formuoja ir jų tikslingai siekia tik aukštesnieji gyvūnai, žmonės ir organizacijos, o biologinės sistemos pasirenka ne tikslus, o tik funkcijas, evoliucijos eigoje „automatiškai“ tobulindamos tą pasirinkimą ir funkcijų atklikimo „technologiją“.

Jų nuomone, **biologinėse sistemose, nors jų funkcijos ir apibrėžtos genetiniu kodu, atsiranda galimybė modifikuoti savo funkcijas ir savo elgesį**. Nors biologinė sistema negali savarankiškai nustatyti sau savo paskirtį ir tikslą, tačiau ji, **siekdama genetiškai užprogramuoto tikslo išlikti ir didinti savo populiaciją, gali pasirinkti savo elgesį (funkcijas ir jų atlikimo būdą)**. Todėl biologinių sistemų elgesys ir jų funkcijos, prisitaikant prie aplinkos pokyčių, **gali keistis tikslingai, nors ir nebūtinai sąmoningai**. Pavyzdžiui, žmogaus organizmas, kaip biologinė sistema, kovodama su į

jį patekusiais virusais, gali pradėti gaminti tuos virusus naikinančius antikūnus, siekdamas genetiškai užprogramuoto tikslo – išgyventi.

Nagrinėjant orientuotas į tikslą ir tikslų siekiančias sistemas, susiduriama ir su eile kitų įdomių ir sudėtingų reiškinių. Vienas tokių reiškinių – **kelių tikslų siekimas**. (žiūr. 1.16.2.6. skyrelį). Tie tikslai gali būti suderinti, gali sudaryti hierarchinį tikslų medį, tačiau gali būti ir nesuderinti, o kartais – net prieštaringi.

Ypatingai sudėtingos situacijos gaunamos **daugiaėšeloninėse organizacijose**, kuriose iškyla **tikslų derinimo problemos kiekviename organizacijos ešelonų, tikslų derinimo tarp ešelonų problemos**, o taip pat organizacijos įvairių ešelonų aktyviųjų elementų **tikslų derinimo su visos organizacijos tikslais problemos**. Pakankamai tobulai organizuotose organizacijose jų aktyviųjų elementų tikslai ir pačios organizacijos bei jos padalinių tikslai būna gerai suderinti: jie ne tik neprieštarauja vieni kitiems, bet yra **teigiamai koreliuoti** vieni su kitais. **Tai pasiekama, kai organizacijos kuriasi ir veikia laisva savo narių valia** tam, kad padėtų jiems pasiekti savo tikslus. Deja, ne visos organizacijos taip kuriasi ir taip veikia. Todėl ir atsiranda tikslų derinimo problemos. Tokių problemų sprendimo būdams ir **tikslų koordinavimo daugiaėšeloninėse sistemose principams** bus skirtas specialus šios mokymo priemonės antrosios dalies skyrius. Apie tai taip pat galima pasiskaityti šių eilučių autoriaus darbuose [15, 16, 82].

1.6.4.8. AVS, SAV ir jų klasifikavimas

Tikslų suderinimas organizacijoje taip, kad aktyviesiems organizacijos elementams būtų asmeniškai naudinga siekti visos organizacijos tikslų, tampa ypatingai aktualus kuriant **automatizuoto valdymo sistemas (AVS)**, nes, neišsprendus tikslų suderinimo problemos, labai sunku suderinti aktyviųjų elementų veiksmus, o nesuderinus jų veiksmų neįmanoma sukurti efektyvios valdymo sistemos, tuo labiau – automatizuotos, kadangi automatizuoti įmanoma tik gerai suderintą veiklą.

AVS organizacijose, tobulinant valdymo subjekto veiklą (žiūr. 32 pav.), buvo pradėtos kurti XX a. antrosios pusės pradžioje ir jų kūrimo procesas jau suspėjo praeiti kelias stadijas.

Pradžioje buvo kuriamos **pirmosios kartos AVS**, orientuotos į pirmosios ir antrosios kartos ESM panaudojimą ir rutininių „rankinių“ informacijos apdorojimo operacijų tiesioginį „vienas prie vieno“ automatizavimą, neperprojektuojant veikiančios valdymo sistemos. Kuriant tokias sistemas, buvo padaryta daug klaidų (žiūr. [15], kur išnagrinėta kelios dešimtys tokių klaidų), dėl kurių ne tik nebuvo pasiekta laukiamo tokių sistemų efektyvumo, bet buvo patirta daug nuostolių. Tai diskreditavo AVS kūrimo idėją ir žymiai sumenkino tokių sistemų populiarumą, pasitikėjimą jomis bei sumažino jų kūrimo mastus. Tik nedaugelyje atvejų pavyko sukurti ir įdiegti tikrai efektyvias pirmosios kartos AVS.

Atsiradus trečiosios kartos ESM, galinčioms dirbti laiko paskirstymo režime ir aptarnauti didelį skaičių terminalų, o vėliau, atsiradus asmeniniams kompiuteriams, automatizuotoms darbo vietoms (ADV) ir jų tinklams, buvo pradėtos kurti **antrosios ir trečiosios kartos AVS**, kurios leido ir leidžia pasiekti pakankamai aukštą efektyvumą. Atsirado **integruotos automatizuotos sistemos (IAS)**, automatizuojančios ir valdymo subjekto, ir valdymo objekto funkcionavimą. Buvo pradėtos kurti ir **automatizuotos projektavimo sistemos (APS)**, tame tarpe ir **automatizuotos automatizuotų sistemų projektavimo sistemos**.

Plačiau apie AVS, jų kartas bei jų projektavimo principus ir metodus skaitytojas gali pasiskaityti AVS kursui skirtose knygelėse [15, 16, 17].

AVS priklauso tikslų siekiančių **organizacinių „žmogus–mašina“ tipo sistemų klasės** poklasiui, kuriam būdinga, jog to poklasio sistemų **pagrindiniais elementais išlieka žmonės**. Jie išlieka tokiose sistemose daugumoje valdymo kontūrų, vykdydami tas funkcijas, kurių neįmanoma ar netikslinga perduoti automatams. Todėl toks valdymas ir vadinamas **automatizuotu, o ne automatinio**.

Automatiniame valdyme, kuris naudojamas sudėtingų techninių sistemų valdyme, visos valdymo funkcijos valdymo kontūre pilnai automatizuojamos ir todėl toks valdymo kontūras gali funkcionuoti **automatiniame režime** (t. y., be žmogaus tiesioginio dalyvavimo, žmogus tik stebi automato veikimą, naudojami jo rezultatai, įsikišdamas į automato veikimą tik jo gedimo, remonto bei tobulinimo atvejais). Valdymo sistemos, sudarytos iš valdymo kontūrų, veikiančių automatiniame režime, vadinamos **automatinio valdymo sistemomis** (automatinėmis valdymo sistemomis), arba **sistemomis su automatinio valdymu (SAV)**.

SAV savo eile gali būti suskirstytos į grupes:

a) **„kieto“ programinio (programuoto) valdymo sistemos**, kurių valdymo programos griežtai reglamentuotos ir ilgą laiką nėra keičiamos;

b) **„lankstaus“ programinio valdymo sistemos**, galinčios keisti valdomų procesų veikimo programą, ilgo valdymo procese pereidamos prie alternatyvių valdymo programų;

c) **automatinio reguliavimo (tame tarpe ir automatinio stabilizavimo) sistemos** (SAV su neigiamu grįžtamojo ryšiu, žiūr. 1.6.4.9. skyrelį);

d) **automatinio sekimo sistemos** (sistemos, automatiškai dubliuojančios sekamo objekto trajektoriją);

e) SAV, automatiškai optimizuojančios užduoto tikslo pasiekimo trajektoriją (SAV, naudojančios teigiamą grįžtamąjį ryšį, **ekstremalaus valdymo SAV**, žiūr. 1.6.4.9. skyrelį);

f) **adaptyvaus valdymo sistemos**, galinčios automatiškai prisitaikyti prie besikeičiančios aplinkos, bet dar **neturinčios galimybės mokytis ir tobulėti**;

g) **adaptyvaus valdymo sistemos, galinčios mokytis** (SAV, kaupiančios patirtį ir besimokančios iš jos);

h) **save reguliuojančios SAV**, savarankiškai optimizuojančios savo funkcionavimą besikeičiančioje aplinkoje (save reguliuojančios orientuotos į tikslą SAV);

i) **SAV, pačios pasirenkančios funkcionavimo tikslus iš duotojo sąrašo** ir galinčios savarankiškai (automatiškai) juos keisti, pasikeitus aplinkybėms (savarankiškai pasirenkančios bei keičiančios reglamentuotus tikslus ir automatiškai jų siekiančios save reguliuojančios SAV).

Manoma, kad ateityje bus sukonstruotos net **save kuriančios ir save automatiškai tobulinančios sistemos**, kurios kai kuriomis savo savybėmis bus šiek tiek panašios į gyvus organizmus.

Kaip matome, SAV „spektras“ **gana platus ir tokių sistemų kūrimas bei tobulinimas – gana įdomi ir perspektyvi sistemotyros metodų taikymo naujų sudėtingų sistemų kūrimo procese sritis**, kurioje sistemotyrininkai, dirbdami kompleksinėse brigadose, sudarytose iš įvairių sričių specialistų (kompiuterinės technikos, automatikos, matematikos, neurokibernetikos, bionikos ir kitų mokslų atstovų), galėtų pasiekti įdomių rezultatų, vertingų tiek teoriniu, tiek praktiniu atžvilgiu. Apie SAV ir jų projektavimą bus kalbama antroje šios mokymo priemonės dalyje.

AVS kūrimo srityje **sisteminiai analitikai ir sisteminiai projektuotojai** randa platų įvairių darbų spektrą. Gana detalią informaciją apie tuos darbus skaitytojas gali

rasti jau minėtose knygelėse [15, 16, 17], o taip pat šių eilučių autoriaus skaitomame AVS ir jų projektavimo speckursuose.

Čia tik norėčiau atkreipti skaitytojų (ypač tų, kurie užsiima ar užsiims AVS kūrimu) dėmesį į **labai dažną ir labai grubią teorinę klaidą**, kurią iki šiol vis dar daro ne tik nepakankamai patyrę, bet ir kai kurie aukštos kvalifikacijos AVS projektuotojai, priklausantys AVS techninės įrangos ar informacinės bei programinės įrangos specialistų grupėms. Šią klaidą daro ir didžioji dalis organizacijų, kuriuose diegiama AVS, vadovų.

Klaidos esmė yra tame, kad dažnai nesuvokiama ir nepastebima ar pamirštama tai, jog **AVS ne tik ir ne tiek techninė-informacinė, kiek organizacinė sistema, priskiriama 1.6.4.2. skyrelyje minėtosios kompleksinių „žmogus-mašina“ sistemų klasės poklasiui, kuriam priklausančiose sistemose pagrindiniai elementai yra žmonės, naudojantys savo veikloje techninę, informacinę ir programinę AVS įrangą kaip pagalbinę jiems tarnaujančią priemonę, ir tik nedidelė dalis žmonių sudaro techninę, informacinę ir programinę AVS įrangą aptarnaujančiųjų „techninį personalą“**. Todėl, projektuojant AVS, būtina projektuoti ne tik jos techninę, informacinę ir programinę įrangą, bet ir visos organizacijos ir jos aktyviųjų elementų veiklą, kuri AVS veikimo sąlygomis turi būti jau kitokia ir daug griežčiau organizuota negu ji buvo iki AVS įdiegimo, nes AVS gali duoti tą efektą, kurio iš jos laukiama, tik tada, kada visos jos dalys sudaro vieningą kompleksą ir veikia suderintai. Automatizuoti netvarką ne tik beveik neįmanoma, bet ir žalinga bei pavojinga.

Iš šios teorinės klaidos, atsiradusios dėl sisteminio mąstymo stokos ir pasireiškiančios neteisingu AVS esmės suvokimu, **išplaukia dvi praktinės klaidos**, pasireiškiančios AVS kūrėjų veikloje.

Pirmoji klaida – apsiribojimas tik techninės, informacinės ir programinės AVS įrangos projektavimu, kūrimu ir diegimu, neprojektuojant organizacijos valdymo sistemos, personalo veiklos ir neprojektuojant visos organizacijos veiklos, atsižvelgiant į tuos pasikeitimus organizacijoje, kurie turėtų atsirasti **pervedus organizaciją į naują būseną** – automatizuoto valdymo ir automatizuotos savivaldos būseną.

Šitos klaidos pasekmės: dėl sistemos „žmogus-mašina“ „žmogiškosios“ ir „mašininės“ dalių veiklos nepakankamo suderintumo visa sistema veikia blogai arba visai neveikia. Tas efektas, kurį galėtų duoti sistemos automatizavimas (ir kurio buvo laukta) – nepasiekiamas. Rezultatas – nusivylimas automatizavimo idėja.

Antroji klaida – neatsižvelgiama į tai, kad aktyvioji sistemos „žmogus-mašina“ dalis turi tokias savybes, kurios šiandien dar nepasiekiamos ar beveik nepasiekiamos „mašininei“ sistemos daliai, ir todėl neprojektuojama ir **nekuriama tikrai kibernetinė sistema, turinti adaptyvumo, savireguliacijos, labilumo, savitobulinimo ir panašias savybes**, o apsiribojama tik kai kurių rutininių informacijos apdorojimo procesų, reikalaujančių daug atidaus ir varginančio darbo, kompiuterizavimo. Tai šiek tiek palengvina valdymo sistemos vidurinės grandies darbą, tačiau negali duoti to efekto, kurį būtų galima pasiekti, jei būtų sukurta tikrai kibernetinė automatizuoto valdymo ir automatizuotos savivaldos sistema. **Iš kibernetinės AVS idėjos praktiškai nieko nebelieka** – lieka senoji valdymo sistema, kurioje kai kurie rutininiai darbai atliekami naudojantis kompiuteriu. **Visos organizacijos būseną išlieka beveik nepakitusi.**

Atsiranda ir tokių „teoretikų“, kurie bando pateisinti tokį susiaurintą požiūrį į AVS, dėl kurio „žmogiškoji“ sistemos „žmogus-mašina“ dalis lieka neperprojektuota ir beveik nepakeista.

Tų „teoretikų“ nuomone, „žmogiškąją“ AVS dalį projektuoti neįmanoma ir neleistina. Neįmanoma, esą, todėl, kad „žmonių veikla tiek sudėtinga ir neapibrėžta, jog jos formalizuoti ir projektuoti neįmanoma“, o neleistina, esą, todėl, kad tai „sukaustytų žmogų ir paverstų jį sistemos „mechaniniu sraigtelium“.

Tam, kad parodytume pirmojo „argumento“ nepagrįstumą, pakanka pateikti gamybinių procesų, kuriuos atlieka žmonės – gamybinių įmonių darbininkai – projektavimo bei technologinės dokumentacijos kūrimo pavyzdį. Kaip tik, remiantis tokios dokumentacijos kūrimo nauda ir patirtimi, ir buvo pradėta kurti mūsų jau nekartą minėtoji technologinė NOD rutiniams darbams, atliekamiems valdymo sistemose.

Atremdamas antrąjį „žmogiškosios“ AVS dalies projektavimo priešininkų „argumentą“, teigiu, jog gerai suprojektuota TNOD ne tik nevaržo žmonių kūrybinės laisvės ir kūrybinių galių, bet net jas skatina, sudarydama geresnes sąlygas jos pasireiškimui. Juk TNOD, reglamentuodama rutininio darbo atlikimą, nurodo tik „žemutinę ribą“, reikalaujama, kad darbas nebūtų atliktas blogiau negu nurodyta TNOD pateiktame algoritme, ir nevaržo kūrybinės laisvės, bandant surasti geresnį algoritmą ir jį pasiūlyti kaip esamos TNOD patobulinimą, už kurį, jei tas patobulinimas duos reikšmingą efektą, jo autorius gali tikėtis ir moralinio, ir materialinio paskatinimo. Jau pats TNOD egzistavimas ir jos taikymas, leidžiantis atlikti rutininius darbus kokybiškai ir racionaliausiai, iš dabar žinomų, būdu taupo žmogaus laiką ir sudaro sąlygas daugiau laiko skirti kūrybiniams darbams.

Atsisakydami moksliskai pagrįsto „valdymo mechanizmų“, sudarytų „iš žmonių“, bei jų funkcionavimo „algoritmų“ projektavimo ir palikdami tokių „mechanizmų“ formavimąsi, veikimą ir tobulėjimą stichinei „socialinės evoliucijos“ savigai, mes ne tik nepagerintume žmogaus padėties organizacijos valdymo „mašinoje“, ne tik nepakeltume žmogaus reikšmės ir vaidmens joje, o, atvirkščiai, pasmerktume žmogų neracionaliam savo laiko, savo energijos ir savo intelekto švaistymui nepakankamai apgalvotos veiklos neracionaliam atlikimui.

Dažnai kelia nuostaba toks paradoksalus faktas: nors dabar daug kalbama apie žmogaus vertę, garbę, orumą, tačiau „žmogiškoji medžiaga“ gana dažnai naudojama žymiai mažiau protingai ir taupiai negu metalas, elektros energija bei kitos materialinės vertybės. Kad tuo įsitikintume, užtenka įdėmiai paanalizuoti, kaip kartais organizuojamas žmonių darbas ir, pasidairius, pastebėti, kaip žmogeliai rausiasi šiukšliadėžėse, ieškodami sau to, ką kiti žmonės išmetė kaip jiems nereikalingą šiukšlę.

Todėl aš manau: **jei mes tikrai gerbiame ir mylime žmones, vertiname jų laiką, nes laikas – tai gyvenimas, tai vertybė, kuri prarandama negrįžtamai, tai planuokime ir projektuokime ne tik technikos, bet ir žmonių veiklą taip, kad „žmogiškasis potencialas“ būtų vartojamas racionaliai, taupiai ir pagarbiai.**

Kartais net ir tie, kurie jau suprato AVS „žmogiškosios dalies“ projektavimo būtinumą bei naudą ir nebedaro mūsų minėtosios klaidos, dėl sisteminio mąstymo stokos daro kitą klaidą – mechaniškai perkelia techninių sistemų projektavimo patirtį į organizacinių sistemų projektavimą, neatsižvelgdami į tai, kad **aktyviųjų elementų, turinčių „individualias valdymo sistemas“ – savo galvas – valdymas principialiai skiriasi nuo pasyviųjų elementų valdymo, todėl turi skirtis ir jų „valdymo mechanizmai“, ir jų projektavimas.**

Pasyvieji elementai neturi nuosavų tikslų ir jų valdymui skirtos sistemos turi valdyti tokių elementų veikimo procesus, trumpai tariant, **valdyti visus pasyviųjų elementų veiksmus.** Todėl, kuriant AVS, reikia projektuoti pasyviųjų elementų veikimo valdymo algoritmus ir programas. **Bandyti kurti valdymo sistemas, valdančias visus aktyviųjų elementų veiksmus, yra neperspektyvu,** nes tada tektų kurti jų veiksmų kontrolės mechanizmus, kadangi aktyvieji elementai gali ir nesielgti taip, kaip jiems liepta, bei tų kontrolės mechanizmų kontrolės mechanizmus ir taip be galo.

Daug perspektyviau ir efektyviau yra valdyti aktyviųjų elementų veiklą per jų nuosavus tikslus, t. y. derinant organizacijos ir jų darbuotojų tikslus taip, kad darbuotojas, siekdamas savo individualių tikslų, automatiškai siektų ir organizacijos tikslų, o organizacija, siekdama savo tikslų, kartu siektų ir jos darbuotojų tikslų. Tada darbuotojų veiklos kontrolė bus reikalinga tik tose vietose ir tais atvejais, kur ir kada nepavyko tų tikslų pilnai suderinti.

1.6.4.9. Determinuotos, stochastinės ir neapibrėžtinės sistemos

Pagal apibrėžtumo laipsnį sistemas galima skirstyti į determinuotas ir nedeterminuotas, kurias savo eile galima skirstyti į stochastines (statistiškai apibrėžiamas) ir neapibrėžtines (statistiškai neapibrėžiamas) sistemas. Apie determinuotus, stochastinius ir neapibrėžtinius procesus mes jau nemažai kalbėjome 1.2. skyriuje. Čia tik kai ką trumpai pakartosime ir kai ką papildysime.

Determinuotomis sistemomis vadinamos sistemos, kurių funkcionavimo trajektorijas, žinant dabartines jų būsenas bei dabartinius ir būsimus jų aplinkos poveikius toms sistemoms, **galima prognozuoti vienareikšmiškai**.

Beveik visi šioje mokymo priemonėje iki šiol nagrinėtieji objektai, kurių matematinius modelius mes sudarinėjome 1.1.–1.4. skyriuose, buvo šiek tiek idealizuojami ir priskiriami determinuotų objektų (tame tarpe ir determinuotų sistemų) klasei. Tik 1.4.12. skyrelyje buvo nagrinėjamas stochastinio automato modelis.

Stochastinėmis sistemomis vadiname sistemas, kurių funkcionavimo vienareikšmiškai prognozuoti jau nebepajėgiama, tačiau galime apskaičiuoti tikimybes, kad sistemos išėjimų bei fazinių trajektorijų koordinatų reikšmės pateks į tam tikrus diapazonus. Nagrinėjant stochastines sistemas, galima nustatyti **statistinius dėsningumus**, charakterizuojančius tokių sistemų funkcionavimą. **Mes negalime vienareikšmiškai teigti, kas tiksliai atsitiks stochastinėje sistemoje kiekvienu atskiru atveju su kuriuo nors jos elementu, tačiau mes galime pakankamai tiksliai nustatyti, kaip dažnai kartosis tie ar kiti įvykiai, jei stebėjimo laikas bus pakankamai ilgas, kokie bus tų ar kitų kintamųjų reikšmių vidurkiai, su kokia tikimybe mes galėtume garantuoti, kad individualios tų kintamųjų reikšmės nenukryps nuo savo vidurkių daugiau negu mums dar priimtinas tokio nuokrypio dydis ir pan.**

Stochastines sistemas sudaro pakankamai didelės, o dažnai – labai didelės homogeninės ar beveik homogeninės nestruktūrizuotos ar silpnai struktūrizuotos aibės (kartais – kelių tokių aibių mišiniai) objektų ar įvykių.

Kai tokios aibės elementai yra įvykiai, o pati aibė – tų įvykių seka arba jų sekos, tai tokią stochastinę sistemą, išsidėsčiusią laike, vadina dar ir **stochastiniu procesu**.

Stochastinės sistemos gali būti labai įvairios: pradedant nuo rulečių, naudojamų įvairiuose lošimuose, bei nuo loterijose naudojamų stochastinių automatų, ir baigiant mūsų Visata. Prancūzų mikrobiologas Žakas Mono savo knygoje „Šansas ir būtinybė“ (Monod, Jaques, Chance and Necessity, New York: Random House, 1971) teigia, jog **gyvybė – tai atsitiktinybė, kuri remiasi chemija bei fizika ir yra pilnai pavaldi kombinatorikos dėsniams**. Su Mono nuomone sutinka ne visi mokslininkai, tačiau neįmanoma paneigti tai, kad gyvybės atsiradimo ir jos evoliucijos procesuose didelį vaidmenį suvaidino ir tebevaidina tai, ką priimta vadinti atsitiktinumu. Jis sudaro tokių reiškinių kaip mutacijos ir organizmų atranka pagrindą, o **Heizenbergo neapibrėžtumo principo** veikimas pasireiškia ne tik mikropasaulyje, bet ir biologinėse bei organizminėse sistemose, psichologiniuose tyrimuose, žmonių bendravime. Apie įvairius požiūrius į atsitiktinumą prigimtį jau buvo nemažai rašyta 1.2. skyriuje, todėl čia nebesikartosiu.

Šios mokymo priemonės 1.4.12. skyrelyje mes jau susipažinome su stochastiniu automatu ir jo matematiniu modeliu. Su kai kuriomis kitomis stochastinėmis sistemomis ir jų modeliavimu mes susipažinsime 1.14. skyriuje, o taip pat jos bus nagrinėjamos ir antrojoje šios mokymo priemonės dalyje. Ten mes detalčiau susipažinsime su **stochastiniais automatais, Markovo grandinėmis ir Markovo procesais, Buslenkos agregatais ir agregatyvinėmis sistemomis, su masinio aptarnavimo sistemų imitacinio modeliavimo automatizavimo sistemomis**.

Neapibrėžtinėmis sistemomis vadinsime sudėtingas organizuotas sistemas, kurių funkcionavimui nėra būdingi ne tik determinuoti, bet ir statistiniai dėsningumai, t. y. tokias sistemas, kurių reakcijos į aplinkos poveikius yra ar mums atrodo tokios neapibrėžtos ir nenuspėjamos, kad **nėra galimybės jas pakankamai tiksliai prognozuoti ne tik „individualiai“, t. y. „mikrolygyje“ (ką galima daryti,**

nagrinėjant determinuotas sistemas), bet ir „statistiškai“ (t. y. „makrolygyje“, nustatant galimų reakcijų dažnių tikimybes bei kintamųjų dydžių reikšmių vidurkius, ką galima padaryti, nagrinėjant stochastines sistemas). Neapibrėžtinių sistemų klasei priklauso didžioji dalis sudėtingų organizuotų ir evoliucionuojančių sistemų bei jų posistemų su juose ir tarp jų vykstančiais procesais.

Kaip jau buvo minėta 1.2. skyriuje, neretai kai kurie humanitarinių bei biologinių mokslų atstovai, o kartais ir fizikai, chemikai bei matematikai (žiūr. [83]), nežinodami arba pamiršdami apie neapibrėžtinių sistemų egzistavimą, nagrinėdami tokias sistemas, pradeda rinkti statistinius duomenis apie jų funkcionavimą, apdoroja tuos duomenis, naudodamiesi matematinės statistikos metodais, įsitikina, jog gauti rezultatai neblogai aprašo tuos procesus, kuriuos stebint buvo surinkti minėtieji statistiniai duomenys, o po to dažnai būna nemaloniai nuvilti, kai surastieji „statistiniai dėsningumai“ pradeda nebegalioti, bandant juos taikyti kitoms (kitu laiku ar kitoje vietoje surinktų) statistinių duomenų aibėms. **Kiek besurinktum statistinių duomenų ir kaip juos beapdorotum, nepavyks surasti statistinių dėsningumų, jeigu jų nagrinėjamuose procesuose šiuo atveju iš viso nėra!**

Tiesa, ir iš tokių „statistinių tyrimų“, jei teisingai interpretuoti jų rezultatus, galima gauti naudingos informacijos, nes **visiems procesams (tame tarpe ir evoliucionuojantiems) yra būdingas inertiškumas**. Todėl tendencijos, būdingos netolimos praeities procesams, kurį laiką išlieka ir ateityje, jei jų nepakeičia kokie nors staigūs ir stambūs kokybiniai (ir ryšium su tuo atsirandantys staigūs ir stambūs kiekybiniai) pokyčiai. O tai reiškia, jog surastas praeityje tendencijas daugelyje atvejų galima ekstrapoliuoti į ateitį, tikintis, kad ekstrapoliacijos rezultatai kurį laiką bus artimi tam, kas iš tikrųjų įvyks. Žinoma, jei per tą laiką neįvyks kokių nors netikėtų reikšmingų įvykių, kurie pakeistų procesų eigą.

Gana didelį neapibrėžtumo laipsnį gali įnešti į sistemų funkcionavimą žmonių laisvos valios pasireiškimai. Tačiau ir juos (bent jau dalinai) galima nuspėti, jei, išsiaiškinę žmonių interesus ir tikslus, susidarome jų **motyvacinius modelius** arba naudojamesi ekspertų pagalba. Apie tokius modelius ir **sprendimų priėmimą neapibrėžtinėse situacijose** mes kalbėsime 1.16. skyriuje, o taip pat operacijų tyrimo kurse, susipažindami su **lošimų teorija** bei **statistinių sprendimų teorija**. 1.16. skyriuje mes susipažinsime ir su **ekspertinių įverčių taikymu**, su **ekspertinėmis sistemomis** bei su taip vadinamos **neapibrėžtinės (difuzinės) matematikos** pradmenimis, kuriuos suformulavo XX amžiaus antrojoje pusėje JAV mokslininkas L.Zadeh, teigdamas, jog **egzistuoja reiškiniai (ypatingai, humanitarinių mokslų nagrinėjamose srityse), kurių aprašymui griežtai apibrėžtos klasikinės matematikos sąvokos jau nebetinka ir kuriuos galima adekvačiau aprašyti, naudojantis šalia griežtai apibrėžtų Kantoro aibių ir aibėmis, kurių ribos yra „išblukusios“ („difuzinės“), šalia įprastų kintamųjų, galinčių turėti kiekybines reikšmes, dar ir lingvistiniais kintamaisiais, kurių galimos reikšmės išreiškiamos žodžiais, šalia įprastų vienareikšmiškai apibrėžtų algoritmų – negriežtais algoritmais**.

Nedeterminuotų sistemų, aprėpiančių stochastines ir neapibrėžtines sistemas, išskyrimas ir atskyrimas nuo determinuotų sistemų turi prasmę dar ir todėl, kad **nedeterminuotų sistemų ir procesų valdymo „mechanizmai“ skiriasi nuo determinuotų sistemų ir procesų valdymo „mechanizmų“**.

Determinuotų sistemų ir procesų valdymui gali pakakti (ir dažniausiai pakanka) **tiesioginio valdymo „mechanizmų“**, realizuojančių **loginį programuojamą valdymą**. Minėtieji valdymo „mechanizmai“ **vadinami tiesioginiais todėl**, kad jie veikia **tiesiogiai**, t. y. į valdomos sistemos įėjimus, kurie savo eile veikia valdomos sistemos būseną ir jos išėjimus taip, jog pastarieji tampa tokie, kokių pageidauja valdančioji sistema, siekianti savo tikslų. Toks valdymas **vadinamas loginiu todėl**, kad

valdančiosios sistemos poveikiai į valdomąją sistemą – **valdymo komandos**, – kurių seka ir sudaro **valdymo programą, logiškai išplaukia iš valdančiosios sistemos tikslų**: tie poveikiai apskaičiuojami, atsižvelgiant į priežastinius ryšius, rišančius valdomosios sistemos įėjimus, būsenas ir išėjimus, matematiškai išreikštus tos sistemos perėjimo ir išėjimo funkcijomis. Toks valdymas **vadinamas programuojamu todėl**, kad valdančioji sistema, siekdama savo tikslų, planuoja valdomosios sistemos funkcionavimą ir savo veiklą, t. y. savo poveikius į valdomąją sistemą ir tų poveikių seką, **išreikšdama tą savo veiklos planą kaip valdymo programos komandų seką** – valdymo programą. Tokiu valdymo „mechanizmų“ determinuotoms sistemoms **pakanka todėl**, kad determinuotose sistemose ryšiai tarp jų elementų ir jose vykstančių procesų veikia **pakankamai tiksliai ir vienareikšmiškai**.

Nedeterminuotų sistemų ir procesų valdymui tiesioginio programuojamo valdymo „mechanizmų“ nepakanka. Nepakanka todėl, jog sudaromos programos negali numatyti visko, kas įvyks ar gali įvykti nedeterminuotose sistemose. Juk valdymo subjektas, negalėdamas pakankamai pilnai žinoti, kas ir kaip įvyks nedeterminuotoje sistemoje, negali pakankamai vienareikšmiškai ir detalčiai suplanuoti visus būsimus valdančiosios sistemos poveikius į valdomąją sistemą ir paversti tą savo planą tokia valdymo programa, kurios vykdymas užtikrintų valdomosios sistemos judėjimą valdymo subjektui pageidaujama trajektorija.

Tokią judėjimą, galbūt su nedideliais nukrypimais nuo jos, kurie su tam tikru pakankamai nedideliu vėlavimu būtų likviduojami, gali užtikrinti **atbulinio (grįžtamojo) neigiamojo ryšio „mechanizmai“**, automatiškai realizuojantys **refleksinį valdymą**. Šie „mechanizmai“ **vadinami atbulinio ryšio „mechanizmais“ todėl**, kad jie valdomoje sistemoje **formuoja poveikius, veikiančius kryptimi, priešinga tiesioginio valdymo „mechanizmų“ veikimo kryptčiai**: tiesioginis valdymas prasideda nuo poveikių į valdomosios sistemos įėjimus ir per juos veikiama į tas sistemas išėjimus, o atbulinio ryšio „mechanizmuose“ valdymas prasideda nuo valdomosios sistemos faktiškųjų išėjimų palyginimo su tais „programiniais“ („normatyviais“) išėjimais, kokių pageidautų valdančioji sistema, ir, suradus nepageidautinus „fakto“ nukrypimus nuo „normos“, pereina prie atitinkamų poveikių į valdomosios sistemos įėjimus formavimo. Kitaip tariant, tiesioginio valdymo „mechanizmai“ į valdomosios sistemos įėjimus veikia tiesiogiai, o atbulinio ryšio mechanizmai – netiesiogiai ir atbuline kryptimi, **suformuodami tos sistemos išėjimo poveikį į įėjimą – grįžtamąjį (arba atbulinį) ryšį**.

Tą grįžtamąjį ryšį **vadiname neigiamuoju todėl**, kad jis **veikia lyg ir su minuso ženklu**: jei faktiškasis išėjimas nukrypo nuo planinio (t. y. nuo „normos“) į kuria nors pusę, tai formuojamas toks poveikis į valdomosios sistemos įėjimą, kad tas įėjimas taip paveiktų sistemos išėjimą, jog pastarasis pradėtų keistis į priešingą pusę, mažindamas ar net likviduodamas atsiradusį nepageidautiną nuokrypį nuo „normos“, t. y. nuo plano.

Todėl neigiamąjį grįžtamąjį ryšį taiko **išėjimų bei būsenų stabilizavimui, o kartu su tiesioginio valdymo „mechanizmais“ – nedeterminuotų sistemų valdymui**.

Grįžtamieji ryšiai gali būti ne tik neigiami, bet ir teigiami. Pastarieji veikia kaip nuokrypių stiprintuvai su teigiamu stiprinimo koeficientu. Todėl jie taikomi tokių nukrypimų nuo pasirinktos planinės trajektorijos, kurie pasirodo pageidautini (kartais tokių būna) didinimui taip vadinamose **ekstremalaus valdymo sistemose**. Teigiamieji grįžtamieji ryšiai kartu su neigiamaisiais grįžtamaisiais ryšiais taikomi **optimumų paieškos sistemose**: kol nukrypimai yra pageidautini, veikia teigiamojo grįžtamojo ryšio mechanizmai, o kai pasiekiamas toks nukrypimų lygis, kada tolesnis nukrypimų didinimas tampa nepageidautinas, įsijungia neigiamojo grįžtamojo ryšio mechanizmai, kurie stabilizuoja sistemą pasiektame optimumo taške.

Grįžtamojo ryšio mechanizmų realizuojamas valdymas yra **refleksinis**, nes jis veikia kaip **sistemos automatinis atsakas į atsiradusius nukrypimus** nuo pasirinktos „normos“.

Labai svarbi grįžtamojo ryšio „mechanizmų“ savybė – jų **universalumas**: jie reaguoja į nukrypimus nuo pasirinktos „normos“ (o tą **normą mes galime pasirinkti tokią, kokią norime**) **automatiškai ir nepriklausomai nuo to, dėl kokių priežasčių tie nukrypimai atsirado**, o taip pat nuo to, kokie tie nukrypimai yra (kokio dydžio, į kurią pusę ir pan.).

Šiuo atžvilgiu grįžtamojo ryšio „mechanizmai“ yra žymiai pranašesni už tiesioginio valdymo „mechanizmus“, neturinčius ir negalinčius turėti pastovių universalių valdymo programų: jiems kiekvieną kartą, atsižvelgiant į susiklosčiusią situaciją ir turimą informaciją, tenka sudarinėti **specialias valdymo programas**, tinkančias tik tai situacijai, ir jomis vadovautis. **Todėl tiesioginis valdymas gali būti tik loginis**, nes jis remiasi logine situacijos analize ir iš jos logiškai išplaukiančių logiškai pagrįstų sprendimų priėmimu. Gera būtų, kad minėtoji analizė kuo dažniau būtų dar ir **sisteminė**, tada galima būtų tikėtis, kad priimami valdymo sprendimai bus labiau pasverti ir turės mažiau klaidų, atsirandančių dėl trumparegiškumo ir skubotumo.

Tačiau grįžtamojo ryšio „mechanizmai“ turi ir vieną **rimtą trūkumą**, kurio neturi tiesioginio valdymo „mechanizmai“: taikant grįžtamojo ryšio „mechanizmus“, valdymo procese atsiranda **vėlavimas**, nes poveikiai į valdomosios sistemos įėjimus, turintys sumažinti nepageidautinus tos

sistemos išėjimų bei būsenos nuokrypius nuo plane numatytų „normų“, atsiranda **tik tada ir tik po to, kai tie nuokrypiai jau atsiranda**. Tuo tarpu tiesioginio valdymo „mechanizmai“ nebūtinai privalo laukti nepageidautinų nuokrypių atsiradimo. Jie net gali **užkirsti kelią jų atsiradimui**, iš anksto atitinkamai paveikdami valdomąją sistemą. Gaila tik, kad nedeterminuotose sistemose dėl informacijos apie ateitį stokos jie tai padaryti gali ne visada, todėl negali garantuoti nepageidautinų nuokrypių nebuvimo, kuriems atsiradus reikalingas automatiškas neigiamojo grįžtamojo ryšio „mechanizmų“ įsikišimas į valdymo procesą. **Todėl nedeterminuotų sistemų valdyme reikalingi abiejų tipų „mechanizmai“**. Vienas kito veikimą papildydami, jie gali užtikrinti pakankamai kokybišką nedeterminuotų sistemų ir procesų valdymą.

Šiuos „mechanizmus“ ir jų sąveikavimą galima aptikti ir **gyvojoje gamtoje**. Pavyzdžiui, žmogaus organizme ir jo veikloje tiesioginį loginį valdymą vykdo **galvos smegenys**, sugebančios logiškai mąstyti, o refleksinio valdymo funkcijas atlieka **autonominė (vegetacinė) nervų sistema**, kurios veikla pasireiškia jos sudėtinių dalių – **simpatinės, parasimpatinės ir metasimpatinės sistemų** – sąveikavimu.

Čia panagrinėtus „mechanizmus“ ir jų sąveikavimą nesunku rasti ir **organizacijų valdyme**. Pavyzdžiui, valstybių valdyme galima rasti **įstatymus leidžiančiąją valdžią, vykdomąją valdžią, teisminę valdžią** ir **„ketvirtąją valdžią“ – žiniasklaidą**. Tai lyg valstybės „centrinė nervų sistema“. Be jos yra dar ir „periferinė nervų sistema“ – ryšių sistema ir **savivaldos institucijos**, taip pat pasireiškiančios įvairiais lygiais ir sąveikaujančios su „centrine valdžia“. Juk valstybė – nedeterminuota sistema, priklausanti neapibrėžtinių sistemų klasei, ir joje veikia daug įvairių sistemų: determinuotų, stochastinių ir neapibrėžtinių.

1.6.4.10. Tolydžiosios, diskrečiosios ir mišriosios sistemos

Dar vieną sistemų klasifikavimo būdą gausime, atsižvelgdami į **sistemų egzistavimo laike ir erdvėje topologiją** ir išskirdami diskrečias, tolydžias ir mišrias sistemas.

Sistemos, kurių modelių charakteristikos erdvėje ir laike išlieka pastovios arba kinta tolydžiai, priskiriamos **tolydžiųjų sistemų** klasei. Tokių sistemų pavyzdžiu gali būti **klasikinės dinaminės sistemos**, aprašomos diferencialinėmis lygtimis bei jų sistemomis. Jas mes nagrinėsime antrojoje sistemos tyros kurso dalyje, nors su kai kuriais objektais, turinčiais tolydžius modelius, mes jau susipažinome 1.4. skyriuje (žiūr., pavyzdžiui, diferencijavimo grandelę, hidraulinę sistemą, klasikines dinamines sistemas).

Sistemos, kurių charakteristikos laike ir erdvėje keičiasi diskrečiai, priskiriamos **diskrečių sistemų** klasei. Tokių sistemų pavyzdžiu gali būti mūsų jau nagrinėtieji baigtiniai automatai, Tiūringo mašina, o taip pat kompiuteriai, kalkuliatoriai ir t. t.

Diskrečių sistemų klasei priklauso žymiai daugiau sistemų, negu įprasta galvoti, nes **materija yra diskreti pagal savo prigimtį, o ir energija yra perduodama kvantais**. Ir tik todėl, kad tie kvantai labai maži, o taip pat todėl, kad materijos elementarios dalelės irgi labai mažos, **susidaro įspūdis, jog makroprocesai vyksta tolydžiai, nors mikroprocesai yra diskretūs**.

Žiūrint iš tokių pozicijų, tenka pripažinti, jog **klasikinė tolydžioji matematika, prie kurios mes visi esame taip pripratinti, yra didesnės idealizacijos rezultatas negu diskrečioji matematika**, nors jos aukštosiose mokyklose mokoma žymiai mažiau. Idealizacija yra ir klasikinėje matematikoje nagrinėjamos **taško funkcijos**, nes, atsižvelgiant į materijos ir energijos diskretumą, realistiškesnėmis būtų tokios **funkcijos, kurių argumentais būtų ne taško koordinatės, o tam tikros sritys, bei realiai egzistuojantys objektai ir laiko intervalai**. Su intervalinėmis funkcijomis mes susidursime antrojoje šios mokymo priemonės dalyje (pavyzdžiui, nagrinėdami **Foresterio dinaminėse sistemose vykstančių procesų tempus, perėjimų tikimybes Markovo grandinėse** ir t. t.).

Mišriųjų sistemų klasei priskiriamos sistemos, kuriose gali vykti ir diskretūs procesai, ir tokie procesai, kuriuos mes priskiriame prie tolydžiųjų. Tokių sistemų

realiame gyvenime galima sutikti labai daug. Antrojoje mokymo priemonės dalyje mes nagrinėsime kai kurias sistemas, turinčias mišrų funkcionavimo kalendorių, bei jų matematinius modelius (knygoje [20] aprašytas mišrias determinuotas sistemas, Buslenkos agregatus, aprašytus knygoje [45, 32]).

Sudarydami sistemų ir procesų matematinius (tame tarpe ir imitacinius) modelius, mes neretai naudosimės transformacijomis, pervedančiomis diskrečius modelius į tolydžius (pavyzdžiui, **interpoliavimu**, naudojantis įvairiais **splainais**) ir atvirkščiai (pavyzdžiui, tolydžių procesų **kvantifikavimu**, perėjimu nuo **diferencialinių lygčių** prie **skirtuminių**). Pavyzdžiui, antrojoje šios mokymo priemonės dalyje, taikydami Foresterio dinaminių sistemų imitacinio modeliavimo metodą ir automatizuotą imitacinio modeliavimo sistemą POWERSIM, mes, modeliudami diskrečius gamybos, prekybos, transportavimo ir pan. procesus, naudosimės tolydžiais modeliais, kuriuos aprašydami matematine kalba, naudosime skirtumines (t. y. diskrečias) lygtis, o modeliavimo rezultatus išreikšime ir lentelėmis (t. y. diskrečiais) ir tolydžiais grafikais.

Perėjimų nuo tolydžių trajektorijų ir funkcijų prie diskrečių trajektorijų ir funkcijų ir atvirkštinių perėjimų formalizavimo pavyzdžius pateiksime šios mokymo priemonės pirmosios dalies 1.11.14. skyrelyje.

1.6.4.11. Tiesinės ir netiesinės sistemos

Tolydžių sistemų klasėje įprasta išskirti taip vadinamų **tiesinių sistemų** poklasį.

Tiesinėmis sistemomis vadinamos sistemos, kurios gali būti aprašytos tiesinėmis diferencialinėmis bei algebrinėmis lygtimis. Kai sistema aprašoma **tiesinėmis diferencialinėmis lygtimis** (jų sistemomis), tai sakoma, jog ši sistema yra **tiesinė mikrolygyje**. Kai kurios sistemos, būdamos tiesinėmis mikrolygyje, gali būti **tiesinėmis ir makrolygyje**. Tokiose sistemose vykstantys procesai ir išėjimų koordinačių reikšmių priklausomybė nuo įėjimų ir būsenos vektorių koordinačių reikšmių aprašomi **tiesinėmis algebrinėmis lygtimis**. Yra ir tokių sistemų, kurios, **būdamos netiesinėmis makrolygyje, gali būti laikomos tiesinėmis mikrolygyje**.

Tiesinės sistemos išskiriamos į atskirą grupę todėl, kad dėl jų modelių paprastumo jos turi daug tokių savybių, kuriomis labai patogiu naudotis sisteminėje analizėje. Tiesinių sistemų analizės matematinis aparatas labai gerai išvystytas ir juo neretai naudojama net analizuojant netiesines sistemas, norint gauti artutinius rezultatus, kai kitokiais būdais nepavyksta gauti jokių rezultatų. Su kai kuriais gana efektyviais tiesinių sistemų funkcionavimo analizės matematiniais metodais mes susipažinsime jau pirmojoje šios mokymo priemonės dalyje (žiūr. pavyzdžiui, 1.11. ir 1.15. skyrius).

Sistemos, kurios nėra tiesinės, vadinamos **netiesinėmis**. Joms sistemų teorijoje skiriamas ypatingas dėmesys, kuris, tai teorijai vystantis, vis labiau didės. Juk **daugelis sudėtingose sistemose vykstančių įdomių reiškinių yra netiesiniai** (pavyzdžiui, bifurkacijos, atraktoriai, solitonų formavimasis ir pan.). Net pats **emerdžencijos reiškinys, kurio dėka, paprastesnėms sistemoms jungiantis į sudėtingesnes, atsiranda naujų savybių, kurių neturėjo besijungiantys objektai, yra netiesinis**. Todėl visos realios pirmojo tipo sistemos iš tikrųjų yra netiesinės, ir tik abstrahuojantis nuo kai kurių jų savybių, galima sudaryti artutinius tiesinius jų modelius ir naudotis jais. Tačiau norėdami giliau išsiaiškinti pirmojo tipo sistemų esmę ir suprasti, kaip ir kodėl atsiranda tos naujos savybės ir nauji objektai, pavadinti pirmojo tipo sistemomis, mes neišvengiamai susiduriame su kai kurių procesų, formuojančių sistemas, netiesiškumu. Todėl **netiesinių sistemų teorija – labai aktuali**

ir perspektyvi sistemotyros sritis. 1.4.9. skyrelyje paminėtoji **katastrofų teorija** irgi yra netiesinių sistemų teorijos dalis. Žinoma, matematinis netiesinės sisteminės analizės aparatas yra žymiai sudėtingesnis ir nėra taip gerai išvystytas, kaip tiesinės sisteminės analizės aparatas. Dauguma netiesinės analizės problemų negali būti išspręsta, naudojantis vien tik analiziniais metodais, ir todėl tenka naudotis skaičiavimo matematikos metodais ir matematiniais eksperimentais su netiesiniais matematiniais modeliais, netiesinių procesų imitaciniu modeliavimu. Netiesiniai imitaciniai sudėtingų sistemų modeliai ir matematiniai eksperimentai su jais nagrinėjami antrojoje mokymo priemonės dalyje.

1.6.4.12. Statinės ir dinaminės sistemos

Sistemas galima klasifikuoti ir atsižvelgiant į tai, keičiasi ar nesikeičia tų sistemų būseną laike.

Sistemos, kurių būseną laikui bėgant išlieka pastovi, vadinamos **statinėmis**, o tos sistemos, kurių būseną laikui bėgant keičiasi, – **dinaminėmis**. Sąvokos „statinė“ ir „dinaminė“ sistema yra gana reliatyvios. Visų pirma, tokių sistemų, kurios laikui bėgant nė kiek nepasikeičia, iš viso nėra. Todėl negali būti absoliučiai statinių sistemų. Kai kurios sistemos priskiriamos prie statinių tik todėl, kad per jų nagrinėjimo laikotarpį sistemos būseną galima laikyti praktiškai nepakitusia. Jei paimtume ilgesnį nagrinėjimo laikotarpį, tai turėtume pripažinti, jog tą sistemą, kurią laikėme statine, jau tikslinga priskirti prie dinaminų.

Ir atvirkščiai: egzistuoja daug sistemų, laikomų dinaminėmis, kurias trumpuose laiko intervaluose galima interpretuoti kaip statines.

Kadangi į bet kurią sistemą, laikomą statine, visuomet galima žiūrėti kaip į dalinį dinaminės sistemos atvejį, tai sistemų teorija nelabai domisi statinėmis sistemomis ir jos tyrimo objektais yra būtent dinaminės sistemos. Dinaminių sistemų aibėje priimta išskirti teorinėje mechanikoje gerai ištirtą taip vadinamą **klasikinių dinaminių sistemų (KDS)** poaibį. KDS mes jau šiek tiek nagrinėjome 1.4.9. skyrelyje ir detaliau nagrinėsime antrojoje šios mokymo priemonės dalyje. Ten mes nagrinėsime ne tik **tolydžias dinamines sistemas**, bet ir kitą dinaminių sistemų poaibį – **sistemas, turinčias mišrų kalendorių** ir esančias tolydžios determinuotos dinaminės sistemos ir determinuoto baigtinio automato hibridais. Nagrinėsime ir **nedeterminuotas dinamines sistemas** – **Markovo procesus**, o taip pat **Buslenkos agregatus**, esančius dinaminės sistemos ir stochastinio automato hibridais.

Šiuolaikinę sistemų teoriją ypatingai domina **netiesinės dinaminės sistemos** ir tokios dinaminės sistemos, kuriose laikui bėgant **gali keistis ne tik būsenos vektoriaus koordinačių reikšmės, bet ir tų sistemų matematiniai modeliai**, keičiantis modelių parametrams ar/ir net modelių struktūrai bei sudėčiai, t. y. **keičiantis matematinėms priklausomybėms tarp sistemos įėjimų, išėjimų ir būsenų bei modelio parametrų**.

Kaip tik **tokių pokyčių eigoje atsiranda naujos savybės ir nauja sistemos kokybė**, sistema evoliucionuoja, tobulėja arba degraduoja.

Sistemotyra, nagrinėdama sistemas ir jose vykstančius procesus, iššaukiančius sistemos modelio keitimąsi, bando išsiaiškinti, kaip vyksta **sistemų evoliucija**, kokie dėsningumai jai būdingi, ir tuo pagrindu jas klasifikuoti, išskirdama **sistemų lygius**. Sistemos, priklausančios skirtingiems lygiams, **skiriasi ne tik kiekybiškai, bet jau ir kokybiškai**.

Evoliucijos „mechanizmas“ – **mutacijų, atrankos ir paveldimumo mechanizmai** – bus nagrinėjami antrojoje šios mokymo priemonės dalyje. Ten bus imituojamas tų mechanizmų veikimas.

1.6.4.13. Paprastos, sudėtingos ir labai sudėtingos sistemos

Sistemų aibę galima dekomponuoti į sistemų klases ir naudojantis **sistemų sudėtingumo laipsniu**, sąlyginai išskiriant **paprastas, sudėtingas ir labai sudėtingas (supersudėtingas) sistemas**.

Iki šiol dar nėra nusistovėjusios vieningos nuomonės, kaip matuoti sistemų sudėtingumą ir kokiais kriterijais vadovaujantis skirstyti sistemas į anksčiau išvardintas tris klases. Diskutuojama ir dėl išskiriamų klasių skaičiaus bei jų pavadinimų.

Nėra vieningos nuomonės net tokiu klausimu: **ar sistemos sudėtingumas yra objektyvi pačios sistemos savybė, ar tai – reliatyvi sąvoka, išreiškianti sistemos ir ją tiriančiųjų bei projektuojančiųjų žmonių santykį.**

Mokslininkai, prisilaikantys pirmosios nuomonės, bando surasti sistemų sudėtingumo matą, nagrinėdami sistemos elementų ir ryšių tarp jų skaičių, bandydami vertinti tų elementų ir ryšių tarp jų sudėtingumą, jų emerđžentiškumą ir pan. Tačiau kol kas dar niekam nepavyko, einant šiuo keliu, suformuoti bent jau didžiajai daliai sistemotyrininkų priimtina aiškų ir patogų sistemų sudėtingumo matą bei sukurti sistemos sudėtingumo matavimo pakankamai universalų ir efektyvų algoritmą, ir, manau, vargu ar greitai pavyks.

Egzistuoja kelios priežastys, kurios pakankamai objektyvų ir pakankamai tikslų sistemų **sudėtingumo lygio įvertinimą skaičiais santykių skalėje**, t. y. **objektyvų sistemų sudėtingumo išmatavimą, daro labai sudėtinga problema.**

Nurodysiu dvi priežastis, atrodančias man pagrindinėmis.

Pirmoji priežastis. Vertinant sistemos sudėtingumą, būtina atsižvelgti ir į jos sudėties, ir į jos struktūros, ir į jos koncepto sudėtingumus, tačiau nepakanka tuos sudėtingumus įvertinti atskirai kaip **sistemos substratinį, struktūrinį ir koncepcinį sudėtingumus**. Būtina įvertinti juos dar ir kartu, kompleksiškai, kaip **visos sistemos sisteminį sudėtingumą**, o tai nėra paprasta, kadangi sisteminis visos sistemos sudėtingumas nėra nei minėtųjų trijų „dalinių“ sudėtingumų suma, nei jų sandauga, nei kokia nors kita paprasta tų „dalinių“ sudėtingumų funkcija, nes tie sudėtingumai (kaip ir sistemos sudėtis, struktūra ir konceptas) **nėra nei visiškai nepriklausomi vienas nuo kito, nei vienareikšmiškai priklausomi ir išreikiami kaip kitų „dalinių“ sudėtingumų funkcijos**. Tie „daliniai“ sudėtingumai yra surišti vienas su kitu gana sudėtingais ryšiais, galinčiais generuoti emerđžentinių savybių atsiradimą ir skirtingose sistemose galinčiais būti skirtingais.

Išsakytų teiginių teisingumą patvirtinsiu pavyzdžiais.

Kai kurie cheminiai junginiai gali turėti po kelis izomerus. Nors izomerų **sudėtys yra vienodos**, bet jų **struktūros skiriasi** ir todėl skiriasi kai kurios tų junginių savybės, o tai reiškia, jog **skiriasi ir jų konceptai**.

Kitas pavyzdys. Sistemą, turinčią sisteminę savybę, esančią tos sistemos konceptu t – sugebėjimu skristi, galima sudaryti ne vienu, o daugybe būdų ir iš įvairių elementų. Tai ir lėktuvai, ir sraigtasparniai, ir sklandytuvai bei kitos įvairios skraidyklės, ir oro balionai, ir dirižabliai, ir paukščiai, ir vabzdžiai, ir kai kurių augalų sėklos ir t. t. Visų tų sistemų yra **skirtingos ir sudėtys, ir struktūros**.

Trečias pavyzdys. Izomorfškos sistemos, apie kurias mes jau kalbėjome „Įvado“ 0.2.6. skyrelyje ir apie kurias toliau kalbėsime 1.8. skyriuje, turi **vienodas struktūras**, bet gali turėti **skirtingas sudėties**, o turėdamos vienodas struktūras, bet skirtingas sudėties, gali turėti **savybes, kurių vienos bus vienodos, kitos – skirtingos**.

Pavyzdžių, iliustruojančių sąryšių tarp sistemos sudėties, jos struktūros ir jos koncepto įvairovę, sąrašą galima tęsti ir tęsti. Panagrinėjus tą įvairovę, galima padaryti išvadą, kad ji tokia didelė ir tokia marga, jog net neaišku, ar iš viso bus kada nors įmanoma surasti tuos bendruosius dėsningumus, rišančius sistemos sudėties, jos struktūros ir jos koncepto sudėtingumus, ir, tuo labiau, išreikšti tuos sąryšius kiekybinėje formoje, leidžiančioje po to apskaičiuoti visos sistemos sisteminį sudėtingumą.

Todėl galima teigti, jog, **net žinodami sistemos substratinio, struktūrinio ir koncepcinio sudėtingumo kiekybinius įverčius, mes vargu ar sugebėtume paskaičiuoti visos sistemos sisteminį sudėtingumą.** Tokių apskaičiavimų algoritmo dar niekas nesukūrė. Net tokio algoritmo idėjos niekas dar nepasiūlė, nes dar neaišku, ar šios trys **sistemos sisteminio sudėtingumo „vektorių“** sudarančios „koordinatės“ yra tokios, kad, jomis pasinaudojus, būtų galima apskaičiuoti sistemos sisteminio sudėtingumo „vektoriaus modulį“.

Antroji priežastis. Sistemos substratinis, struktūrinis ir koncepcinis sudėtingumai taip pat dar neturi tokių jų dydžio įverčių apskaičiavimo algoritmų, kurie, būdami pakankamai universalūs, leistų gauti pakankamai tikslius ir pakankamai objektyvius tų sudėtingumų įverčius. Egzistuoja tik atskiri tokių įverčių gavimo bandymai, tačiau siūlomi metodai yra gana grubūs ir nėra universalūs. Jie gali būti taikomi tik kai kuriais atvejais ir tik labai apibendrintose stratoje.

Pavyzdžiui, sistemos **substratinį sudėtingumą** labai apibendrintoje stratoje, kurioje **neatsižvelgiama į sistemos elementų savybes bei jų skirtumus**, galima vertinti **sistemos elementų skaičiumi n** . Toks sistemos substratinis sudėtingumo vertinimo būdas taikomas gana dažnai.

Pavyzdžiui, nukleonų (protonų ir neutronų) skaičius atomo branduolyje, apskaičiuojant cheminio elemento atominį svorį (atominę masę) sveikųjų skaičių skalėje, yra svarbi cheminio elemento atomo sandaros ir jo sudėtingumo charakteristika, o protonų skaičius branduolyje nusako cheminio elemento numerį periodinėje cheminių elementų lentelėje ir vadinamas atominiu skaičiumi Z . Šis skaičius charakterizuoja ne tik atomo branduolio, bet ir jo elektroninio apvalkalo sudėtingumą, nes neutralaus atomo elektroniniame apvalkale yra tiek pat elektronų, kiek jo branduolyje protonų. Atomų elektroninių apvalkalų struktūras ir jose egzistuojančius dėsningumus mes nagrinėsime 1.9.1.2. skyrelyje, kur išsiaiškinsime, kaip tų dėsningumų pagrindu buvo sudaryta antrojo tipo sistema – periodinė cheminių elementų lentelė, kurioje jau minėtasis atominis skaičius Z vaidina ypatingą vaidmenį.

Žinoma, sistemos elementų skaičius n charakterizuoja sistemos substratinį sudėtingumą tik iš dalies, charakterizuodamas sistemos dydį, todėl skaičių n galima laikyti tik gana grubia sistemos sudėtingumo kiekybine charakteristika, kuri gali būti sėkmingai taikoma tik tada, kai sistemų elementai vienodi arba beveik vienodi. **Vertinant sistemos substratinį sudėtingumą bendruoju atveju, derėtų atsižvelgti ne tik į elementų skaičių, bet ir į pačių tų elementų sudėtingumą, jų savybes.**

Kadangi tai padaryti sudėtinga, tai ne taip jau retai grubiuose vertinimuose naudojamosi šia daline sudėtingumo charakteristika, neatsižvelgiant į elementų sudėtingumą, net tada, kai elementai nevienodi.

Pavyzdžiui, rusų matematikas G. N. Povarovas, naudodamasis šia charakteristika, suskirstė sistemas į paprastas ($n \leq 10^3$), sudėtingas ($10^3 < n \leq 10^7$), ultrasudėtingas ($10^7 < n \leq 10^{30}$) ir supersudėtingas ($10^{30} < n < 10^{200}$).

Bandymų charakterizuoti sistemos sudėtingumą sistemos elementų aibės galia būta ir daugiau (žiūr., pavyzdžiui [84]), o netiesiogiai, charakterizuojant, pavyzdžiui, algoritmų bei kompiuterinių programų sudėtingumą, ir, bendrai, informacijos teorijoje šiuo sudėtingumo vertinimo kriterijum ir metodu naudojamosi ne taip jau retai. Matyt, dėl jo paprastumo. Juk, pavyzdžiui, ir H. Bremermanas, apskaičiuodamas kompiuterinės technikos potencialios galios ribą, vėliau pavadinta **Bremermano riba**, apie kurią mes dar kalbėsime šio skyrelio pabaigoje, vertindami algoritmų sudėtingumą, skaičiavo energetinių lygių, naudojamų informacijos kodavimui, kiekį, kurį superkompiuteris pajėgtų apdoroti per duotąjį laiką.

Sistemos **struktūrinį sudėtingumą loginėje stratoje**, kurioje tarpelementiniai ryšiai charakterizuojami tik savo buvimu (egzistavimu) ar nebuvimu, galima vertinti sistemoje egzistuojančių bei galinčių egzistuoti tarpelementinių ryšių skaičiumi S_n . Šiuo įverčiu naudosimės ir mes šiame skyrelyje, aiškindami antrojo informacinio barjero sąvoką ir jo atsiradimo priežastis bei jo postūmio galimybes. Šiuo įverčiu pasinaudojo ir N. Gudmanas (N. Goodman), vertindamas predikatų

sudėtingumą. Jis skaičiavo priklausomybių tarp predikatų argumentų skaičių ir gautąją įvertį koreguodavo atmesdamas tų priklausomybių pasikartojimus, atsirandančius dėl jų simetrijos ir „savipilnumo“ (žiūr. [85]).

Tačiau ir šis įvertis nėra pakankamai universalus. Jį galima taikyti tik loginėje stratoje, t. y. tik tais atvejais, kai visi tarpelementiniai ryšiai yra vienodi arba beveik vienodi. Bet taip būna ne taip jau dažnai. Net tokiose palyginti nelabai sudėtingose sistemose kaip cheminiai junginiai, kurių tipinės struktūras mes nagrinėsime 1.9.1.3. skyrelyje, tarp tuos junginius sudarančių atomų gali būti ir joniniai, ir paprasti kovalentiniai, ir sudėtingesni kovalentiniai, vadinami koordinaciniais (donoriniais-akceptoriniais), ir metališkieji, ir vandeniliniai ryšiai, o tų ryšių susidarymo metu atsirandančios sisteminės cheminio junginio savybės priklauso dar ir nuo besijungiančių atomų bei jų elektronų padėties vienas kito atžvilgiu. Todėl aprašant cheminius junginius **nebepakanka ne tik empirinių cheminių junginių formulių**, vaizduojančių tų junginių sudėtį, **bet ir taip vadinamųjų struktūrinių formulių**. Tenka sudarinėti **stereochemines formules**.

Todėl surasti pakankamai tikslų sistemos struktūrinio sudėtingumo įvertį nėra lengviau negu surasti universalų ir tikslų sistemos substratinio sudėtingumo įvertį.

Dar keblesnė situacija susidaro bandant įvertinti sistemos **konceptinį sudėtingumą**, nes sisteminės savybės, atsirandančios sistemos elementams besijungiant į pirmojo tipo sistemos struktūrą bei sisteminiai santykiai tarp antrojo tipo sistemos elementų savybių pasižymi tokia didele ir tokia marga įvairove, jog tampa visiškai neaišku, kokiais tų savybių bei santykių požymiais būtų galima pasinaudoti bandant palyginti tų sisteminių savybių ir sisteminių santykių sudėtingumą. Man nėra žinoma, kad kas nors būtų pasiūlęs kokį nors (kad ir grubų kaip, pavyzdžiui, substratinio bei struktūrinio sudėtingumų vertinimų atvejais) konceptinio sudėtingumo vertinimo matą. Net sistemos koncepto sąvoką dar retai kas vartoja.

Iš šios trumpos dviejų priežasčių, dėl kurių sistemų sudėtingumo matavimo problema tampa labai sudėtinga, ir iš tų priežasčių išplaukiančių pasekmių apžvalgos galima padaryti išvadą, kad **artimiausiu metu sukonstruoti objektyvų ir pakankamai tikslų sistemos sisteminio sudėtingumo kompleksinį matą, atsižvelgiantį į sistemos sudėties, struktūros ir koncepto sudėtingumus, vargu ar pavyks**.

Todėl bandoma ieškoti sistemos sudėtingumo įverčių integraliai, neieškant sistemos sudėties, struktūros ir koncepto sudėtingumų atskirai.

Pavyzdžiui, sistemų sudėtingumo vertinimui buvo bandoma **pasitelkti informacijos teoriją, surišančią sistemos sudėtingumą su jos būsenos bei jos funkcionavimo entropijomis** (žiūr. [86], [4]). Šio metodo taikymo sfera yra platesnė negu anksčiau minėtų metodų, tačiau taikyti šį metodą nėra taip paprasta, nes nėra paprasta apskaičiuoti sudėtingos sistemos būsenų ir funkcionavimo trajektorijų įvairovės entropiją. Pati idėja vertinti sistemos sudėtingumą informacijos kiekiu, reikalingu sistemos aprašymui ir jos bei jos funkcionavimo pakankamai adekvataus modelio sukūrimui, teoriškai atrodo gana patraukliai. Pagrindiniai sunkumai iškyla bandant pasinaudoti šia idėja praktikoje. Šis atvejis – tai **dar vienas pavyzdys, patvirtinantis šios mokymo priemonės „Ivade“ išsakytą mintį, kad praktiniam problemos sprendimui dažnai nepakanka vien tik teorinio jos sprendimo, kad taikomosios matematikos bei matematinės sistemos tyros specialybei sprendžiant naują realią problemą bei projektuojant naują sudėtingą sistemą, kuri realiai turės veikti ir duoti naudingą efektą, neretai prireikia daugiau žinių ir kūrybinio išradimo negu kai kuriems kabinetiniams matematikams – teoretikams**.

Sistemos sudėtingumo vertinimo informacijos kiekiu metodo dar vieną modifikaciją, kurioje informacijos kiekis vertinamas dvejetainių ženklų skaičiumi, yra pasiūlęs žinomas rusų matematikas A. N. Kolmogorovas, aksiominės tikimybių teorijos kūrėjas. Diskrečių objektų sudėtingumą jis siūlė vertinti **minimaliu dvejetainiu ženklų skaičiumi, reikalingu visos būtinos objekto identifikavimui informacijos užrašymui**, pavyzdžiui, pakankamai adekvataus to objekto matematinio modelio sudarymui.

Sistemų ir jų funkcionavimo sudėtingumo vertinimui bandoma pasinaudoti ir algoritmine koncepcija bei algoritmų teorija, **suvedant sistemos sudėtingumo vertinimo problemą į tos sistemos analizės bei modeliavimo algoritmų sudėtingumo vertinimo problemą** (žiūr., pavyzdžiui į [87]). Prie šios problemos mes dar grįšime šio skyrelio pabaigoje.

Bandymų spręsti problemos sudėtingumo vertinimo apžvalgą galima tęsti ir tęsti: buvo bandoma įvedinėti sudėtingumo matą aksiomiškai (žiūr., [80, 88, 89]), panašiai kaip jau minėtasis A. N. Kolmogorovas įvedė tikimybės matą aksiominėje tikimybių teorijoje; vertinti baigtinių automatų ir raidžių sekų sudėtingumą; taikyti sistemų sudėtingumo vertinimui grafų teoriją, kurią mes šiek tiek nagrinėsime ir kuria naudosimės 1.9. skyriuje, pradedant nuo 1.9.1.1. skyrelio ir t. t. Gana išsamią bibliografiją šia tema galima rasti straipsnyje [90]. Straipsniai šia tema teberašomi iki šiol, nes šios **problemos sprendimo, kuriuo būtų galima praktiškai naudotis, iki šiol nėra**. Ir tai nėra nuostabu.

Problema išties labai sudėtinga. Tuo labiau, kad **sistemos substratinis, struktūrinis, koncepcinis ir sisteminis sudėtingumai priklauso ne tik nuo objektyviai išmatuojamų bei apskaičiuojamų faktorių** (tokių kaip sistemos elementų ir ryšių tarp jų skaičius, to ar kito sąveikavimo bei tos ar kitos savybės atsiradimo tikimybės ir pan.), **bet ir nuo daugelio kokybinių faktorių, kurių objektyviai įvertinti skaičiumi mes dar nemokame** ir kurie skirtingiems subjektams turi nevienodą reikšmę, priklausančią dar ir nuo situacijos bei laiko, ir todėl subjektyviai atrodo nevienodai sudėtingai.

Tai panašu į skonio vertinimą: nors daugelis žmonių skiria saldų, rūgštų, kartų, sūrų ir pan. skonius, galima sakyti, „objektyviai“, nes jų vertinimai tokia vertinimo grubumo lygyje beveik visada sutampa, o degustatoriai sugeba atskirti daugybę skonio ir kvapo atspalvių bei „suskaityti“ „sudėtingą“ skonį ir kvapą į „elementarių“ skonių ir kvapų spektrą, bet objektyviai įvertinti skaičiumi tos ar kitos skonio ar kvapo komponentės stiprumą ir apskaičiuoti konkretaus „sudėtingo“ skonio ar kvapo charakteristikas vargu ar kas nors drįstų ryžtis. Skirtingi žmonės turi šiek tiek skirtingus skonio ir kvapo pojūčius ir šiek tiek skirtingai juos vertina: vieniems žmonėms patinka vieni skoniai ir kvapai, kitiems – kiti. Atlikti tyrimai rodo, jog net asmeniniai prioritetai skonio ir kvapo vertinimo srityje nėra pastovūs – jie keičiasi su žmogaus amžiumi.

Panašiai atsitinka ir su sistemų sudėtingumo vertinimui: vienos ir tos pačios sistemos sudėtingumą gali skirtingai įvertinti ne tik skirtingi žmonės, bet ir tas pats žmogus, praėjus kuriam laikui ar pasikeitus aplinkybėms.

Todėl šių eilučių autorius bent jau kol kas labiau linkęs prisilaikyti antrosios nuomonės, teigiančios, kad **atsakymas į klausimą, koks yra nagrinėjamos sistemos sudėtingumas mums, priklauso ne tik nuo pačios sistemos, bet ir nuo to asmens, kuris tą sistemą nagrinėja, ir net nuo tos situacijos bei to momento, kada ta sistema yra nagrinėjama.**

Bėgant laikui, kaupiantis žinioms bei patirčiai, gali atsitikti taip, kad ta sistema, kurią kadaise ją nagrinėjęs asmuo laikė sudėtinga, dabar jam atrodys jau paprasta, nors kartais gali atsitikti ir atvirkščiai: sistemoje, kuri anksčiau buvo laikoma paprasta, bus išvelgtas sudėtingumas.

Tačiau tai nereiškia, kad minėtoji pirmoji sistemų sudėtingumo vertinimo kryptis, siekianti surasti objektyvius sistemų sudėtingumo rodiklius bei išmatuoti jų reikšmes ir kol kas dar nepasiekusi praktiškai patenkinamų rezultatų, yra klaidinga ir kuo nors ydinga. Abi kryptys yra reikalingos ir naudingos, papildoma viena kitą. Sistemotyros mokslo vystymosi atžvilgiu pirmoji kryptis netgi yra reikšmingesnė, tačiau, deja, ne taip greitai duodanti praktiškai reikalingus rezultatus. Manau, klaidinga būtų laikyti šią kryptį visai neturinčia perspektyvos.

Juk, net laikantis antrosios krypties ir vertinant **sistemos sudėtingumą mums**, galima bandyti atskirti ir atskirai įvertinti tą sistemos subjektyviojo sudėtingumo mums dalį, kuri priklauso nuo pačios vertinamos sistemos (o tai ir būtų sistemos objektyvaus sudėtingumo vertinimas, atitinkantis jau minėtąją pirmąją vertinimo kryptį), ir tą dalį, kuri priklauso nuo mūsų sugebėjimų ir informuotumo.

Nors sistemos sudėtingumo vertinimas yra žymiai sudėtingesnis procesas už didelio akmens sunkumo vertinimą, tačiau abu šie procesai radikaliai (t. y. iš principo) nesiskiria. Juk tas akmuo, kuris skirtingo fizinio pajėgumo žmonėms atrodo nevienodai sunkus, turi objektyvią tą sunkumą apsprendžiančią savybę, vadinamą „svoriu“, ir mes mokame ją išmatuoti. To reikia siekti ir sistemų sudėtingumo vertinimo atžvilgiu. Tačiau, kai sprendžiamas klausimas, ar mes tą akmenį sugebėsime pakelti ir pernešti į kitą vietą, mums tampa reikalingas ne tik objektyvus, bet ir subjektyvus akmens sunkumo įvertinimas.

Kad geriau suvoktume skirtumą ir sąryšį tarp sistemos sudėtingumo objektyvaus ir subjektyvaus vertinimų, pabandykime išsivaizduoti **virtualų eksperimentą**.

Tarkime, jog mes jau mokame vertinti sistemų būsenų neapibrėžtumą, naudodamiesi informacine entropija H . Tarkime, jog nagrinėjamos sistemos būsenos neapibrėžtumas asmeniui, kuriam pavesta ištirti jam visiškai nežinomą sistemą ir sudaryti teisingą bei pakankamai pilną jos modelį, yra lygus H_1 , o tos sistemos būsenos neapibrėžtumas mums dabar yra lygus H_2 . Tuomet galėtume teigti, jog objektyvus sistemos sudėtingumas yra H_1 , subjektyvus tos sistemos sudėtingumas mums yra H_2 , o skirtumas $H_1 - H_2$ yra lygus tam informacijos apie tą sistemą kiekiui, kurį mes turėjome dar prieš tos sistemos tyrimo pradžią.

Teoriškai viskas atrodo gana paprasta, tačiau praktiškai šia virtualia procedūra pasinaudoti dabar mes galime tik labai paprastais atvejais. Juk nėra taip jau paprasta įvertinti realios sudėtingos sistemos būsenos neapibrėžtumo lygį, apskaičiuojant tą neapibrėžtumą charakterizuojančią informacinę entropiją.

Todėl vietoj kiekybinio objektyvaus sistemos sudėtingumo matavimo, tenka bent jau kol kas tenkintis subjektyviu kiekybiniu to sudėtingumo lygio vertinimu, išskiriant kelis kokybinius sudėtingumo lygius ir parenkant atitinkamus vertinimo kriterijus, leidžiančius priskirti nagrinėjamos sistemos sudėtingumą vienam iš tų kokybinių sistemos sudėtingumo lygių.

Atsižvelgdamas į tai, kas čia buvo išsakyta, manau, kad **reliatyvius (subjektyvius) sistemų sudėtingumo lygius** būtų galima įvertinti ir kokybiškai apibrėžti, naudojantis mūsų jau įvesta sistemos išorinio modelio sąvoka (žiūr. 1.4. skyrių).

Sistemą galima laikyti **paprasta** ją nagrinėjančiam (ar projektuojančiam) asmeniui, jei jis, per praktiškai priimtina laiką pakankamai susipažinęs su ja (t. y. su jos įėjimų ir išėjimų trajektorijomis), **iškart gali sudaryti tokį koncepcinį išorinį tos sistemos modelį**, kurį būtų galima išreikšti išorinio matematinio (ar bent jau išorinio informacinio, ne būtinai matematinio) modelio forma, tokiu būdu gaunant **nagrinėjamos sistemos pakankamai adekvatų aprašymą**, leidžiantį pakankamai tiksliai prognozuoti, kaip ta sistema reaguos į galimus poveikius.

Jei sistemą nagrinėjančiam asmeniui tokį modelį sudaryti iškart nepavyksta, tai reiškia, jog jis susidūrė su **pirmuoju informaciniu barjeru** ir jam šiuo momentu nagrinėjamoji sistema dar nėra paprasta. Tačiau jei tokį modelį vis dėlto pavyksta sudaryti kolektyvinėmis pastangomis per praktiškai priimtina laiką ir tokiu būdu įveikti pirmąjį informacinį barjerą, tai tokią sistemą to kolektyvo nariai gali laikyti jau **sudėtinga** sistema, bet dar **nepriklausančia supersudėtingų sistemų klasei**. Gali nutikti ir taip, kad nei atskiram asmeniui, nei kolektyvui iškart nepavyksta sudaryti sudėtingos sistemos išorinio modelio, tačiau kolektyvinėmis pastangomis pavyksta sudaryti tos sistemos vidinį modelį (apie jį bus kalbama šios mokymo priemonės 1.10. skyriuje) ir pasinaudoti tuo modeliu išorinio modelio vaidmenyje (žiūr. 1.12. skyrių). Tokiu atveju nagrinėjamąją sistemą ją nagrinėjusiųjų atžvilgiu taip pat bus galima laikyti priklausančią sudėtingųjų (bet dar ne supersudėtingųjų) sistemų klasei.

Turėdamas pakankamai daug laiko ir įvairiausių žinių, tokį vidinį modelį, kurio sukūrimui reikėtų organizuotų kolektyvinių pastangų, gali sukurti ir vienas asmuo, kuris pradžioje nesugebėjo gauti pakankamai adekvatų sistemos modelį iškart. Tuomet to asmens atžvilgiu nagrinėjamoji sistema gali būti laikoma **sudėtinga sistema prieš modelio sudarymą ir sudėtinga arba paprasta po jo sudarymo** priklausomai nuo to, sugeba ar nesugeba tas asmuo iškart aprėpti savo intelektu jau sudarytąjį modelį. Juk neretai atsitinka ir taip, kad žmogus, ilgą laiką kūręs sudėtingos sistemos vidinių dalių modelius, įrašydamas juos į kompiuterį ir jungdamas juos taip, kaip tos dalys jungiasi modeliuojamoje sistemoje, eksperimentuodamas su tuo modeliu ir koreguodamas jį, galų gale sukuria pakankamai adekvatų sistemos vidinį modelį, sugeba juo naudotis, pakankamai gerai prognozuodamas galimas sistemos reakcijas, tačiau pats jau nebesugeba aprėpti savo intelektu iškart viso per ilgą laiką sukurto savo kūrinio. Tokiu atveju **sistema, buvusi tam asmeniui sudėtinga iki modelio sudarymo, išlieka jam sudėtinga ir po jo sudarymo**. Tačiau dažnai atsitinka ir taip, kad **sistema, buvusi prieš tai sudėtinga, modelio sudarymo metu tampa paprasta: po modelio sudarymo ir jo užrašymo kompiuteryje ar popieriuje žmogus neretai sugeba prognozuoti sistemos elgesį ir be to savo sukurto modelio, vadovaudamasis koncepciniu sistemos modeliu, susidariusiu žmogaus galvoje**.

Sistemą, kurios modelio (išorinio ar vidinio) nepavyksta sudaryti per praktiškai priimtina laiką net pakankamai didelio ir pakankamai visapusiškai kompetentingo kolektyvo pastangomis, reikia laikyti šiuo metu **supersudėtinga**.

Suprantama, kad **ribos, skiriančios paprastas, sudėtingas ir supersudėtingas sistemas, taip jas apibrėžus, yra reliatyvios, priklausančios ir nuo tų asmenų bei jų kolektyvų, kurie tas sistemas nagrinėja, ir nuo laiko, kada tas nagrinėjimas vyksta.**

Laikui bėgant, riba, skirianti tas sistemų grupes, juda: daugumoje atvejų dalis sistemų, kurios buvo laikomos sudėtingomis, pereina į paprastųjų sistemų klasę, o dalis supersudėtingų sistemų – į sudėtingųjų sistemų klasę. **Tačiau visuomet ir visiems išlieka visos trys klasės, nes žmonija, pervesdama kai kurias supersudėtingas sistemas į sudėtingų ar net paprastų sistemų klases ir plėsdama pažinimo ribas, įtraukia į savo tyrimų sritį netgi daugiau supersudėtingų sistemų, negu suspėja jų pervesti į mažiau sudėtingų sistemų klases. Trumpai tariant, laikui bėgant ir plečiantis tyrimų horizontams, neišspręstų problemų aibė vis didėja** (žiūr. 35 pav.).

Todėl žmonija niekada nesugebės pasiekti tokios būsenos, kada nebeliks **informacinių barjerų**, atsirandančių dėl nagrinėjamų sistemų ir sprendžiamų problemų sudėtingumo.

Su **pirmuoju informaciniu barjeru** susiduriama tada, kada susiduriama su didele sudėtinga sistema S arba problema, kurią vieno žmogaus intelektas iškart jau nebepajėgus aprėpti. Pirmasis informacinis barjeras gali būti įveiktas, dekomponuojant didelę sudėtingą sistemą S į posistemius, sudėtingą problemą į paproblemes ir sukuriant **kolektyvinę hierarchinę sudėtingos problemos sprendimo sistemą R**. Tokios hierarchinės sistemos pavyzdžiu gali būti **daugiaėšalninė didelės įmonės valdymo sistema**. Sistema S šiuo atveju bus ta įmonė kartu su jos valdymo sistema R.

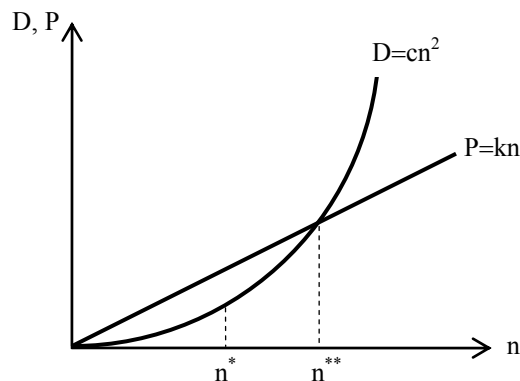
Antrasis informacinis barjeras atsiranda, didėjant valdymo personalo bei supersudėtingų sistemų tyrėjų ir supersudėtingų problemų sprendėjų skaičiui, t. y. didėjant sistemai R. Nuo tam tikro tų sprendėjų skaičiaus, tolimesnis jo didinimas tampa ne tik nebetikslingas, bet ir žalingas, nes bendras kolektyvinio darbo efektyvumas ne tik nustoja didėti, bet ir pradeda mažėti ir mažėja vis didėjančiu tempu. Tai galima paaiškinti nesudėtingais apytikriais paskaičiavimais, grubiai ir apytikriai vertinant efektyvųjį valdymo sistemos R sudėtingumą.

Nesunku paskaičiuoti, kad sistemoje, turinčioje n elementų, gali atsirasti iki $n(n-1) \approx n^2$ orientuotų (vienpusių) ryšių (arba $\frac{n(n-1)}{2} \approx \frac{n^2}{2}$ abipusių ryšių). Tai reiškia, jog augant sprendžiančiosios sistemos R (valdymo, projektavimo, tyrimo ir pan.) darbuotojų skaičiui n , jų galimų tarpusavio ryšių skaičius S_n gali augti apytikriai kvadratu (net truputį greičiau negu kvadratu). Žinoma, realiose sistemose ne būtinai visi galimi ryšiai realizuojasi. Tačiau, kai kolektyvas ir jo vadovai nėra pakankamai patyrę, sunku iš anksto atmesti nelabai svarbius bei nereikalingus ryšius, jų iš anksto neišnagrinėjus ir neįvertinus. Taigi, galima teigti, jog priklausomybė tarp sistemos R elementų skaičiaus n augimo ir nagrinėtinų ryšių skaičiaus S_n tarp jos darbuotojų augimo, sprendžiant sudėtingą problemą, apytikriai išlieka kvadratinė ir tuo atveju, kai ne visi galimi ryšiai atsiranda bei tampa svarbūs. Kitaip tariant, galima teigti, jog išaugus sistemos R darbuotojų skaičiui n dvigubai, jų tarpusavio bendravimo darbo imlumas $D \approx cS_n$ (kur $c = \text{const} > 0$ – proporcingumo koeficientas) padidėja apytikriai keturgubai.

Tuo tarpu sistemos R darbuotojų kolektyvo pajėgumas P atlikti darbą, didėjant darbuotojų skaičiui n , gali augti apytikriai tiesiškai, t. y. $P \approx kn$ (kur $k = \text{const} > 0$ – vieno

darbuotojo vidutinis darbo našumas). Gana dažnai dideliuose kolektyvuose dėl nepakankamai tobulo darbų organizavimo funkcija $P=f(n)$ auga net lėčiau negu tiesiškai ir išvestinė $\frac{dP}{dn}$, didėjant n , neišlieka pastovi, o mažėja.

Paprastumo dėlei priimsime, jog $D=cn^2$, o $P=kn$. Dydžius D ir P matuosime tais pačiais vienetais – padarytino bei galimo padaryti darbo per laiko vienetą kiekiais: dydį D – tuo darbo kiekiu, kurį turi padaryti sistemos R darbuotojai, bendraudami vienas su kitu priimant kokios nors sudėtingos problemos sprendinį; dydį P – tuo darbo kiekiu, kurį tie darbuotojai pajėgūs padaryti per tą patį laiko vienetą. Tuomet vieno ir to paties argumento n funkcijų D ir P grafikus galima pavaizduoti viename brėžinyje (žiūr. 36 pav.).



36 pav.

Pažymėję grafikų $D=cn^2$ ir $P=kn$ susikirtimo taško abscisę žymeniu n^{**} , o žymeniu n^* – tokią argumento reikšmę, kuriai esant, kreivės D liestinė tampa lygiagreči tiesei P , galima pastebėti:

1) taške $n=n^{**}$ visas sistemos R kolektyvo darbuotojų pajėgumas P bus išeikvotas tarpusavio bendravimui ir, jei mes dar padidintume darbuotojų skaičių, norėdami išspręsti sudėtingesnę problemą arba esamą problemą išspręsti greičiau, tai kolektyvo darbo pajėgumo P jau nebeužtektų net tarpusavio bendravimui; ir kuo labiau didintume darbuotojų skaičių n , tuo situacija dar labiau blogėtų, t. y. įvyktų tai, apie ką byloja garsusis „Piterio dėsnis“: „Jei tūkstantis klerkų nesusitvarko su juos užgriuvusiu darbu, tai, pridėję prie jų dar tūkstantis pirmąjį, situaciją tik pablogintume“;

2) darbuotojų skaičiaus n didinimas yra efektyvus tik iki $n=n^*$, nes tik intervale $0 < n < n^*$ gauname, jog $\frac{dP}{dn} > \frac{dD}{dn}$ t. y. kolektyvo pajėgumas P , didėjant darbuotojų skaičiui n , auga greičiau negu dėl to didėjanti darbų apimtis D ;

3) taške $n=n^*$ tie augimo tempai išsilygina, t. y. $\left(\frac{dP}{dn}\right)_{n^*} = \left(\frac{dD}{dn}\right)_{n^*}$, o toliau, kai $n > n^*$, kolektyvo darbo efektyvumas, augant darbuotojų skaičiui, ima mažėti, nes $\frac{dP}{dn} < \frac{dD}{dn}$, ir taške $n=n^{**}$ pasiekia tokį lygį, kad kolektyvas tampa nebepajėgus susitvarkyti su darbu; toliau didėjant n , sistema R turi žlugti, t. y. subyrėti.

Čia aprašytąjį reiškinį ir vadina antrojo informacinio barjero reiškiniu. Šis reiškinys paaiškina, kodėl didelėse firmose pradeda mažėti darbo efektyvumas; kodėl, laikui bėgant neišvengiamai subyra didžiulės imperijos, tapusios dėl savo didumo nebevaldomomis ir neefektyviomis; kodėl labai sudėtingų problemų

neįmanoma išspręsti, vien tik didinant tą problemą sprendžiančio kolektyvo darbuotojų skaičių, t. y. kodėl egzistuoja supersudėtingos sistemos.

Dydį $n=n^{**}$ ir sistemos R sudėtingumą $S_{n^{**}}=(n^{**})^2$, kada kolektyvas tampa nebepajėgus padaryti daugiau, didinant jo darbuotojų skaičių n , kaip tik ir vadina **antruoju informaciniu barjeru**. Iki jo sistema laikoma tik sudėtinga, o po to – supersudėtinga.

Kartais antruoju informaciniu barjeru vadina dydį $n=n^*$ ir sistemos R sudėtingumą $S_{n^*}=(n^*)^2$, kada pradeda pasireikšti antrojo informacinio barjero atsiradimo požymis, t. y. pradeda mažėti sistemos R darbuotojų veiklos efektyvumas, nes sistemos sudėtingumas ima augti greičiau negu sistemos pajėgumas spręsti išskylančias problemas. Todėl darbuotojų skaičiaus didinimas tampa neefektyvus ir net žalingas.

Ar galima įveikti antrąjį informacinį barjerą, su kuriuo susiduriame po to, kai, įveikdami pirmąjį informacinį barjerą ir pereidami nuo paprastų prie sudėtingų problemų sprendimo, susikuriame kolektyvinių sprendinių paieškai skirtą hierarchinę sistemą R ir, pereidami prie vis sudėtingesnių problemų, vis didiname ir didiname sistemos R darbuotojų skaičių?

Iš 36 pav. matyti, jog **pašalinti antrojo informacinio barjero atsiradimo reiškinių neįmanoma**, tačiau patį **antrąjį informacinį barjerą galima „stumti“ į dešinę, didinant darbuotojų individualų vidutinį darbo našumą k** , t. y. didinant tiesės $P=kn$ kampą su abscisių ašimi, nes kaip bus parodyta vėliau, $n^{**} \approx \frac{k}{c}$, $P_{n^{**}} \approx \frac{k^2}{c}$.

Didinant k , sistemos R ribinis pajėgumas didėja kvadratu, o atstumai nuo koordinatų pradžios iki taškų n^* ir n^{**} ilgėja proporcingai k .

Koeficiento k didėjimo galima pasiekti, intensyvinant darbuotojų darbo tempus, keliant darbuotojų kvalifikaciją ir jų darbo kultūrą, gerinant darbo sąlygas ir darbo organizavimą. Tačiau tokiam koeficiento k didinimui yra ribos, nes fizinis žmogaus pajėgumas nėra begalinis. Žymiai padidinti koeficientą k , artinant tiesę $P=kn$ prie vertikalios padėties ir „stumiant“ taškus n^* ir n^{**} vis toliau ir toliau į dešinę, **galima mechanizuojant ir kompiuterizuojant sistemos R kolektyvo darbą**.

Taigi, iš antrojo informacinio barjero reiškinių, sukuriančio judančią ribą tarp sudėtingų ir supersudėtingų problemų, išplaukia dar viena išvada: **automatizuotų sistemų kūrimas yra ne tik „laiko mada“, galinti duoti naudą, bet ir būtinybė, nes be tokių sistemų žmonija nepajėgs išspręsti nuolat išskylančių vis sudėtingesnių problemų**.

Taigi, neišvengiamai bus kuriamos įvairios automatizuotos sistemos, tame tarpe ir **„kolektyvinio proto“** sistemos, apie kurias kalbėsime 1.16. skyriuje.

Detaliau informacinius barjerus ir sudėtingumo problemą bei jos sprendimo būdus nagrinėsime antrojoje šios mokymo priemonės dalyje.

Skaitytojui gali kilti klausimas, kokios yra skaičių n^* ir n^{**} , charakterizuojančių antrąjį informacinį barjerą, apytikrės reikšmės.

Apytikrę skaičiaus n^{**} reikšmę galime apskaičiuoti pasinaudodami lygybe $P=S$, o skaičiaus n^* apytikrę reikšmę – lygybe $\frac{dP}{dn} = \frac{dS}{dn}$. Šios lygybės išplaukia iš 36 pav. ir jį lydinčių samprotavimų.

Kai $P \approx kn$ ir $S \approx cn^2$, tai gauname jog $n^{**} \approx \frac{k}{c}$, o $n^* \approx \frac{k}{2c}$. Žinoma, tai labai grubūs įverčiai, nes darbuotojų kolektyvo bendravimo sudėtingumo, sprendžiant problemą, ir to kolektyvo pajėgumo priklausomybės nuo kolektyvo narių skaičiaus tikrovėje yra žymiai sudėtingesnės. Ypatingai grubi ir apytikrė yra formulė $S \approx cn^2$, o koeficientas c toje formulėje, žinoma, nėra konstanta visoms problemoms ir visiems kolektyvams, nes priklauso ir nuo problemos charakterio, ir nuo darbuotojų kvalifikacijos, ir

nuo darbo organizavimo kolektyve. Todėl to koeficiento reikšmės nustatymas – irgi sudėtinga problema, kurią tektų kaskart spręsti individualiai.

Galima tik pasakyti, jog sudėtingų problemų sprendinių paieškos ir sudėtingų sistemų valdymo kolektyvams skaičiai n^* ir n^{**} gana dažnai yra nedideli.

Pavyzdžiui, kolektyviai ruošiant kokio nors sprendinio projektą bei tą sprendinį fiksuojantį bei išreiškiantį dokumentą, netikslinga kurti dideles grupes. Pakanka $3 \div 11$ specialistų (kai problema yra kompleksinė, reikalaujanti skirtingų specialistų dalyvavimo, grupė būna didesnė ir ją turėtų sudaryti $5 \div 11$ specialistų, o kai problema „homogeninė“ pakanka $3 \div 5$) ir, tik paruošus pirminį projekto variantą, tikslinga jį apsvastyti didesniame kolektyve, surenkant pastabas bei pasiūlymus. Po to pirminį projekto variantą (ar sudėtingos problemos sprendimo strateginį planą), atsižvelgiant į padarytas pastabas bei pateiktus pasiūlymus, tikslinga pakoreguoti toje pačioje nedidelėje pirminio varianto autorių grupėje (kartais pasitelkiant net ne visus autorius, o tik tuos, kurių kompetencijai priklauso numatomi projekto patobulinimai), po to jau galima tą projektą (ar planą) pateikti visam kolektyvui galutiniam svarstymui ir priėmimui. Šio svarstymo metu, kai problema sudėtinga ir ją sprendžiant taikoma hierarchinė jos dekompozicija, gali būti priimtas sprendimas organizuoti atskiras grupes žemesnio lygio dalinėms problemoms spręsti ir tokiu būdu palaipsniui didinti sprendžiančiųjų sudėtingą problemą darbuotojų kolektyvą, kaip tai aprašyta šių eilučių autoriaus paruoštoje metodinės priemonės [16] dvyliktajame skyriuje.

Pradėti kokio nors projekto kūrimą nuo svarstymo dideliame kolektyve tikslinga tik tada, kai kolektyvo ar projekto vadovams trūksta idėjų ar pradinės informacijos, reikalingų projekto pradinės koncepcijos sudarymui. Tuomet gali būti organizuota taip vadinamoji „proto ataka“ (žiūr. šios mokymo priemonės 1.16.3.2. skyrelį).

Žinomas vadybos specialistas V. Graičiūnas kartu su L. Arvilu 1933 m. yra įrodę, kad vienas sudėtingo projekto ar mokslinio darbo vadovas gali efektyviai vadovauti ne daugiau kaip 4-5 pavaldiniams (pavyzdžiui, vienas profesorius gali vadovauti ne daugiau kaip 4-5 doktorantų moksliniam darbui).

Įdomu, kad mokslinio darbo ir biurokratinės veiklos daugiametė praktika patikrintas ir patvirtintas intelektualaus darbo grupės optimalus dydis – $3 \div 11$ narių – yra artimas skaičiams „7“ ir „9“, kurie įvairių tautų tautosakoje reiškia sąvoką „pakankamai daug“. O skaičius „3“ įvairiose liaudies pasakose simbolizuoja minimalų iteracijų, reikalingų norimam rezultatui pasiekti, skaičių. Tai rodo, jog šiuolaikinė sudėtingų projektų kūrimo praktika neblogai koreliuoja su liaudies išmintimi, atėjusia iš gilių senovės ir praėjusia daugelio anksčiau gyvenusių kartų patikrinimą.

Reikia pažymėti, kad, taikant šiuolaikinę kompiuterinę techniką ir šiuolaikines informacines technologijas, informaciniai barjerai, skiriantys vieną sudėtingumo lygį nuo kito, žymiai pasistumia charakteristikų n^* ir n^{**} didėjimo link. Atsiranda ir nauji sudėtingumo barjerai, charakterizuojantys kompiuterinės technikos galimybes ir tų galimybių ribas. Apie tai pakalbėsime šio skyrelio pabaigoje, o dabar pažymėsiu, kad šiame skyrelyje jau aprašytas sistemų skirstymas į paprastas, sudėtingas ir labai sudėtingas, vadovaujantis kriterijais, pavadintais pirmuoju ir antruoju informaciniais barjeriais, nėra visuotinai priimtas ir vienintelis. Yra pasiūlyta nemažai kitų sistemų aibės klasifikavimo pagal sudėtingumo lygį būdų.

Pavyzdžiui, Niujorko valstijos universiteto sistemologijos fakulteto dekanas ir „International Journal of General Systems“ redaktorius profesorius Džordžas Kliras (George Klir) savo knygoje [80], išskiria taip pat tris sistemų sudėtingumo lygius, tačiau vadovaujasi šiek tiek kitais kriterijais, kurie man atrodo irgi gana natūraliai, nes atitinka šioje mokymo priemonėje jau minėtus sistemų matematinio modeliavimo evoliucijos etapus. Šiais kriterijais naudojasi ne vien tik profesorius Dž. Kliras. Jais dar anksčiau už Dž. Klirą naudojosi nemažai kitų mokslininkų, pavyzdžiui, W. R. Ešbi (W. R. Ashby), A. Rapoportas (A. Rapoport) ir kiti. Jie terminus „organizuotas paprastumas“, „neorganizuotas sudėtingumas“, „organizuotas sudėtingumas“ jau vartojo dar prieš kelias dešimtis metų. Jais tada naudojosi ir šių eilučių autorius savo preprinte [4] ir tebesinaudoja iki šiol.

Pirmajam sistemų sudėtingumo lygiui, pavadintu **paprastų organizuotų sistemų lygiu**, Dž. Kliras priskiria nedideles ir todėl nesudėtingas determinuotas sistemas, aprašomas **nedidelio skaičiaus kintamųjų algebrinėmis ir diferencialinėmis lygtimis bei jų sistemomis**.

Antrasis sistemų sudėtingumo lygis aprėpia dideles neorganizuotas sistemas, kurių aprašymui ir nagrinėjimui taikomi **tikimybių teorijos ir statistikos metodai**. Šis lygis buvo pavadintas **neorganizuoto sudėtingumo lygiu**.

Trečiasis sistemų sudėtingumo lygis vadinamas **organizuoto sudėtingumo lygiu**. Jam priskiriamos didelės sudėtingai organizuotos sistemos, kurių aprašymui ir nagrinėjimui nebepakanka nei klasikinės matematinės analizės, nei tikimybių teorijos bei matematinės statistikos metodų. Tokių sistemų modeliavimui ir jų funkcionavimo nagrinėjimui taikomi **kompiuterinio imitavimo ir kompiuterinio eksperimentavimo su tų sistemų modeliais metodai bei artutiniai sudėtingų lygčių**

sistemų analizės ir sprendimo metodai. Bandoma kurti bei taikyti ir naujus metodus, pavyzdžiui, jau ne kartą minėtąją „difuzinę matematiką“, kuri, kaip tikisi jos pradininkas L. A. Zadeh, operuodama tokiais negriežtai apibrėžtais objektais kaip „negriežtai apibrėžtos aibės“ („difuzinės aibės“), „lingvistiniai kintamieji“, „negriežtai apibrėžtos funkcijos“ bei taikydama „negriežtai apibrėžtus algoritmus“, galėtų būti taikoma ne tik sudėtingoms techninėms, fizikinėms, biologinėms ir ekonominėms sistemoms, bet ir sistemoms, kurias nagrinėja humanitariniai mokslai.

Lygindami šį – trečiąjį – sistemų sudėtingumo lygį su pirmaisiais dviem ką tik minėtais sudėtingumo lygiais, turime pripažinti, jog šio lygio sistemų tyrimui sukurta ir taikoma **instrumentinė bazė yra dar nepakankama. Jos plėtotė – vienas svarbių ir matematikos, ir sistemotyros uždavinių.** Spręsdami šį uždavinį, susiduriame su principiniais sunkumais, tame tarpe – ir su kompiuterinės technikos galimybių ribotumu. Apie tai šiame skyrelyje dar pakalbėsime šiek tiek vėliau.

Žinomas anglų kibernetikas Stafordas Biras savo knygoje [91] sistemas klasifikuoja panašiai, kaip ir mes šiame skyrelyje, išskirdamas paprastas, sudėtingas ir labai sudėtingas sistemas, tačiau įveda dar ir determinuotumo-nedeterminuotumo požymį. Todėl gauna jau ne tris, o šešias virtualias sistemų sudėtingumo klases, kurių vieną – labai sudėtingų determinuotų sistemų klasę – St. Biras laiko tuščia, nes, jo nuomone, sistema, kurią mes laikome determinuota, t. y. tokia, kurios funkcionavimą mes pajėgiame vienareikšmiškai ir patikimai prognozuoti, negali būti laikoma labai sudėtinga. Šioje St. Biro nuomonėje yra racijos, ir su ja galima sutikti.

Vadovaudamasis šia nuomone, St. Biras išskiria penkias netuščias sistemų sudėtingumo klases: 1) paprastų determinuotų, 2) sudėtingų determinuotų, 3) paprastų nedeterminuotų (paprastų stochastinių), 4) sudėtingų nedeterminuotų (sudėtingų stochastinių), 5) labai sudėtingų nedeterminuotų (labai sudėtingų stochastinių) sistemų klasę.

Nedeterminuotas sistemas St. Biras laiko stochastinėmis, neišskirdamas jų aibėje stochastinių ir neapibrėžtinių sistemų. Apie tai, jog neapibrėžtinių sistemų klasę nedeterminuotų sistemų aibėje išskiria ne visi autoriai, jau buvo rašyta 1.2. skyriuje.

Aiškių kriterijų, pagal kuriuos jis skirsto sistemas į paprastas, sudėtingas ir labai sudėtingas, St. Biras išreikštinėje formoje nepateikia, tačiau, skaitant knygos [91] tekstą, galima padaryti prielaidą, jog jis suriša sistemos sudėtingumo lygius su sistemos dydžio lygiais (**mažas, didelis, labai didelis**), vertindamos sistemos dydį sistemos elementų skaičiumi.

Toks sistemų klasifikavimo būdas nėra būdingas vien tik St. Birui. Anksčiau mes jau minėjome G. N. Povarovo klasifikaciją, kurioje naudojamosi panašiu kriterijumi. Juo naudojasi ir Dž. Kliras, klasifikuodamas, tiesa, ne pačias sistemas, o jų modelius, priklausančius pačiam žemiausiam epistemologiniam lygiui, taip vadinamas „išeities“ („pradines“) sistemas (žiūr. [80]).

Panašiais kriterijais naudojasi ir nemažai specialistų-praktikų.

Pavyzdžiui, gamybinių įmonių valdymo praktikoje dar sovietmečiu buvo laikoma, jog gamybos planavimo sistema yra paprasta, kai gaminamų gaminių nomenklatūrą sudaro ne daugiau nei 100 pavadinimų ir jų gamybą charakterizuojančių planuojamų rodiklių skaičius neviršija 10. Kai skirtingų gaminių skaičius viršija 10 000 ir planuojamų rodiklių skaičius viršija 100, tai gamybos planavimo sistema buvo laikoma labai sudėtinga. Sistemos, tarpinės tarp paprastų ir labai sudėtingų, buvo laikomos sudėtingomis.

Vertinant pramoninės įmonės apskaitos sistemos sudėtingumą, kriterijai buvo jau kitokie: apskaitos sistema buvo laikoma dar paprasta, kai įmonėje dirbo ne daugiau nei 1000 darbuotojų, įmonė gamino ne daugiau kaip 100 skirtingų gaminių, naudodama ne daugiau nei 100 rūšių medžiagų, komplektuojamų detalių ir kitų resursų.

Pateikti pavyzdžiai rodo, jog sistemos sudėtingumą, praktikų nuomone, lemia ne tik sistemos dydis, bet ir jos veiklos tipas: planavimas laikomas sudėtingesne veikla nei apskaita. Dar sudėtingesne veikla laikomas optimalus planavimas (žiūr. [4] ir šios mokymo priemonės 1.15 skyrių).

Determinuotumo-nedeterminuotumo požymio įvedimas į požymių, lemiančių sistemos sudėtingumą, sąrašą, St. Biro nuomone, turi prasmę todėl, kad determinuotų ir nedeterminuotų sistemų valdymo sudėtingumas principiai skiriasi, nes taikomi skirtingi valdymo „mechanizmai“. Apie tai mes jau kalbėjome 1.6.4.9. skyrelyje, todėl čia nebekartosiu. St. Biras teigia, jog **tik nedeterminuotų sudėtingų ir labai sudėtingų sistemų valdymą galima pavadinti tikrai kibernetiniu**, nes tokių sistemų valdymas jau nebeįmanomas be saviregulavimo „mechanizmų“, suteikiančių sistemai **homeostatiškumo savybę**. Su šia St. Biro nuomone sutinka ne visi kibernetikai, laikydami, kad St. Biras kibernetikos sąvoką traktuoja per siaurai, perdėm „biologiškai“. Tačiau daugelis St. Biro idėjų, išdėstytų šioje St. Biro knygoje, yra vertingos ir gali būti panaudotos, kuriant AVS sudėtingose ir labai sudėtingose nedeterminuotose sistemose.

Taikant sistemų analizėje bei jų valdyme kompiuterinę techniką, tenka susidurti su dar viena **sudėtingumo problemos forma – su algoritmu, juos realizuojančių kompiuterinių programų ir**

informacijos apdorojimo procesų sudėtingumu, neretai viršijančiu kompiuterinės technikos galimybes.

Kaip jau buvo rašyta 1.4.7. skyrelyje, uždavinius galima suskirstyti į tris klases: 1) uždavinius, kuriems **egzistuoja jų sprendimo algoritmai**; 2) uždavinius, kurių **sprendimo algoritmai neegzistuoja** (tai pavyko įrodyti, pavyzdžiui, naudojantis Tiuringo mašina); 3) uždavinius, kuriuos nagrinėjant, iki šiol dar **nepavyko įrodyti nei jų sprendimo algoritmų egzistavimo, nei neegzistavimo**.

Uždavinių priklausančių paskutinėms dviem klasėms dalinių bei artutinių sprendinių galime bandyti ieškoti tik kokiais nors nealgoritminiais (pavyzdžiui, euristiniais) metodais ir tik esant konkrečioms jų parametrų reikšmėms, neturint jokių išankstinių garantijų, pavyks ar nepavyks rasti kokių nors dalinių konkretų to uždavinio tikslų ar artutinį sprendinį. Tokių uždavinių mes čia dabar nenagrinėsime. **Nagrinėsime tik pirmosios klasės uždavinius.**

Ne visi tos klasės uždaviniai gali būti išspręsti net pasitelkus galingą šiuolaikinę kompiuterinę techniką. Nemaža dalis uždavinių reikalauja tokių didelių kiekių informacijos apdorojimo, kurių apdoroti niekada nepajėgs joks kompiuteris.

Dar 1962 m. H. Bremermanas (H. J. Bremermann) savo straipsnyje [92] paskelbė, jog neegzistuoja ir negali egzistuoti tokia dirbtina ar natūrali duomenų apdorojimo sistema, kuri galėtų apdoroti per vieną sekundę informacijos kiekį, didesnę už $2 \cdot 10^{47}$ bitų vienam savo masės gramui.

Šį rezultatą H. Bremermanas gavo pasinaudodamas Einšteino formule $E=mc^2$ ir iš Heizenbergo suformuluoto neapibrėžtumo principo išplaukiančia formule $\Delta E \cdot \Delta t \geq h$. Šiose formulėse m žymi masę, c – šviesos sklaidimo vakuume greitį ($c \approx 300\,000\text{ km/s} = 3 \cdot 10^{10}\text{ cm/s}$), E – pilnąją masės m energiją, kuri galėtų būti gauta visos medžiagos, turinčios masę m , anihiliacijos (išmedžiagėjimo) metu, h – Planko konstanta ($h \approx 6,626 \cdot 10^{-34}\text{ J}\cdot\text{s} = 6,626 \cdot 10^{-27}\text{ g}\cdot\text{cm}^2/\text{s}$), ΔE – energijos, kurią turi mikrodalelė, dydžio matavimo paklaidos žemutinė riba, kai matavimas trunka Δt laiko vienetų.

Paaškinsiu, kaip iš čia ką tik pateiktų formulių H. Bremermanas gavo aukščiau minėtąjį rezultatą.

Kadangi energijos dydžio matavimo paklaida negali būti mažesnė už ΔE , tai mes, turėdami E vienetų energijos, negalime joje išskirti daugiau nei $N = \frac{E}{\Delta E}$ matavimo metu galimų atskirti vienas nuo

kito energetinių lygių, kuriais galima būtų pasinaudoti koduojant informaciją ir ją perduodant informaciniais kanalais bei ją apdorojant kompiuteriais. Vadinas, turėdami E vienetų energijos ir naudodami dvejetainį kodavimą, mes galėtume užkoduoti bei perduoti informaciniais kanalais skaičių, turintį ne daugiau kaip N dvejetainių ženklų, t. y. ne daugiau kaip N bitų informacijos.

Pasinaudodami šia išvada, įvertinsime, kiek bitų informacijos mes galėtume persiųsti per vieną sekundę, turėdami vieną gramą medžiagos ir paversdami visą tą medžiagą energija. Aišku, jog tas

informacijos kiekis negalėtų viršyti $\frac{N}{m \cdot \Delta t} \equiv \frac{E}{m \cdot \Delta E \cdot \Delta t} \equiv \frac{m \cdot c^2}{m \cdot \Delta E \cdot \Delta t} \equiv \frac{c^2}{\Delta E \cdot \Delta t} \leq \frac{c^2}{h}$ bitų vienam gramui į sekundę.

Apskaičiuosime šios trupmenos reikšmę:

$$\frac{c^2}{h} \approx \frac{(3 \cdot 10^{10})^2 \text{ cm}^2/\text{s}^2}{6,626 \cdot 10^{-27} \text{ g}\cdot\text{cm}^2/\text{s}} \approx 1,36 \cdot 10^{47} \text{ g}^{-1} \cdot \text{s}^{-1} < 2 \cdot 10^{47} \frac{\text{bitų}}{\text{g}\cdot\text{s}}.$$

Tai ir yra tas rezultatas, kurį gavo H. Bremermanas.

Suprantama, jog ši viršutinė riba yra praktiškai nepasiekiamo dėl dviejų priežasčių. Pirmoji priežastis: niekada nepavyks visą medžiagą panaudoti informacijos kodavimui ir perdavimui be jokių energetinių nuostolių. Tai išplaukia iš mūsų jau minėtojo antrojo termodinamikos dėsnio (žiūr. 1.6.4.1. skyrelį). Antroji priežastis: norėdami užtikrinti informacijos nuskaitymo pakankamą patikimumą, privalėtume energetinius lygius, skirtus informacijos kodavimui, pasirinkti taip, kad skirtumai būtų žymiai didesni už galimas jų dydžių matavimo paklaidas. Todėl tokių lygių, kuriuos būtų galima panaudoti informacijos kodavimui, turint E vienetų energijos, skaičius N taptų žymiai mažesnis už tą, kurį apskaičiavo Bremermanas.

Dėl abiejų priežasčių viršutinė technikos galimybių riba taptų net kelis kartus mažesnė už Bremermano gautąjį skaičių $1,36 \cdot 10^{47}$ bitų į sekundę vienam gramui.

Tęsdamas skaičiavimus H. Bremermanas pabandė įvertinti, kiek informacijos būtų galima apdoroti per visą mūsų planetos egzistavimo laiką, kurį jis priėmė esantį lygų 10^{10} metų, reikalingos energijos gavybai sunaudojus visą mūsų planetos medžiagą, kurios masė m apytiksliai lygi $5,97 \cdot 10^{27}\text{ g}$. Kadangi 10^{10} metų $\approx 10^{10} \cdot 365,25 \cdot 24 \cdot 3600\text{ sek} \approx 3,16 \cdot 10^{17}$ sekundžių, tai gauname, jog per visą šią laiką apdorotos informacijos kiekis negalėtų viršyti skaičiaus $1,36 \cdot 10^{47}$ bitų/g·sek $\cdot 5,97 \cdot 10^{27}\text{ g} \cdot 3,16 \cdot 10^{17}\text{ sek} \approx 2,57 \cdot 10^{92}$ bitų $< 10^{93}$ bitų informacijos. Šis skaičius dabar vadinamas **Bremermano riba**, o uždaviniai,

kurių sprendimui reikėtų apdoroti informacijos kiekį, viršijantį šią ribą – **niekada neišsprendžiamais uždaviniais (absoliučiai neišsprendžiamais uždaviniais) arba transuždaviniais.**

Tokių uždavinių ne taip jau mažai. Su tokiais uždaviniais ypatingai dažnai susiduriame sprendami **kombinatorikos** problemą sistemoms, turinčioms daug elementų, galinčių būti keliose ar keliolikoje skirtingų būsenų. **Kombinatoriniai skaičiai**, didėjant elementų skaičiui n ir būsenų skaičiui k , auga labai sparčiai, ir gana greitai tampa didesni už **astronominius skaičius**, charakterizuojančius mūsų Visatą.

Pavyzdžiui, klasikinės matematinės logikos teiginių algebros funkcijų, priklausančių nuo n argumentų, tų argumentų reikšmių skirtingų rinkinių skaičius lygus 2^n , pačių skirtingų funkcijų skaičius lygus 2^{2^n} . Kai n lygus 1, tai tokių funkcijų yra tik 4, kai $n=2$, tai 16, kai $n=3$, tai – 256, kai $n=4$, tai – $256^2=65536$, kai $n=5$, tai – $65536^2=4294967296$ ir t. t. Dar sparčiau auga tokių funkcijų skaičius daugiareikšmėse logikose, kuriose galimų loginių reikšmių skaičius $k>2$. Tuomet skirtingų loginių funkcijų skaičius būtų lygus k^{k^n} .

Pavyzdžiui, trireikšmėje logikoje, turinčioje vidinio ir išorinio neigimo operacijas, apie kurią ir kurias jau kalbėjome 1.5. skyriuje, vieno argumento ($n=1$) skirtingų loginių funkcijų yra jau $3^3=27$, dviejų argumentų – $3^9=19683$, trijų argumentų – $3^{27}\approx 7,6\cdot 10^{12}$, keturių argumentų – $3^{81}\approx 4,4\cdot 10^{38}$, penkių argumentų – $3^{243}\approx 8,7\cdot 10^{115}$ ir t. t.

Kaip matome, kai $k=3$ ir $n=5$, skirtingų loginių funkcijų skaičius jau viršija Bremermano ribą. Jei reikėtų visas tas funkcijas perrinkti, joks kompiuteris to padaryti niekada nepajėgtų, nors tokių funkcijų skaičius ir yra baigtinis.

Dar sparčiau auga skirtingų loginių funkcijų skaičius logikoje, kurioje loginiai kintamieji gali turėti keturias reikšmes. Jei pažymėtume skirtingų loginių funkcijų skaičių, priklausančių nuo n ir k , žymeniu $r(n,k)$, tai $r(1,4)=4^4=256$, $r(2,4)=4^{16}=4294967296$, $r(3,4)=4^{64}\approx 3,4\cdot 10^{38}$, $r(4,4)=4^{256}\approx 1,34\cdot 10^{154}$ ir t. t.

Uždavinių, kuriuos sprendžiant tektų apdoroti informacijos kiekius, viršijančius Bremermano ribą, pasitaiko ir analizuojant bei konstruojant universalias **vaizdų atpažinimo sistemas**, ir testuojant **integralines mikroschemas**, naudojamas elektroninės aparatūros (kompiuterių, televizorių, mobiliųjų telefonų ir t. t.) gamyboje, ir analizuojant bei konstruojant **kriptografinės sistemas**, sprendžiant kitus **kriptografijos** uždavinius (žiūr. [93, 94]), ir ieškant **optimalių Hamiltono ciklų** (žiūr. šios mokymo priemonės 1.9.2.15. skyrelį).

Norint rasti nors apytikslus tokių superuždavinių (transuždavinių) sprendinius, tenka tuos uždavinius performuluoti, pakeičiant jų sąlygas, primant papildomas prielaidas bei atsisakant kai kurių reikalavimų (optimalumo, didelio tikslumo ir pan.), papildyti matematinių sprendimo metodų arsenalą **euristinėmis taisyklėmis, ekspertiniais įverčiais** bei kitomis negriežtomis priemonėmis, negarantuojančiomis, kad reikiamas sprendinys tikrai bus surastas, tačiau leidžiančiomis tikėtis, kad gali pavykti gauti bent jau **patenkinamą sprendinį**.

Su tokių negriežtų metodų taikymo pavyzdžiu, sprendžiant superuždavinį, skaitytojas gali susipažinti jau minėtame 1.9.2.15. skyrelyje, o su ekspertiniais įverčiais – 1.16.3. skyrelyje.

Reikia pripažinti, jog **šiulaukinis mokslas dar pilnai neįvertino žmogaus euristinių galimybių, o mes dar neišmokome pakankamai efektyviai jomis naudotis**. Juk žmogaus smegenų sudėtyje yra apie $10^{13}\div 10^{19}$ neuronų. Jeigu priiimtume, kad neuronas gali turėti tik dvi būsenas – sužadintąją ir ramybės būsenas (iš tikrųjų neuronas yra žymiai sudėtingesnis), net ir tuomet gautume,

jog žmogaus smegenys gali turėti $2^{2^n} \approx \left(2^{2^{10^{13}}} \div 2^{2^{10^{19}}} \right)$ skirtingų būsenų. Tai – neišsivaizduojamo

dydžio skaičiai, neišsivaizduojamai daug kartų didesni už skaičius, kuriais operavo Bremermanas, apskaičiuodamas savo ribą. Sunku paaiškinti, kam žmogaus smegenims reikalinga tiek daug neuronų. Galbūt tam, kad būtų užtikrintas smegenų sistemos veikimo patikimumas? Gali būti, kad mūsų smegenyse, priimant loginius sprendimus, taikoma **mažoritarinė logika** ir sprendimai priimami neuronams „balsuojant“ bei taikant „balsų daugumos“ **principą**. Aišku tik viena, kad mūsų smegenys- neišsivaizduojamai sudėtinga ir neišsivaizduojamai galinga sistema, kurią reikėtų vertinti žymiai daugiau ir kuria reikėtų naudotis žymiai išmintingiau, negu tai daroma dabar, kai dideli pinigai vertinami labiau už žmogaus gyvybę. O kiek gyvybių prarandame nepaliaujamuose karuose? Matyt, visuomenė kol kas organizuota žymiai prasčiau nei žmogaus smegenys: žmogus kraustosi iš proto žymiai rečiau, negu kai kurios žmonių sukurtos organizacijos, turinčios ne tik teroristinių grupuočių bei sektų, bet ir valstybių pavadinimus.

Grįžtant prie supersudėtingų uždavinių sprendimo temos, reikėtų pasakyti, kad, ieškant jų sprendimo būdų, ypatingą vaidmenį vaidina žmogaus **intuicija bei euristinės žmogaus galimybės**, o sudėtingų uždavinių **praktinio išsprendžiamumo riba**, taikant matematinius metodus ir kompiuterines

programas, dėl jau anksčiau aptartų dviejų priežasčių, o taip pat todėl, kad mes negalime mums išskylančių uždavinių sprendimui skirti nei tiek laiko, nei resursų (visos mūsų planetoje esančios medžiagos), yra nepalyginamai mažesnė už Bremermano ribą.

Pagal tai, kaip didėja kompiuterinio laiko sąnaudos reikalingos uždavinio sprendinio radimui, didėjant uždavinio kintamųjų skaičiui n , uždaviniai skirstomi į polinominius ir eksponentinius.

Polinominiais (polinomiškai didėjančio laiko) uždaviniais vadinami uždaviniai, kurių sprendimo laikas yra polinominė kintamųjų skaičiaus n funkcija $f(n)$, tenkinanti sąlygą, jog egzistuoja tokia konstanta $c > 0$, kad visoms n reikšmėms, tenkinančioms pradinę sąlygą $n \geq n_0$, galioja nelygybė $f(n) \leq cn^k$, kur k – teigiamas sveikasis skaičius – polinomo laipsnis, nusakantis polinomo sudėtingumą $O(n^k)$.

Eksponentiniais (eksponentiškai didėjančio laiko) uždaviniais vadinami uždaviniai, kurių sudėtingumas, esant pakankamai didelėms n reikšmėms, tampa didesnis už $O(n^k)$ esant bet kuriai parametro reikšmei, nes tokių uždavinių sprendimui reikalinga laiko sąnaudos auga eksponentiškai. Juk nesunku įsitikinti, kad kiekvienai $k \geq 2$ reikšmei visada galima rasti tokią n reikšmę n_k^* , jog visoms n reikšmėms, tenkinančioms sąlygą $n > n_k^*$, galios nelygybė $k^n > n^k$ ir ta nelygybė labai sparčiai stiprės didėjant n . Knygoje [80] pateiktos lentelės 6.1. ir 6.2. patvirtinančios šį teiginį ir vaizduojančios, kaip didėja laiko sąnaudos, didėjant n ir k . Ten pateikti ir atitinkami grafikai. Skaitytojas ir pats gali įsitikinti čia išsakytą teiginių teisingumu, panagrinėjęs labai paprastą atvejį $k=2$ ir palyginęs 2^n ir n^2 reikšmes, didėjant n .

Algoritmai, kuriuos taikant, uždavinio sprendimo laikas, didėjant kintamųjų skaičiui n , auga negreičiau kaip polinomiškai, vadinami **efektyviais**, nes, taikant tokius algoritmus, uždaviniai gali būti išspręsti, naudojant kompiuterinę techniką, dabar ar ateityje.

Algoritmai, kuriuos taikant, uždavinio sprendimo laikas, didėjant n , didėja eksponentiškai, vadinami **neefektyviais**, nes taikant tokius algoritmus, galima išspręsti tik uždavinius, turinčius labai nedidelį kintamųjų skaičių n . Šiek tiek didesnes n reikšmes turintys uždaviniai, taikant neefektyvius algoritmus, yra neišsprendžiami dėl labai išaugusių sprendimui reikalingo laiko sąnaudų.

Galima įrodyti, kad efektyvūs algoritmai išlieka efektyviais, o neefektyvūs – neefektyviais, nepriklausomai nuo kompiuterinės technikos ir jos programinės įrangos tipo bei lygio, nors, žinoma, praktinis uždavinio sprendimo laikas priklauso nuo to, kokiais kompiuteriais ir kokia programine įranga naudojama.

Taip pat galima įrodyti, jog jei algoritmas yra efektyvus reikalingo kompiuterinio laiko (pavyzdžiui, laiko, reikalingo determinuotai Tiūringo mašinai uždaviniui išspręsti, naudojantis šiuo algoritmu) atžvilgiu, tai jis yra efektyvus ir reikalingas atminties atžvilgiu, t. y. galima įrodyti, kad tokiais atvejais, didėjant n reikalingos atminties apimtys didėja ne greičiau kaip polinomiškai. Rekomenduočiau skaitytojui pačiam surasti šio teiginio įrodymą: jis elementarus.

O štai atvirkštinis teiginys ne visada teisingas: egzistuoja uždaviniai, kurių sprendimui reikalingos atminties apimtys, didėjant n , didėja ne greičiau negu polinomiškai, o sprendimui reikalingo laiko sąnaudos auga greičiau negu polinomiškai. Nesunku suvokti, kodėl taip gali atsitikti.

Todėl, sprendžiant apie algoritmų teorinį efektyvumą ar neefektyvumą, **pakanka vadovautis uždavinio sprendimo laiko požymiu ir kriterijum.** Nors praktiškai, žinoma, abu kriterijai – laiko ir atminties apimtys – yra labai svarbūs. Praktinį uždavinio neišsprendžiamumą gali sąlygoti tiek laiko, tiek kompiuterio atminties stoka.

Uždaviniai, kurie, **naudojantis determinuota Tiūringo mašina**, gali būti išspręsti per laiką, augantį, didėjant n , ne greičiau negu polinomiškai, vadinami **P – uždaviniais**, o jų sprendimo algoritmai – **P-algoritmais**. Tokių uždavinių aibė vadinama **P klase**.

Uždaviniai, kuriems **nedeterminuota Tiūringo mašina** per ne greičiau kaip polinomiškai augantį laiką **gali patikrinti**, ar pasiūlytas to uždavinio sprendimas tikrai yra teisingas, vadinami **NP-uždaviniais (nedeterminuotais polinominiais uždaviniais)**. Tokių uždavinių aibė vadinama **NP klase**.

Savaime suprantama, jog **NP klasė aprėpia klasę P**, nes uždavinio, kurį determinuota Tiūringo mašina gali išspręsti per polinomiškai augantį laiką, sprendinį nedeterminuota Tiūringo mašina gali patikrinti irgi ne vėliau kaip per polinomiškai augantį laiką. Tačiau **iki šiol neįrodyta, kad klasė NP yra tikrai didesnė už klasę P, kaip neįrodyta ir tai, kad klasė NP sutampa su klase P**. Šią iki šiol neišspręstą problemą vadina **problema NP=P?** Apie ją mes jau buvome užsiminę 1.5.4. skyrelyje, patekdami teiginių, kurių loginė reikšmė gali turėti daugiau negu dvi konkrečias reikšmes, pavyzdžius.

Yra įrodyta, jog kiekvienas NP-uždavinys gali būti išspręstas naudojantis determinuota Tiūringo mašina, taikant algoritmą, kurio sudėtingumas yra $O(2^{P(n)})$, t. y. auga eksponentiškai su laipsnio rodikliu $p(n)$, esančiu argumentu n polinominė funkcija.

Nors kai kurie matematikai laikosi nuomonės, jog klasė NP yra didesnė už klasę P, tačiau iki šiol dar nepavyko rasti ar sukonstruoti tokio NP-uždavinio, kurio neišsprendžiamumą per polinomiškai augantį laiką naudojantis determinuota Tiūringo mašina, būtų galima įrodyti. Neįrodytas ir priešingo teiginio $NP=P$ teisingumas.

Klėsaus matematikos instituto paskelbtame neišspėstų, bet spėstinių svarbių matematinių problemų sąrašė tarp septynių tame sąrašė išvardintų problemų, kurių tarpe yra ir **penktoji B. Rymano (B. Riemann) hipotezė** (keturios pirmosios hipotezės buvo įrodytos XIX a., o penktoji, teigianti, jog

kompleksinio argumento $s=\delta+it$ funkcijos $\zeta(s)=\sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^s}$, vadinamos **dzeta-funkcija**, netrivialūs

nuliai, matyt, priklauso tiesei $\delta=\frac{1}{2}$, vis dar neįrodyta iki šiol), **problema $NP=P$? užima prestižinę**

pirmąją vietą.

Už bet kurios šių problemų išsprendimą yra pažadėta vieno milijono JAV dolerių premija ir, žinoma, atitinkamas pagerbimas, kurį galima laikyti savotišku Nobelio premijos analogu, kadangi Nobelio premija už matematinius darbus neskiriama (tokia buvo paties A. Nobelio, savo testamente skyrusio penkias kasmetines premijas, valia).

Baigdamas šį skyrelį, noriu atkreipti skaitytojo dėmesį į tai, jog šio skyrelio tikslas buvo ne tik pateikti informaciją apie sistemų klasifikavimą į paprastas, sudėtingas ir labai sudėtingas, bei apie pirmąjį ir antrąjį informacinius barjerus, bet ir parodyti **sudėtingumo problemas**, apie kurią buvo kalbėta jau šios mokymo priemonės „Įvade“ (žiūr. 0.2.1. skyrelį) „daugiabriauniškumą“ bei aktualumą.

Sudėtingumo problemos aktualumas, susidūrus su didelių organizuotų kompleksinių sistemų sudėtingumu, ateityje vis didės. Didės ir sudėtingų neišspėstų problemų skaičius. Todėl didės ir sugebančiųjų tokias problemas spręsti poreikis.

1.6.4.14. Tradicinė (dalykinė) sistemų klasifikacija

Sistemas (ypač pirmojo tipo sistemas) galima ir naudinga klasifikuoti ir naudojantis tais požymiais, kuriais naudodamiesi pasaulį ir jame vykstančius procesus pasidalino **tradiciniai mokslai**, o mokyklose – **tradiciniai mokomieji dalykai**: fizika, chemija, botanika, zoologija, geografija, istorija ir pan. Juk toks padalinimas ir klasifikavimas neatsirado šiaip sau, nebuvo „iš piršto laužtas“, o turėjo ir turi objektyvų pagrindą.

Tą pagrindą galime surasti, panagrinę pirmojo tipo sistemos formalųjį apibrėžimą $\langle : \rangle$ pirmojo tipo sistema $\Leftrightarrow \langle a \langle ; A \rangle \rangle t$, iš kurio išplaukia, jog pirmojo tipo sistemas galima klasifikuoti **pagal tai, iš kokių elementų A_i , turinčių tuos elementus identifikuojančias individualias savybes, sistema yra sudaryta, taip pat pagal tai, kokiais santykiais a_{ij} tie elementai sujungti į sistemai būdingą struktūrą, o taip pat pagal tai, kokios sisteminės savybės t , tokio sujungimo dėka sistemoje atsirado**, kur ir kaip jomis galima pasinaudoti.

Kadangi patys elementai A_i , priklausantys aibėms A , yra sistemos, turinčios joms būdingas savybes, kurios padeda tas sistemas – elementus A_i – atskirti vienus nuo kitų, tai tuos elementus A_i , atsižvelgiant į jų specifines savybes, galima ne tik atskirti vienus nuo kitų, bet ir jungti į grupes pagal tose savybėse pastebimą bendrumą, nes tai supaprastina ir palengvina tų elementų – sistemų A_i – nagrinėjimą, suklasifikuoja juos į klases, kurias nagrinėja tradiciniai mokslai.

Pavyzdžiui, žmonės jau labai seniai pastebėjo, kad vieni objektai yra gyvi, o kiti negyvi, ir kad gyvųjų ir negyvųjų objektų individualios savybės stipriai skiriasi, o kiekvienoje iš šių dviejų aibių elementai turi daug bendrų bruožų. Buvo taip pat pastebėta, kad reiškiniai, būdingi negyviems objektams, gali būti būdingi ir gyviesiems objektams bei kad gyviesiems objektams būdinga daug savybių, kurių neturi negyvieji objektai. Taip pradėjo formuotis atskiri mokslai apie gyvąją ir negyvąją gamtą, kurie palyginti gana greitai pagal tą patį principą diferencijavosi į botaniką, zoologiją, mechaniką, chemiją, optiką, atominę fiziką ir t. t. Ši mokslų diferenciacija pagal elementų A_i savybes ir

pagal pirmojo tipo sistemų sisteminės savybes t. t. besitęsė iki šių dienų, o elementų ir sistemų klasifikavimas pagal jų individualias savybes atvedė žmones ir prie antrojo tipo sistemų kūrimo idėjos bei jos realizavimo, kuriant tokias sistemas.

Tai nuo mokyklos metų visiems žinomi dalykai, todėl sistemos tyros kurse apie juos nebeprasakosiu, tačiau **dabar egzistuojančių tradicinių mokslų pasiekimais ir pirmojo bei antrojo tipo sistemų konstravimo rezultatais šiame kurse (ir sistemos tyros moksle) pastoviai naudosimės.**

Atkreipsiu dėmesį tik į tai, jog XX a. jau susiformavusioje **tradicinių mokslų sistemoje kartu su besitęsiančia mokslų diferenciacija ir vis siaurėjančia mokslininkų specializacija prasidėjo ir atvirkštiniai procesai.** Pradžioje šie procesai pasireiškė atsiradimu taip vadinamųjų **hibridinių mokslų**, siekiančių pasinaudoti kelių tradicinių specialiųjų mokslų pasiekimais ir, užpildžius kai kurias spragas, egzistavusias tarp atskirų tradicinių mokslų, gauti tokių naujų rezultatų, kurių nebuvo įmanoma gauti, pasiliekančią atskirų tradicinių mokslų rėmuose.

Hibridinių mokslų formavimasis dar labiau suintensyvėjo, kai paaiškėjo, jog **egzistuoja dėsningumai, kurie yra bendri didelėms grupėms reiškinių**, kuriuos nagrinėja atskiri tradiciniai mokslai (tokių reiškinių pavyzdžiai gali būti svyravimai, vykstantys įvairiose terpėse, valdymo procesai, vykstantys įvairios prigimtės sistemose, įvairių sistemų struktūrų izomorfizmai ir t. t.), **ir net visiems reiškiniams, visoms sistemoms ir mokslams.**

Taip atsirado **kibernetika ir sistemos tyra**, susiformavo sisteminės analizės metodai, sisteminė modeliavimo ir projektavimo metodologija, sintezavusi atskirai egzistavusias objektinę, funkcinę, terminalinę, teleologinę, ir kitas metodologijas, labai praturtėjo sudėtingų automatinų ir automatizuotų valdymo sistemų ir sudėtingų integruotų kompleksinių sistemų automatizuotos analizės ir automatizuoto projektavimo praktika, pradėjo vystytis dirbtinio intelekto ir ekspertinės „kolektyvinio proto“ sistemos, formuotis žinių visuomenė, intensyviai naudojantis besijungiančia į globalius ir lokalius tinklus informacinę techniką bei naujomis sparčiai tobulėjančiomis ir plintančiomis į vis naujas sritis informacinėmis technologijomis.

Pradeda aiškėti, jog **dabar egzistuojanti tradicinė mokslų ir specialybių diferenciacija ir klasifikacija nėra vienintelė galima.** Juk galima nagrinėti ir klasifikuoti ne tik elementus A_i , iš kurių sudarytos sistemos, ne tik tų elementų individualias ir pačių sistemų savybes, **bet ir tuos santykius a_{ij} , kuriems susidarius ir kuriuos sudarius, sujungus elementus A_i į pirmojo tipo sistemų struktūras, atsiranda pirmojo tipo sistemos su savo sisteminėmis savybėmis t, taip pat tuos santykius, kuriuos suradus elementų A_i savybėse, galima kurti antrojo tipo sistemas.** Kitaip tariant, mokslų sistemoje galima įvesti „antrąjį matavimą“.

Mokslai, susikūrę tuo principu, t. y. **nagrinėjantys ne sistemų elementus ir jų individualias savybes, o santykius, egzistuojančius tarp tų elementų ir jų savybių, sistemų struktūras bei tų struktūrų elementų struktūrines savybes**, egzistuoja jau nuo senų senovės, o kai kurie – formuojasi tik dabar. **Mes kartais stebimės tų mokslų universalumu, tačiau matyti, dar ne visada ir ne visi suprantame tikrąsias to universalumo atsiradimo priežastis, dar nematome jau egzistuojančio „antrojo matavimo“ mokslų sistemoje.**

Pats žinomiausias tokių mokslų grupės atstovas yra matematika. Juk matematika nenagrinėja tų elementų, su kuriais ji operuoja ir kuriuos žymi matematinės kalbos simboliais, individualių „fizinų“ savybių. Jai visiškai nesvarbu, kam „fiziškai“ priklauso ar galėtų priklausyti, ką charakterizuoja ar galėtų charakterizuoti tie skaičiai bei tos „raidės“, t. y. tie simboliai, kuriais, kaip matematinių operacijų operandais, operuoja matematika, atlikdama su jais matematines operacijas, jungdama juos operacijų bei santykių ženklais į matematines formules, konstruodama

algoritmus, formalizuotomis kalbomis aprašančius tas standartinių matematinių operacijų sekas, kurių atlikimas nurodyta tvarka vestų mus prie siekiamų bei ieškomų rezultatų gavimo. **Matematika nesidomi elementais A_i bei jų individualiomis savybėmis, nes matematikai tos savybės lyg ir neegzistuoja, ji domisi tik santykiais tarp elementų A_i , jų struktūrinėmis savybėmis bei santykiais tarp struktūrinių savybių.** Kitaip tariant, **matematika, nagrinėdama sistemas, nagrinėja ne jų elementus, ne jų individualias savybes, o tų sistemų struktūras ir tas struktūrines savybes, kurios atsiranda bei gali atsirasti ir charakterizuoja bei gali charakterizuoti sistemos elementus kaip jos struktūros elementus bei pačią sistemą kaip struktūrą.**

Kadangi tie dėsningumai, kuriuos nustato ir kuriais naudojasi matematika, visiškai nepriklauso nuo sistemų elementų A_i individualių savybių, tai **matematiniai dėsningumai galioja visose sistemos: nesvarbu iš kokios prigimties elementų tos sistemos yra sudarytos, svarbu tik tai, kad tose sistemose egzistuoja tie santykiai, kuriuos sugeba aprašyti ir nagrinėja matematika.**

Štai iš kur tas matematikos universalumas, kuriuo kartais kai kas taip stebisi!

Mano nuomone, čia ką tik išsakytos mintys, išplaukiančios iš matematikos mokslo kaip sistemos sisteminės analizės, pilniau, giliau ir tiksliau atskleidžia matematikos esmę, negu plačiai paplitęs matematikos „apibrėžimas“ kaip mokslo apie kiekybę bei kiekybinius santykius.

Šis „apibrėžimas“ yra per siauras ir ne visai tikslus: taip, matematika nagrinėja kiekybinius santykius, ir tai yra vienas iš būdingiausių matematikai bruožų, nes ji stengiasi, kur tik įmanoma, bet kokius santykius išreikšti kiekybiškai, tačiau **šiulaikinė matematika vien tik kiekybėmis ir kiekybiniais santykiais neapsiriboja, nes matematika ne tik aritmetika**, o bet to – kiekybinius santykius, atsirandančius tarp „fizinių“ objektų individualių savybių, nagrinėja ne tik matematika, bet ir daugelis tradicinių mokslų, nagrinėjančių „fizinius“ objektus ir iš jų sudarytas sistemas, tų sistemų sudėtį ir savybes.

Tam pačiam mokslų tipui, kuriam priklauso matematika, priskirčiau ir sistematyrą, bent jau didžiąją dalį šio dar besiformuojančio ir dar pakankamai nesusiformavusio mokslo galimų variantų. Kai kuriuos iš tokių variantų mes trumpai apžvelgsime tolesniuose šio skyriaus skyreliuose, o vėliau – ir kituose šio įvadinio į sistematyrą kurso skyriuose.

Dėl sistematyros (ypač – matematinės sistematyros) giminingumo matematikai ateityje galima laukti šių mokslų susiliejo, savotiškos sintezės, praturtinančius abu mokslus ir išplečiančios abiejų mokslų taikymo sferas, o tuo pačiu metu jų diferenciacijos bei specializacijos atsiradimo „antrajame mokslų sistemos matavime“ („pirmajam mokslų sistemos matavimui“ priklauso jau minėtieji tradiciniai mokslai, kurių klasifikacija remiasi elementų A_i individualių savybių specifika, jos tipais, o antrojo „matavimo“ klasifikacija – santykiais, jų specifika, jų tipais). Manysčiau, kad **ši diferenciacija ir specializacija jau iš pat pradžių vyks sistemiškai, t. y. kartu su integracija**, kuriant, plečiant ir detalizuojant mokslų sistemos „antrojo matavimo“ bendrąjį karkasą, numatantį vietoj „pirmajame matavime“ atsiradusių tarpdisciplininių barjerų, kuriuos dabar bando įveikti hibridiniai mokslai, tam tikrus „tiltus“ – sąsajas, **jungiančias atskirus mokslus ne tik į antrojo tipo, bet ir į pirmojo tipo sistemą.**

Prie mokslų, jau dabar priklausančių mokslų sistemos „antrajam matavimui“ galime priskirti ne tik matematiką ir sistematyrą, bet ir filosofiją, o taip pat kibernetiką ir visą informatikos sričiai priklausančią teorinių ir net „techninių“ tapusių mokslų „paketą“. Juk informacija pagal savo prigimtį, apie kurią buvo kalbėta pačiame

pirmajame šios mokymo priemonės skyriuje ir kurios sąvoka buvo praplėsta ir pagilinta šio skyriaus 1.6.4.1 skyrelyje, neturi individualių fizinių savybių (jas turi tik tos fizinės substancijos, kurios naudojamos informacijos fiksavimui, saugojimui, perdavimui bei apdorojimui, tačiau tos substancijos nėra informacija, panašiai kaip cheminė smegenų medžiaga nėra žmogaus protas, jo intelektas, jo sąmonė, jo dvasia, jo sąžinė), o atspindi tik tuos santykius, kurie egzistuoja pasaulyje, tai tik antrinės pirminių signalų reikšmės bei prasmės, panašiai kaip matematiniai simboliai yra antriniai signalai savo denotatų atžvilgiu. Todėl aš manau, jog ir informatika priskirtina „antrajam mokslų sistemos matavimui“.

Prie „antrojo matavimo“ aš priskirčiau ir didžiąją dalį humanitarinių mokslų, ypač tuos visuomeninius mokslus, kurie nagrinėja ne tiek „fizinius“ objektus ir jų individualias savybes, kiek santykius, visuomenines struktūras, tų struktūrų sisteminės savybes bei tų struktūrų elementų struktūrines savybes.

Iš to, kas čia pasakyta, išplaukia, jog „antrasis mokslų sistemos matavimas“ – ne kokia nors fikcija ir ne tik idėja, kuri galėtų būti įdomi ar net vaisinga, bet jau egzistuojantis, tik dar nelabai suvoktas faktas.

Šį skyrelį baigsiu išvada: **mokslų sistema, kuri nuo Aristotelio laikų iki XX a. vidurio atrodė esanti lyg ir vienamati, dabar formuojasi kaip dvimati ar net daugiamati sistema, tapdama ne tik antrojo tipo, bet ir pirmojo tipo sistema, kurioje atskiri specialūs mokslai, sąveikaudami tarpusavyje, vysto ir tobulina visuminį (holistinį) pasaulio supratimą.**

1.6.4.15. Bouldingo evoliucinė sistemų klasifikavimo sistema

Tradicinę sistemų klasifikavimo sistemą, apie kurią buvo ką tik kalbėta 1.6.4.14. skyrelyje, galima struktūrizuoti, **surikiuojant įvairių tradicinių mokslų nagrinėjamas sistemas į antrojo tipo sistemą** nagrinėjamų sistemų **sudėtingumo ir išsivystymo lygio didėjimo tvarka**. Trumpai aprašysiu vieną iš bandymų tai padaryti – būtent vieno iš **bendrosios sistemų teorijos** pradininkų, mūsų jau ne kartą minėto K. Bouldingo, pasiūlytą **evoliucinę sistemų klasifikavimo (sisteminės analizės lygių) sistemą**, kuria naudojantis realiame pasaulyje galima išskirti įvairaus sudėtingumo sistemas ir analizuoti jas, skirstant į **sudėtingumo lygius** ir palaipsniui pereinant prie sudėtingesnių, turinčių **didesnį organizuotumo bei labilumo laipsnį** (žiūr. [3], [95]). Tuos lygius mes vadinsime **Bouldingo lygiais**.

Pirmasis Bouldingo lygis paties Bouldingo buvo pavadintas **statinių struktūrų** (o taip pat – **pagrindų**) lygiu. Pasak K. Bouldingo, šį sudėtingumo lygį galima rasti kiekvienoje sistemoje, nes jis – „**universumo geografija ir anatomija**“ ir nusako elektronų išsidėstymą aplink atomą, atomų išsidėstymą molekulėje ir kristale, ląstelių išsidėstymą augaluose ir gyvūnuose, planetų išsidėstymą aplink Saulę, žvaigždžių ir galaktikų išsidėstymą Visatoje.

Antrasis lygis buvo pavadintas **paprastų dinaminių sistemų**, arba „**laikrodžio mechanizmo**“ lygiu. Tam lygiui K. Bouldingas priskyrė paprastas fizines sistemas, kuriose gali egzistuoti tik tiesioginiai ryšiai ir kurios (bei kurių dalys) gali dalyvauti tik mechaninio judėjimo tipo procesuose. Palyginimas su laikrodžio mechanizmu gana tiksliai ir kartu gana vaizdžiai apibūdina šią fizinių sistemų klasę. Šiai klasei K. Bouldingas priskiria ne tik paprastas determinuotas mašinas, tokias kaip garvežys bei dinamo mašina, bet ir stochastines dinamines sistemas, turinčias stacionarią pusiausvyros būseną.

Trečiąjį lygį K. Bouldingas pavadino **valdymo mechanizmo**, arba **kibernetinės sistemos** lygiu, o taip pat „**termostato bei homeostato**“ lygiu,

priskirdamas jam fizines sistemas, kuriose gali egzistuoti ne tik tiesioginiai, bet ir grįžtamieji ryšiai, ir kurių dėka sistemose gali vykti savireguliacijos procesai. Termostato ir homeostato pavyzdžiai gana tiksliai ir vaizdžiai apibūdina šį sistemų sudėtingumo lygį ir būdingas šio lygio sistemų savybes.

Ketvirtąjį lygį K. Bouldingas pavadino **atvirų sistemų**, arba **save išsaugančių struktūrų** lygiu, o taip pat „ląstelės“ lygiu. Tai lygis, kuriame, K. Bouldingo žodžiais, atsiranda pirmieji gyvųjų sistemų požymiai ir gyvybė pradeda išsiskirti iš negyvybės. Pirmieji susidariusios struktūros išsaugojimo („autoišsaugojimo“) požymiai pastebimi jau fizikocheminėse pusiausvyrinėse sistemose, priklausančiose atvirų sistemų tipui. Augant atviros sistemos sudėtingumui ir jai artėjant prie būsenos, būdingos gyvai sistemai, savybė išsaugoti save, savo struktūrą, savo būseną vis stiprėja ir galų gale tampa dominuojančia. Molekulės dar gali egzistuoti ir be nuolatinės apykaitos su aplinka, o net paprasčiausieji gyvi organizmai negali egzistuoti be metabolinio apykaitos proceso. K. Bouldingas rašo: „Matyt, ne taip jau svarbu, kokiame sudėtingumo augimo skalės taške prasideda „gyvybė“. Tačiau aišku, kad nuo to momento, kai mes susiduriame su sistemomis, kurios save atgamina ir save išsaugo, mes jau turime kažką tokio, ką nepavadinti „gyvybe“ būtų jau sunku“.

Penktąjį lygį K. Bouldingas pavadino **genetinių bendrijų**, arba **augalų lygiu**. Šio lygio sistemoms būdinga tai, kad jose prasideda gyvybės palaikymo funkcijų diferenciacija ir darbo pasidalijimas: organizmo ląstelės jungiasi į bendrijas, atliekančias diferencijuotas funkcijas, kurių visuma leidžia organizmui išsaugoti save ir augti. Taip atsiranda augalo šaknys, lapai, sėklos ir t. t. Antra būdinga savybė – organizmo augimo „užprogramuotumas“, t. y. mūsų jau minėtas ekvifinališkumas. Tačiau augaluose jų ląstelių bendrijų funkcijų diferenciacija dar neatveda prie labai specializuotų jutimo organų ir nervų sistemos atsiradimo, nes augalai, nebūdami labai mobilūs, gali išgyventi ir be tokios sistemos.

Šeštajam lygiui, pavadintam **gyvūnų lygiu**, būdinga tai, kad tai yra lygis mobilių save išsaugančių sistemų, kurioms būdingas teleologinis (nukreiptas į tikslą) elgesys. Šiose sistemose mes jau randame gana daug specializuotų receptorių, pritaikytų įvairios informacijos gavimui, o taip pat išvystytą nervų sistemą, be ko tokios mobilios sistemos kaip gyvūnai negalėtų egzistuoti.

Gyvūnų klasė labai įvairi ir jai priklausančios sistemos gali labai skirtis savo išsivystymo lygiui.

Primityviems gyvūnams būdingas elgesys, kurį galima būtų pavadinti tiesiogine reakcija į vidinį ar išorinį stimulą – **pirminį signalą**, kurį gauna gyvūno nervų sistema iš gyvūno vidaus organų ar iš aplinkos.

Kylant gyvūnų išsivystymo skale aukštin, galima pastebėti, kaip sudėtingėja gyvūnų elgesys, kaip jame vis labiau ryškėja, jog gyvūnas vis dažniau pradeda reaguoti ne tiesiogiai į gautąjį stimulą – pirminį signalą, o į **antrinį signalą** – to stimulo atvaizdį, kuris, kaupiantis gyvūno patirčiai, susiformuoja gyvūno atmintyje ir kurį gautas pirminis signalas **ne tiek formuoja, kiek iššaukia**.

Taip šalia **pirminės signalinės sistemos, veikiančios pagal principą „stimulas – tiesioginė reakcija“**, gyvūnuose pradeda formotis ir vystosi **antrinė signalinė sistema, veikianti pagal principą „stimulas (pirminis signalas) – atvaizdis (antrinis signalas) – reakcija“**.

Tokiu būdu gyvūno „išėjimas“ – jo reakcija į „įėjimą“ (stimulą) – tampa **ne tiek dabartinės „įėjimo“ reikšmės, kiek sukauptos patirties – antrinio signalo – funkcija**. Todėl, nežinant gyvūno praeities, jo sukauptos patirties, darosi sunku nuspėti, kaip reaguos gyvūnas į tą ar kitą poveikį.

1.4.10. skyrelyje mes nagrinėjome baigtinį automata su priešistore, o 1.4.11. skyrelyje – vėluojančio argumento dinaminę sistemą, modeliuojančius tokį elgesį. Žinant visą tokio automato priešistorę, jį galima suvesti į paprastą baigtinį automata, kurio reakcija į įėjimą yra vienareikšmiškai apibrėžiama tuo įėjimu ir automato būseną „dabar“. Panašiai galima pasielgti ir su vėluojančio argumento dinaminės sistemos modeliu, kai žinome tos sistemos pradinę funkciją. Tačiau dažniausiai tenka susidurti su situacija, kada priešistorė stebėtoji yra nežinoma arba tik dalinai žinoma. Todėl ir atsiranda reakcijos neapibrėžtumas tokio stebėtojo atžvilgiu. Deterministai teigia, jog neapibrėžtumai – tik nepakankamo žinojimo pasekmė. Tačiau ar galima žinoti visą viso pasaulio priešistorę?

Septintasis Bouldingo lygis – **žmogaus** lygis. Žmogus, priklausydamas gyvūnų klasei, turi tai klasei būdingas savybes, tačiau išsiskiria iš kitų gyvūnų tuo, kad stengdamasis išsaugoti save, ne tik gali elgtis teleologiškai, prisitaikydamas prie aplinkos bei keisdamas ją, bet ir **sugeba suvokti save**, t. y. turi sąmonę ir sąžinę. Jis pats renkasi savo veiklos tikslus, vadovaudamasis **vertybių skale**, kurią jame suformuoja auklėjimas ir socialinė aplinka. Žmogus išsiskiria iš kitų gyvūnų ir savo antrinės signalinės sistemos išvystymo laipsniu. **Žmogui antriniais signalais gali būti jo paties (ar kitų žmonių) sugalvoti simboliai, kuriais naudodamiesi žmonės gali perduoti informaciją vienas kitam bei fiksuoti ją, tuo būdu sudarydami sąlygas informacijos kaupimui ne tik savo atmintyje, bet ir išoriniuose kaupikliuose, o taip pat informacijos perdavimui iš kartos į kartą.** Todėl žmogus, priimdamas sprendinį, gali naudotis ne tik savo sukaupta patirtimi, bet ir kitų žmonių bei kitų kartų, t. y. visos žmonijos sukaupta patirtimi. Bouldingo žodžiais tariant, žmogus egzistuoja ne tik gyvenamame laike ir erdvėje, bet ir jų išorėje. Todėl jo elgesys labai priklauso ne tik nuo to, kas vyksta dabar, bet ir nuo to, ką tas žmogus žino, kaip jis vertina tai, kas vyksta, ko jis siekia.

Aštuntą lygį, kurį išskiria K. Bouldingas, sudaro **socialinių organizacijų** lygis. Socialinės organizacijos – tai sistemos, sudarytos iš vienas su kitu sąveikaujančių ir sujungtų į atitinkamas struktūras **socialinių vaidmenų**, kuriuos vykdo („vaidina“) atskiri individai – žmonės. Būtina pažymėti, kad **žmogus, įeinantis į socialinės organizacijos sudėtį ir vaidinantis toje organizacijoje atitinkamo jos struktūrinio vieneto vaidmenį, yra daugiau negu atskirai paimtas žmogus, nes, tapdamas organizacijos nariu, jis šalia savo individualių (kaip žmogaus) savybių įgyja dar ir organizacijos struktūrinio vieneto savybes, taip vadinamas struktūrinės savybes.** Pati gi socialinė organizacija kaip pirmojo tipo sistema turi nuosavų sisteminių savybių, nesutampančių su organizacijos narių savybėmis. Todėl ir organizacijos tikslai, dėl kurių pasiekimo žmonės ir jungiasi (arba yra jungiami) į organizaciją, ne visada pilnai sutampa su kai kurių jos narių nuosavais tikslais. Dėl šios priežasties organizacijoje gali atsirasti **disfunkcijų**, trukdančių jos nariams vykdyti organizacijos funkcionavimui reikalingas funkcijas. **Skirtingai nuo techninių sistemų, kurias valdant, valdomi jų elementų veiksmai, valdyti organizacijos narių veiksmus tiesiogiai nėra efektyvu. Žymiai efektyviau yra valdyti organizacijos narių veiklą per jų tikslus, stengiantis arba modifikuoti tuos tikslus arba sudaryti tokias sąlygas, kad organizacijos nariai, siekdami nuosavų tikslų būtų suinteresuoti tuo, ko reikia organizacijos tikslų pasiekimui.** Apie tai jau buvo šioje mokymo priemonėje kalbėta, tačiau šios svarbios tiesos dar neįsisavino daugelis aukštų vadovų, jau nekalbant apie eilinius piliečius. Todėl tą tiesą pakartoju dar kartą.

Apie organizacijų veiklos ir valdymo tobulinimą, apie organizacijų ir jų valdymo sistemų projektavimą, to projektavimo metodus, o taip pat apie to

projektavimo automatizavimą bus kalbama antrojoje šios mokymo priemonės dalyje ir tiems klausimams bus išskirti net keli skyriai.

K. Bouldingas, užbaigdamas savo hierarchinės evoliucinės sistemų klasifikavimo ir analizės sistemos formavimą, kalba dar ir apie devintąją tos hierarchijos lygį, kurį jis pavadino **transcendentinių sistemų** lygiu.

Neaišku, kur ir kaip tokios sistemos galėtų egzistuoti, nes apie jas pasakyta labai nedaug. K. Bouldingas, bandydamas pagrįsti šią savo koncepciją rašo: „Vis dėlto egzistuoja nepasiduodantys žmogaus analizei absoliutai ir neišvengiamos nepasiekiamybės, kurioms taip pat būdingi tam tikri santykiai ir sisteminė struktūra“. Kaip K. Bouldingas pastebėjo tuos santykius tarp nepasiekiamybių ir pamatė, jog jie sudaro sistemai būdingą struktūrą, išlieka neaišku. Atsižvelgdamas į tuos neaiškumus, aš ir nusprendžiau į sistemų klasifikavimo schemą, pateiktą [2], šio devintojo lygio bent jau kol kas neįtraukti. Teizmo ir ateizmo dilemos sistemyra išspręsti negali. Apie tai jau buvo rašyta 1.2. skyrelyje.

1.6.4.16. Sistemų klasifikavimo būdų įvairovė

Tuo ir baigiu šią trumpą sistemų klasifikavimo būdų apžvalgą, rodančią kokiais įvairiais aspektais gali būti nagrinėjamos ir sistematizuojamos sistemos, norint sudėlioti jas į tam tikrą teorinę struktūrą, primenančią antrojo tipo sistemą – „sistemų sistemą“, kuri palengvintų „sistemų pasaulio“ tyrimus ir egzistuojančių sisteminių dėsningumų pastebėjimą bei nagrinėjimą.

Šios apžvalgos tikslas buvo supažindinti skaitytoją su sistemų klasifikavimo idėja ir keliolika galimų klasifikavimo požymių bei sistemų klasių, gaunamų klasifikuojant sistemas, naudojantis tais požymiais. Ji neturėjo tikslo apžvelgti visus sistemyroje vartojamus sistemų klasifikavimo būdus ne tik todėl, kad tai būtų pareikalavę labai daug vietos, bet ir todėl, kad kai kurių klasifikavimo būdų suvokimui reikėtų naujų žinių, kurios dar nebuvo išdėstytos.

Pavyzdžiui, šioje apžvalgoje nebandoma **klasifikuoti sistemas pagal jų sistemines savybes**: sistemos struktūros stabilumą, sistemos organizuotumą, labilumą, adaptyvumą, gyvybingumą ir t. t. Tai bus padaryta antrojoje šios mokymo priemonės dalyje, kai bus nagrinėjamos **sudėtingų sistemų bendrosios sisteminės savybės**.

Su vienu panašiu bandymu klasifikuoti sistemas ne pagal bet kuriuos gana atsitiktinai pasirenkamus požymius, kurie gali pasireikšti tik tam tikrose sistemų grupėse, o pagal **bendrasisteminius požymius**, leidžiančius klasifikuoti visas sistemas, sudėliojant jas į daugiamatį karkasą, padedantį kurti iš taip sudėliotų sistemų antrojo tipo sistemą, skaitytojas gali susipažinti jau dabar mūsų minėtoje A. Ujomovo knygoje [60].

Joje A. Ujomovo įsiveda **reliacinio ir atributinio sisteminių parametrų sąvokas**, leidžiančias ne tik **klasifikuoti visas sistemas, bet ir kurti bendrąją sistemų teoriją – parametrinį tokios teorijos variantą**, skirtingą nuo jau „Įvade“ minėtųjų L. Bertalanfio, W. R. Ešbio bei M. Mesarovičiaus ir kitų variantų.

Reliaciniais sisteminiais parametrais A. Ujomovas vadina **bendrasisteminių santykių**, kurie egzistuoja ar galėtų egzistuoti tarp bet kurių sistemų, **galimų pasireiškimo būdų – tų santykių „reikšmių“ – rinkinius**, laikydamas tuos kokio nors sisteminio santykio pasireiškimo būdus – atitinkamo **reliacinio sisteminio parametro galimomis reikšmėmis**.

Reliacinio sisteminio parametro sąvoką pailiustruosiu pavyzdžiais.

Kiekviena sistema turi savo sudėtį, kurią sudaro jos elementai, formaliuose pirmojo ir antrojo tipo sistemų apibrėžimuose žymimi žymenimis A (žiūrėti 1.6.1. ir 1.6.2. skyrelius): :A, ;A.

Bet kurios dvi sistemos gali turėti arba sutampančias, t. y. vienodas, arba dalinai sutampančias, arba visiškai nesutampančias sudėtis. Šitokiems dviejų sistemų santykiams, atspindintiems jų sudėčių santykius, charakterizuoti A. Ujomovas įveda reliacinį bendrasisteminį parametą, pavadintą **substratinu reliaciniu sisteminiu parametru**, o dviejų sistemų sudėčių palyginimo galimus rezultatus – „**substratai pilnai sutampa**“, „**substratai dalinai sutampa**“ ir „**substratai visiškai skirtingi**“ – to parametro galimomis reikšmėmis. Žinoma, šių reikšmių, įsivedus sistemų sudėčių sutapimo – nesutapimo kiekybinį matą (pavyzdžiui, „sutapimo procentą“ ar pan.) galima buvo įsivesti ir daugiau, tačiau knygoje [60] jos autorius apsiribojo čia paminėtomis trimis reikšmėmis. Tų reikšmių pavadinimų kilmė paaiškės 1.7.2. skyrelyje, kuriame bus detalčiau nagrinėjamos sistemos sudėties ir jos substrato sąvokos. Panašiai galima įsivesti kitą reliacinį sisteminių parametą, kurio reikšmės gaunamos **lyginant sistemų struktūras** ir sudarant tokio palyginimo rezultatų rinkinį. Į tą rinkinį patektų **sistemų izomorfiškumas bei įvairūs sistemų homomorfizmo laipsniai**. Tai – **struktūrinio reliacinio parametro reikšmės**.

Detaliau sistemų struktūrų izomorfizmą ir homomorfizmą nagrinėsime 1.8 skyriuje ir 1.9.1.5 skyrelyje.

Galima būtų **lyginti ir sistemų konceptus**, kuriuos formaliuose sistemų apibrėžimuose žymėjome žymeniu t , ir nagrinėti santykius tarp konceptų. Lygindami pirmojo tipo sistemų konceptus, gautume **reliacinio sisteminio parametro – santykio tarp sistemų sisteminių savybių galimas reikšmes**, o lygindami antrojo tipo sistemas – **santykio tarp sisteminių santykių reikšmes**. Tai – **konceptinio reliacinio parametro reikšmės**.

Atributiniais sisteminiais parametrais A. Ujomovas vadina **bendrasisteminių savybių**, egzistuojančių bei galinčių egzistuoti bet kuriose sistemose, **pasireiškimo laipsnių – tų laipsnių įverčių – rinkinius**, laikydamas tuos įverčius **atributinio sisteminio parametro reikšmėmis**.

Savo knygoje [60] jis pateikia net 26 tokių parametų pavyzdžius, juos numeruodamas.

Pirmąjį numerį jis priskiria atributiniam parametrai, atspindinčiam sistemos elementų išsidėstymą sistemoje ir klasifikuojančiam sistemas į **išrikiuotas ir neišrikiuotas**. Prie išrikiuotų sistemų galima priskirti ne tik natūrinių skaičių seką 1, 2, 3, ..., bet ir įvairius žodynus, katalogus ir pan., o prie neišrikiuotų sistemų – daugybę sistemų, kuriose sistemos sudėties elementai, atlikdami sistemos struktūros elementų vaidmenis, gali keistis savo vietomis ir vaidmenimis vienas su kitu.

Nr. 2 A. Ujomovas priskiria atributiniam sisteminiam parametrai, klasifikuojančiam sistemas į **struktūriškai taškines, struktūriškai tiesines ir struktūriškai daugiamates**, kitaip tariant, į sistemas, kurių savybės gali būti matuojamos, vertinant jas koku nors vienu tolydžiai kintančiu dydžiu – skaliaru, ir sistemas, kurių savybės gali būti aprašytos tik daugiamaisiais vektoriais.

Atributiniu sisteminiu parametru Nr. 3 A. Ujomovas pasirinko parametą, atspindintį tai, kaip sistemos elementai dalyvauja sistemų santykių sudaryme: **tiesiogiai ar netiesiogiai**, t. y. per kitus sistemos elementus.

Pavyzdžiui, prezidento rinkimų sistema, kurioje kiekvienas pilietis tiesiogiai dalyvauja renkant prezidentą, atiduodamas savo balsą už tą ar kitą kandidatą, priklauso pirmajai iš čia paminėtų klasių, o sistema, kurioje eiliniai piliečiai renka ne prezidentą, o tik būsimus jo rinkėjus – antrajai.

Parametrai, atspindinčiam sistemos savybę **regeneruoti (atstatyti) savo sandarą**, A. Ujomovas priskiria ketvirtąjį numerį. Sugebėjimo **regeneruoti savo sudėties elementus** vertinimui jis skiria parametą Nr. 4^a, o sugebėjimo **regeneruoti santykius tarp pirmojo tipo sistemos elementų – sistemos struktūrą** – parametą 4^b.

Atsižvelgdamas į tai, kas tą regeneravimą atlieka – pati sistema savo viduje ar kokia nors išorinė tai sistemai sistema, A. Ujomovas **skirsto regeneravimą į vidinį (autoregeneravimą) ir išorinį**.

Pagal regeneravimo sugebėjimo pasireiškimo laipsnį A. Ujomovas sistemas skirsto į **pilnai regeneruojančias, dalinai regeneruojančias ir neregeneruojančias** sistemas.

Naudodamasis ternarine TSF kalba ir jo anksčiau įsivestais žymenimis, jis pateikia formalizuotus apibrėžimus aštuonių klasių, į kurias patenka turinčios regeneravimo savybių sistemos:

- 1) pilnai autoregeneruojančios savo substratą,
- 2) dalinai autoregeneruojančios savo substratą,
- 3) pilnai išoriškai regeneruojančios savo substratą,
- 4) dalinai išoriškai regeneruojančios savo substratą,
- 5) pilnai autoregeneruojančios savo struktūrą,
- 6) dalinai autoregeneruojančios savo struktūrą,
- 7) pilnai išoriškai regeneruojančios savo struktūrą,
- 8) dalinai išoriškai regeneruojančios savo struktūrą.

Šių klasių formalizuotų apibrėžimų mes čia nepateiksime, nes mums pritrūktų kai kurių simbolių, vartojamų ternarinėje TSF kalboje, kurių mes dar neįsivedėme.

Nenagrinėsime ir visų dvidešimt šešių A. Ujomovo įsivestų atributinių sisteminių parametru ir sistemų klasių, į kurias sistemos gali būti suskirstytos, naudojantis tais parametrais, nes šiam reikalui bus skirtas specialus šios mokymo priemonės antrosios dalies skyrius, kuriame bus nagrinėjamos bendrasisteminės savybės. Ten A. Ujomovo pateiktas tokių savybių ir jas atitinkančių atributinių sisteminių parametru sąrašas bus reikšmingai papildytas.

Čia apsiribosiu tik dar keleto A. Ujomovo aprašytų svarbesnių atributinių sisteminių parametru paminėjimu. Tai – sistemų **gyvybingumą** charakterizuojantis parametras Nr. 6, kurio naudodamasis, A. Ujomovas sistemas skirsto į **pilnai patikimas** ir neturinčias tokios savybės; sistemų **elementarumą-neelementarumą** charakterizuojantis parametras Nr. 7; sistemų **centruotumo-necentruotumo** parametras Nr. 9; sistemų **substratinį bei struktūrinį užbaigtumą-neužbaigtumą** charakterizuojantys parametrai Nr. 13^a ir Nr. 13^b; sistemų **stabilumo-nestabilumo** parametras Nr. 17; sistemų **stacionarumo-nestacionarumo** parametras Nr. 18; **substratinio homogeniškumo-heterogeniškumo** parametras Nr. 21; **funkcinio homogeniškumo-heterogeniškumo** parametras Nr. 22; sistemų **varietyvumo-nevarietyvumo** parametras Nr. 26.

Daugeliui atributinių sisteminių parametru reikšmės atitinkančias sisteminės savybes turinčių sistemų A. Ujomovas pateikia formalizuotus apibrėžimus, nes tokie apibrėžimai tampa reikalingi, bandant kurti **dedukcinę parametrinę sistemų teoriją**, apie kurią šiame skyrelyje mes jau buvome užsiminę. Tokios teorijos sukūrimo idėja gana įdomi ir tikrai gali būti vaisinga.

Gaila tik, kad į A. Ujomovo sąrašą nepateko kai kurie atributiniai parametrai, atitinkantys tokias svarbias sisteminės savybes kaip organizuotumas, labilumas, adaptyvumas, atsparumas trikdžiams ir pan. kurias mes nagrinėsime antroje šios mokymo priemonės dalyje.

Įsivedęs ketvirtajame knygos [60] skyriuje bendrasisteminius parametrus, A. Ujomovas penktajame tos knygos skyriuje aprašo eksperimentus, kurių metu buvo bandoma nustatyti **empirines priklausomybes tarp atributinių sisteminių parametru**.

Iš jau minėtojo 26 parametru sąrašo buvo atrinkta 20 parametru, turinčių po dvi reikšmes, ir buvo nustatytos tų parametru reikšmės pačioms įvairiausioms sistemoms iš įvairių sričių: pavyzdžiui, ESM „Minsk-20“, socialinio draudimo sistemai ir pan. – viso buvo atlikta 25 serijos tyrimų po 400 sistemų kiekvienoje serijoje. Po to visi tie duomenys buvo suvesti į ESM ir, naudojantis specialiai sudaryta programa, buvo atliktas statistinis tyrimas, kurio tikslas buvo nustatyti, kaip atributiniai sisteminiai parametrai priklauso vienas nuo kito.

Buvo rasta 30 empirinių dėsningumų:

1. Autoregeneruojančios savo sudėties elementus sistemos yra tuo pačiu metu autogeneruojančios savo struktūrą sistemos.

2. Autoregeneruojančios savo elementus sistemos beveik visada yra stacionarios sistemos.

3. Autoregeneruojančios savo elementus sistemos turi stabilią struktūrą.

4. Išoriškai regeneruojančios savo elementus sistemos beveik visada yra išoriškai regeneruojančiomis savo struktūrą sistemomis (išimčių tikimybė $q \approx 0,013$).

5. Retai pasitaiko sistemos, turinčios vienu metu išrikiotumo ir minimalumo savybes ($p \approx 0,016$). Tą patį galima pasakyti ir apie sistemų funkcinių homogeniškumą ir centruotumą.

6. Praktiškai beveik nepasitaiko sistemų, kurios išliktų gyvybingos, prarasdamos savo elementus, ir tuo pačiu metu būtų centruotos (centralizuotos) ($p \approx 0,007$) ir t. t.

A. Ujomovo nuomone, rastieji dėsningumai yra parametrinės sistemų teorijos empirinis pagrindas. Jis pripažįsta, kad, atliekant šį tyrimą, buvo galimos paklaidos nustatant parametru reikšmes, tačiau gauti rezultatai atrodo panašūs į teisingus, nors, žinoma, norint juos laikyti tikrai teisingais, reikėtų jų teisingumą įrodyti teoriškai, t. y. išvesti deduktyviai.

Tokios deduktyvinės teorijos formavimui A. Ujomovas ir skiria knygos [60] šeštąjį skyrių. Jame jis aprašo išvedimo taisykles, o jų taikymą iliustruoja teoremos įrodymu, jog kiekviena neminimali sistema yra neunikali sistema, iš formalizuoto neminimalios sistemos apibrėžimo išvesdamas formalizuotą neunikalios sistemos apibrėžimą.

Žinoma, vienos-kitos teoremos įrodymas dar nereiškia deduktyvinės teorijos sukūrimo, tačiau tai parodo, jog **tokią teoriją kurti įmanoma, jog tokios teorijos sukūrimo tikslą kelti galima**.

Šioje apžvalgoje taip pat neparodyta, **kaip sistemas galima klasifikuoti, atsižvelgiant į jų struktūras, t. y. į tas struktūrų klases**, kurioms priklauso nagrinėjamų sistemų struktūros. Prisiminus izomorfizmo dėsni, apie kurį buvo rašoma „Įvade“, nesunku suprasti, kad toks klasifikavimas yra gana aktualus. Tai bus padaryta vėliau, kai bus išstudijuoti 1.7, 1.8, 1.9 ir 1.10 skyriai, o taip pat antrosios dalies skyriai apie **tipinius makro ir mikromodelius**, kai bus giliau ir detaliau susipažinta su

sistemos struktūros sąvoka, su struktūrų įvairove, jų aprašymo matematine kalba, su operacijomis, kurias galima atlikti su sistemų struktūromis.

Tada bus aprašyta ir **Dž. Kliro hierarchinė sistemų klasifikavimo sistema**, kuri buvo paminėta „Įvade“. Žingeidus skaitytojas jau ir dabar gali susipažinti su šia sistema knygoje [80]. Tiesa, ši sistema **klasifikuoja ne pačias sistemas, o tų sistemų modelius**, gaunamus įvairiose **stratose**, kurias Dž. Kliras vadina hierarchinės sistemų modelių sistemos **epistemologiniais lygiais**. Kiekviename tokia lygyje modeliai klasifikuojami dar į smulkesnes grupes, sudaromas žiūrint į **metodologinius skirtumus**. Šią **hierarchinę sistemų modelių klasifikavimo sistemą** Dž. Kliras sukūrė konstruodamas **universalaus sisteminių uždavinių sprendėjo (USUS)** – kompiuterizuotos sisteminio modeliavimo ir sisteminių modelių sistemos – architektūrą. Ši Dž. Kliro knyga skirta ne tik sistemų klasifikavimui, o ir sistemų modeliavimui, ir joje studentas galėtų rasti ne tik Dž. Kliro sistemos aprašymą, bet ir daug kitų jam naudingų žinių.

Jau minėtoje knygoje [34] yra pateiktas dar vienas įdomus ir prasmingas sistemų klasifikavimo būdas, išskiriantis taip vadinamas **S₁, S₂ ir S₀ tipų sistemas** ir parodantis, kaip iš vieno tipų sistemų galima konstruoti kitų tipų sistemas.

Yra ir kitų čia nepaminėtų klasifikavimo būdų. Galima sakyti, jog sistemų klasifikavimo būdų įvairovė tokia pat neišsemiama kaip ir sistemų įvairovė.

1.6. skyriaus santrauka

Šio skyriaus (kaip ir daugelio kitų skyrių bei visos pirmosios šios mokymo priemonės dalies) **paskirtis yra daugiaplanė**: pirmąjį planą formuoja supažindinimo su pagrindinėmis sistemos tyros mokslo sąvokomis bei išmokimo jomis naudotis, analizuojant sudėtingas sistemas, kuriant jų modelius ir eksperimentuojant su jais, tikslai, o antrąjį – sisteminės mokslinės pasaulėžiūros ir sisteminio mąstymo įgūdžių ugdymo tikslai. Ir pirmojo, ir antrojo plano tikslai yra labai svarbūs ir siektini.

1.6. skyriaus **pirmojo plano pagrindiniai tikslai** yra: 1) naudojantis 1.5. skyriuje įsivesta ternarine TSF kalba, suformuluoti pirmojo ir antrojo tipo sistemų formalizuotus apibrėžimus, išmokyti studentus juos interpretuoti bei konkretizuoti ir, parodžius tą apibrėžimų dualumą, pateikti tokį atsakymą į klausimą „Kas yra sistema?“, kuris orientuotų skaitytoją į sistemos tyros studijų gilinimą bei sisteminio požiūrio į objektus ir procesus ugdymą; 2) trumpai apžvelgti sistemų įvairovę, klasifikuojant sistemas, naudojantis įvairiais jų klasifikavimo požymiais, bei dėliojant jas į daugiamačių karkasą, išsiaiškinant sistemų, priskiriamų nagrinėjamos jų klasėms, specifines savybes, į kurias būtina atsižvelgti modeliuojant bei projektuojant tokias sistemas, ir ieškant bendrasisteminių savybių bei bendrasisteminių dėsningumų, reikalingų bendrosios sistemų teorijos kūrimui bei vystymuisi.

Antrojo plano pagrindiniai tikslai šiame skyriuje yra: 1) supažindinti studentus su termodinaminės ir informacinės entropijų sąvokomis bei termodinamikos principais, parodant tų principų bendrasistemiskumą, ir pagilinti informacijos sąvokos supratimą, išvedant informacijos kiekio sąvoką bei pateikiant to kiekio apskaičiavimo formulę ir jos taikymo pavyzdžius; 2) atkreipti skaitytojų dėmesį į tai, kad nuo XX a. vidurio prasidėjo ne tik mokslų integracijos, bet ir tradicinės mokslų sistemos transformavimosi į daugiamačią struktūrą procesai, ir patikslinti bei pagilinti matematikos ir sistemos tyros mokslų vietos ir vaidmens toje daugiamačioje mokslų sistemoje suvokimą; 3) pratęsti „Įvado“ 0.2.1. skyrelyje pradėtą sudėtingumo problemos nagrinėjimą, išsiaiškinti informacinių barjerų ir kitų skirtingus sudėtingumo lygius skiriančių ribų sąvokas ir problemas, su kuriomis neišvengiamai susiduriame analizuodami, modeliuodami bei projektuodami sudėtingas sistemas.

Pirmajam pirmojo plano tikslui skiriami 1.6.1., 1.6.2. ir 1.6.3. skyreliai. Juose pateikiami **formalizuoti pirmojo ir antrojo tipo sistemų apibrėžimai** $\langle :A \rangle$ pirmojo tipo sistema $\stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} \langle a \langle :A \rangle \rangle$ ir $\langle :A \rangle$ antrojo tipo sistema $\stackrel{\text{def}}{\Leftrightarrow} t \langle :A \rangle a$ su jų interpretacijomis bei konkretizavimo pavyzdžiais, parodomas tų **apibrėžimų dualumas** ir sąvokų „sistema“, „posistemis“, „sistemos elementas“, „reliatyvumas“, įvedamas sistemos „sisteminės savybės“ ir „sisteminio santykio“, sistemos elemento „individualių“ ir „struktūrinių“ savybių sąvokos, paaiškinama, kuo skiriasi sisteminiai santykiai pirmojo ir antrojo tipo sistemose bei sistemos elementų individualios ir struktūrinės savybės, **iš kur ir kaip atsiranda emerđžencijos reiškiny.** Į klausimą „Kas yra sistema?“, atsakoma, jog **sistemos tyrininkai sistema vadina bet kurį objektą ar procesą, kuriame sugeba įžvelgti pirmojo ar**

antrojo tipo sistemą, ir pabrėžiama, kad **labai svarbu išsiugdyti „sisteminį matymą“ bei sisteminį mąstymą**, leidžiančius pamatyti ir suprasti tai, ko neturintys tokių sugebėjimų nepamato ir nesupranta.

Antrajam pirmojo plano tikslui skiriami visi likusieji 1.6. skyriaus skyreliai: 1.6.4., 1.6.4.1÷1.6.4.16. Tuose skyreliuose trumpai charakterizuojamos įvairios **sistemų klasės**: uždary ir atviry; pilnų, laikinai nepilnų ir absoliučiai nepilnų; natūralių, dirbtinių ir kompleksinių; konkrečių ir abstrakčių bei formalų; realių ir virtualių; medžiaginių, energetinių ir informacinių bei kompleksinių; tolydžių diskrečių ir mišrių; tiesinių ir netiesinių; statinių ir dinaminių; techninių, organizminių ir organizacinių; absoliučiai pasyvių, pasyvių, bet orientuotų į tikslą ir aktyvių; automatizuotų ir automatinų; determinuotų, stochastinių ir neapibrėžtinių; paprastų, sudėtingų ir labai sudėtingų.

Kiekvienai šių klasių grupei, gaunamai klasifikuojant sistemas kokio nors mūsų pasirinkto mums svarbaus **klasifikacinio požymio** galimų reikšmių atžvilgiu, skiriamas atskiras 1.6. skyriaus skyrelis, kuriam suteikiamas atitinkamas pavadinimas ir kuriame trumpai aprašomos reikšmingos sistemų teorijai ar sisteminiai analizėi, sisteminio modeliavimo bei sisteminio projektavimo praktikai **specifinės tos klasės sistemų savybės**, į kurias studentams derėtų atkreipti dėmesį.

Pavyzdžiui, nurodome ir įrodome, jog uždaroje sistemoje entropija negali mažėti, kad atviros sistemos aplinkos sąskaita gali mažinti savo entropiją ir gali turėti ekvifinalines fazines trajektorijas, kad aktyviųjų sistemų ir aktyviųjų elementų funkcionavimo analizei ir programavimui bei valdymui nebepakanka terminalinės metodologijos ir ją būtina papildyti teleologine metodologija, kad neracionalu bandyti valdyti tokių sistemų ir tokių elementų veiksmus tiesiogiai, nes tuos veiksmus daug racionaliau galime valdyti netiesiogiai – paveikiant aktyvias sistemas ir aktyviuosius elementus per jų tikslus, kad ne visi procesai, kurie mums atrodo nedeterminuoti, yra priskirtini prie stochastinių procesų, kad determinuotų procesų valdymui gali pakakti tiesioginio loginio valdymo „mechanizmų“, o nedeterminuotų procesų valdymui tokių mechanizmų nebepakanka ir tenka naudotis atbulinio ryšio refleksinio valdymo „mechanizmais“, kad antrasis informacinis barjeras negali būti peržengtas, bet gali būti stumiamas nagrinėjamų sistemų sudėtingumo didėjimo link, automatizuojant kolektyvo darbą ir tokiu būdu didinant darbuotojų darbo našumą, kad gali egzistuoti ne tik teoriškai, bet ir praktiškai neišsprendžiamos problemos ir t. t. ir t. t.

1.6.4.14. skyrelyje parodoma, jog **tradicinė mokslų ir mokomų dalykų sistema**, kuri istoriškai susiklostė, klasifikuojant objektus pagal jų savybių giminingumą ir sudėtingumo lygius, **gali būti transformuota į dvimatę ir net daugiamatę sistemą**, klasifikuojant mokslus ne tik nagrinėjamų objektų, bet ir nagrinėjamų santykių atžvilgiu, kad galima nagrinėti ne tik realius objektus, bet ir informaciją apie juos, jų informacinius modelius; kad tokios galimybės egzistavimą ir pasinaudojimą ja naudingumą įrodo tokių mokslų kaip matematika, informatika ir sistemotyra egzistavimas ir naudingumas.

1.6.4.15. skyrelyje nagrinėjama **Bouldingo evoliucinė sistemų klasifikavimo sistema**, kurioje sistemos, atsižvelgiant į jų sudėtingumą ir išsivystymo lygį, skirstomos į **Bouldingo lygius**: statinių struktūrų, paprastų dinaminių sistemų, kibernetinių sistemų, atvirų save išsaugančių struktūrų, genetinių bendrijų, gyvūnų, žmonių, socialinių organizacijų, transcendentinių sistemų.

1.6.4.16. skyrelyje trumpai apžvelgiamos **sistemų klasifikavimo sistemos, kurios remiasi sisteminėmis savybėmis ir sisteminėmis santykių klasifikavimu** ir todėl galinčios peraugti į **sistemų teorijos galimus variantus**.

Viena tokių sistemų – **Ujomovo sistema**, kurioje sistemų klasifikavimui pasitelkiami **atributiniai sisteminiai santykiai**. Tokių santykių apibrėžimas ir pavyzdžiai pateikiami tame pačiame 1.6.4.16. skyrelyje. Jame pateikiami ir A. Ujomovo bei jo bendradarbių atliktų eksperimentų, tiriant egzistuojančius bendrasisteminius dėsningumus, rezultatai, rodantys, jog gali būti kuriamas **dedukcinės parametrinės sistemų teorijos variantas**.

Kita sistemų, tiksliau – sistemų modelių – klasifikavimo sistema, apie kurią užsimenama 1.6.4.16. skyrelyje ir kuri bus nagrinėjama antrojoje šios mokymo priemonės dalyje, skirtoje sisteminiai analizei, sisteminiam modeliavimui ir sisteminiam projektavimui, – **Kliro epistemologinių lygių sistema**, padedanti struktūrizuoti ir automatizuoti sisteminį uždavinių sprendimo procesą. Dž. Kliras tą sistemą sukūrė projektuodamas universalaus sisteminio uždavinių sprendėjo (USUS) architektūrą.

Kadangi iki šiol dar nesukurta tokia antrojo tipo sistema, kurioje kiekviena egzistuojanti ar galinti egzistuoti sistema rastų savo vietą kaip minėtosios antrojo tipo sistemos elementas, tai sistemų klasifikavimo bandymai dar tęsiasi ir, manau, dar tęsis gana ilgai.

Pirmajam antrojo plano tikslui skirta didžioji 1.6.4.1. skyrelio dalis. Joje įvedama **termodinaminės entropijos sąvoka** ir pateikiama **formulė** $\frac{dS}{dQ} = T$, leidžianti apskaičiuoti

termodinaminės entropijos pokyčius ΔS . Pateikiamas ir tokio apskaičiavimo pavyzdys, rodantis, kad realioje uždaroje sistemoje termodinaminė entropija gali tik didėti, ką ir teigia **antrasis termodinamikos principas**. Termodinaminė entropija S surišta su **sistemos makrobūsenos tikimybe**.

Matematiškai tą sąryšį vaizduoja taip vadinamoji **Boltzmano formulė**, išreiškianti Boltzmano teorijos esmę, nors pačią tą formulę formoje $S_i = k \ln W_i$ pateikė M. Plankas.

Tame pačiame skyrelyje įvedama ir **informacinės entropijos H sąvoka**, pateikiant matematiškai apibrėžiančią šią entropiją ir leidžiančią apskaičiuoti **informacijos kiekį**, kurį gali suteikti

informacinis pranešimas, **Šenono formulę** $H = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2 P_i$. Ten pat pateikiamas ir šios formulės

taikymo, apskaičiuojant informacijos kiekį, konkretus pavyzdys. **Termodinaminės ir informacinės entropijų sąvokos yra giminingos, tačiau nėra visiškai tapačios.**

1.6.4.1. skyrelio studijos ne tik supažindins studijuojančius su uždromis ir atviromis sistemomis bei jų savybėmis, bet ir pagilins informacijos sąvokos supratimą, kam buvo skirtas vienas 1.1. skyriaus antrojo plano tikslų.

Antrajam antrojo plano tikslui skirta didžioji 1.6.4.14. skyrelio dalis. Joje parodoma, kad **mokslo objektu gali būti ne tik konkretūs objektai ir jų savybės, bet ir abstraktūs santykiai, egzistuojantys bei galintys egzistuoti tarp objektų bei jų savybių, tiksliau – tarp tuos objektus ir jų savybes vaizduojančių abstrakčių informacinių modelių.**

Kaip tokių, ne visai tradicinių, mokslų pavyzdžiai pateikiami matematikos, informatikos, kibernetikos ir sistemos tyros mokslai, kartu paaiškinant, kodėl šie mokslai gali būti taip plačiai taikomi pačioje įvairiausiose srityse, kas nėra būdinga „tradiciniams“ mokslams. Šią savybę jau gana seniai stebimasi, matyt, nesuprantant, kad **matematikos taisyklės atspindi bendrasisteminius dėsningumus, būdingus santykiams, egzistuojantiems įvairiose sistemose ir nepriklausantiems nuo tų sistemų „substrato“.**

Tame skyrelyje taip pat atkreipiamas dėmesys į **matematikos ir sistemos tyros (ypatingai – matematinės sistemos tyros) giminingumą**, dėl kurio ateityje galimas tų mokslų susiliejimas antrajame („santykiniame“) mokslų sistemos „matavime“ ir tokio **bendro mokslo diferenciacija į siauriau specializuotus mokslus nagrinėjamų santykių ir struktūrų klasifikavimo pagrindu** (panašiai, kaip diferencijavosi mokslai pirmajame – „substratiname“ – „objektiniame“ – mokslų sistemos „matavime“ nagrinėjamų objektų klasifikavimo pagrindu į „tradicinius“ mokslus.

Nagrinėjant **mokslų sistemos evoliuciją**, nesunku pastebėti, jog nuo XX a. vidurio tai evoliucijai tapo būdinga ne tik **vis didesnė mokslų diferenciacija ir vis gilesnė jų specializacija**, ne tik prasidėjusi **mokslų integracija**, pasireiškus ir „hibridinių mokslų“, ir tokių „sisteminių“, **giminingų matematikai, mokslų kaip kibernetika ir sistemos tyra atsiradimu**, bet ir **visos mokslų sistemos transformacija**, pertvarkanti tos sistemos „vienamatę“ („linijinę“) struktūrą į „dvimatę“ ar net į „daugiamatę“.

Tokioje „daugiamatėje“ mokslų sistemoje atskiri mokslai priklausantys tam ar kitam tos sistemos „matavimui“ bus jungiami **tarpdisciplininiais ryšiais**, taip pat priklausančiais ne tik vienam, bet ir dviem skirtingiems „matavimams“.

Kuriantis tokiai „daugiamatei“ integruotai ir tuo pačiu metu diferencijuotai bei specializuotai mokslų sistemai, ypatingas vaidmuo atiteks sistemos tyrai, matematikai ir informatikai su jos technologijomis ir technine įranga, galinčia savo tinklais aprėpti visą planetą ir sujungti jos visuomenę į galingą „**kolektyvinio proto**“ sistemą.

Jau dabar būtina pasirūpinti specialistų, sugebančių kurti tokią sistemą bei palaikyti, plėtoti ir tobulinti ką tik minėtus „įvairiamačius“ tarpdisciplininius ryšius, bei dženeralistų, sugebančių vadovauti kompleksiniams kolektyvams, atliekantiems tokios sistemos kūrimo ir tobulinimo bei jos funkcionavimo palaikymo darbus, ruošimu, nes **greitu laiku tokių specialistų ir dženeralistų poreikis labai išaugs.**

Trečiajam antrojo plano tikslui skiriamas 1.6.4.13. skyrelis. Jame įvedamos **pirmojo ir antrojo informacinių barjerų, paprastos, sudėtingos ir labai sudėtingos sistemų sąvokos**, nagrinėjama **sistemų sudėtingumo matavimo problema** ir galimi jos sprendimo būdai, taip vadinamoji **Bremermano riba**, sudėtingų uždavinių sprendimui reikalinga kompiuterinio laiko sąnaudų **polinominis ir eksponentinis augimas**, P ir NP uždavinių klasės ir **NP=P? problema**, patekusi į sąrašą septynių neišspręstų, bet spręstinių matematinių problemų, už kurių išsprendimą bus skiriamos milijoninės premijos – Nobelio premijų analogai.

Išsiaiškinamos sąvokos

Čia pateiktame „žodynėlyje“ kartosis daug žodžių, kurie jau buvo patekę į ankstesnių skyrių „žodynelius“. Taip padaryta specialiai, kad skaitytojas išstudijavęs 1.6. skyrių, peržvelgdamas šį „žodynelį“ ir pastebėjęs jame žodį, kuris jau buvo paminėtas ankstesniuose „žodyneliuose“ (pavyzdžiui „sistema“ ar „antrasis informacinis barjeras“ ir pan.) susimąstyti, kodėl **tas žodis čia paminėtas dar**

kartą, o susimąstęs pagalvotų, **ką naujo apie tą sąvoką, kurią žymi tas žodis, jis galėjo bei privalėjo sužinoti 1.6. skyriuje, praturtindamas, pagilindamas ir patikslindamas tos sąvokos suvokimą.** Jei skaitytojas nepatingės peržvelgti šį „žodynėlį“ ir permaštyti jame pateiktais žodžiais žymimų sąvokų turinius ir apimtis, nustatyti tai ką naujo jis sužinojo ir suprato, studijuodamas 1.6. skyriaus tekstą, tai jis reikšmingai praturtins savo tezaurą ir sustiprins savo įgūdžius mąstyti sistemiskai, stengtis pakankamai pilnai ir pakankamai tiksliai suvokti tai, ką skaitai ar ką kalbi bei rašai. Tokie pratimai labai padeda žmogui kelti savo mąstymo kultūrą, lavinti savo intelektą.

„Žodynėlio“ peržvelgimas apmąstant tas sąvokas, kurias žymintys žodžiai pateko į „žodynėlį“, naudingos dar ir tuo, kad **lavina atmintį ir pastabumą**, padeda prisiminti išstudijuoto teksto turinį: suradęs „žodynėlyje“ žodį ir norėdamas išsiaiškinti, kodėl tas žodis pateko į „žodynėlį“, būni priverstas mintyse „atstatyti“ tas išstudijuoto teksto vietas, kuriose tas žodis buvo pavartotas ir tai yra gana efektyvus būdas **pasitikslinti, kaip esi išstudijavęs skyriaus tekstą, kiek gerai jį supratai ir prisimeni**, ar buvai pakankamai pastabus, nes, tik būdamas pakankamai pastabus ir pakankamai gerai supratęs perskaitytą tekstą, gali sugebėti, pamatęs „žodynėlyje“ žodį „atstatyti“ mintyse tą situaciją, kurioje buvai su tuo žodžiu susidūręs. Tiems, kuriems toks išstudijuoto teksto „atkūrimas“ mintyse kelia sunkumų, matyt, dar reikia lavinti savo pastabumą ir atmintį, reikia mokytis skaityti taip, kad suprastum ne tik žodžius ir atskirus sakinius, bet ir tas mintis, kurias tuos žodžius ir sakinius jungia. Gerai suprastą mintį žmogus įsimena lengvai, beveik „automatiškai“. Jei, perskaitęs tekstą, nieko neprisimeni, tai arba jo nesupratai, arba tame tekste nieko, kas tau galėtų būti naudinga, nebuvo.

absoliučiai nepilna sistema
absoliuti temperatūra
abstrahavimas
absoliuti sistema
adaptacija
adaptyvaus valdymo sistema
adaptyvumas
adaptyvus valdymas
aksiominė sudėtingumo teorija
aksiominė tikimybių teorija
aktyvieji elementai
aktyvi sistema
algoritmas
algoritminė kalba
algoritmo sudėtingumas
anabolizmas
analizinis modelis
antrasis informacinis barjeras
antrasis mokslų sistemos matavimas
antrasis planas
antrasis termodinamikos principas (dėsnis)
antrinė signalinė sistema
antrinis signalas
antroji AVS karta
antrojo tipo sistema
antrojo tipo sistemos formalizuotas apibrėžimas
aparatinis ekvivalentiškumas
apibrėžimų dualumas
„astronominis“ skaičius

atbulinis ryšys
atominis skaičius
atominis svoris
atpažinimas
atraktorius
atributinis sisteminis parametras
atsitiktinis dydis
atsitiktinis įvykis
atsitiktinumas
atvira sistema
atvirųjų sistemų lygis
atvirųjų sistemų teorija
augalų ir gyvūnų klasifikavimo sistema
augalų lygis
aukštesnieji gyvūnai
aukštesniosios kartos robotai
automatinio reguliavimo sistema
automatinio sekimo sistema
automatinio stabilizavimo sistema
automatinio valdymo sistema
automatinis atsakas
automatinis režimas
automatinis valdymas
automatizuotas valdymas
automatizuota valdymo sistema (AVS)
autonominė (vegetacinė) nervų sistema
autoregulavimas
autostabilizacija
Avogadro skaičius

baigtinė sistema
baigtinės loginės sistemos nepilnumas
balsų daugumos principas
bifurkacija
biocenoze
biogeocenoze
biosistema
Biro sudėtingumo klasės
Boltzmano formulė

Boltzmano koeficientas
Boltzmano principas
Bouldingo evoliucinė sistemų klasifikavimo sistema
Bouldingo lygiai
Bremermano riba
Buslenkos agregatas
Buslenkos agregatinė sistema (BAS)
būtinasis santykis
būtinoji savybė

centrinė nervų sistema
centruota sistema
centruotumas
chaosas
chaotiškumas
chaotiškumo kiekybinė charakteristika
charakteristika

dalykiniai žaidimai
„dalinis“ sudėtingumas
„daugiamatė“ mokslų sistema
daugiaplaninis
daugiaplaniškumas
daugiaėšaloninė sistema
dedukcija
dedukcinė parametrinė sistemų teorija
dekompozicija
determinantas
determinuota sistema
didelė sistema

Eišteino formulė
ekologija
ekologinė sistema
ekonominė sistema
eksperimentai su matematiniais modeliais
ekspertas
ekspertinė sistema
ekspertinis įvertis
„eksperimentiniai“ uždaviniai
eksponentinis sprendimo laiko didėjimas
ekstremalaus valdymo sistema
ekvifinalinė sistema
ekvifinališkumas
ekvivalentiškumas
elementari sistema

faktorius
fitocenoze
fliktuacija
formali kalba
formali operacija
formali sistema
formali teorija
formalių sistemų teorijos sudarymas
formalizavimas
formalizavimo etapas

galvos smegenys
genai
generavimas
genetinis kodas
genetinių bendrijų lygis
genezė
gyvybingumas

Hamiltono ciklas
Hamiltono ciklo optimizavimo uždavinys
Heizenbergo neapibrėžtumo principas
heterogeninė sistema

charakterizuoti
charizmatinis poveikis
cheminis elementas
cheminių elementų periodinė sistema
cheminis junginys
cheminis ryšys

didžiųjų skaičių dėsnis
„difuzinė“ aibė
dinaminė sistema
dirbtinė sistema
disfunkcija
diskrečioji sistema
diskretumas
dualumas
duomenys
duomenų bankas
dzeta funkcija

elementarumas
emerdžencija
empirinis dėsningumas
empiriniai priklausomybių tyrimo metodai
entropija
entropijos pokyčio apskaičiavimo formulė
epistemologija
epistemologiniai sistemos modelių lygiai
ergatinė sistema
Euklido geometrija
euristinės žmogaus galimybės
euristinė taisyklė
evoliucija
evoliucinė sistemų klasifikacija

formalizuotas antrojo tipo sistemos apibrėžimas
formalizuotas pirmojo tipo sistemos apibrėžimas
formalusis pilnumas
formalūs sistemų apibrėžimai
funkcija
funkcinė metodologija
funkcinis ekvivalentiškumas
funkcijų atlikimo žemutinė riba
funkcinis modelis
funkcionavimo taisyklė

gyvūnai
gyvūnų lygis
Gödelio teoremos
Graičiūno normatyvas
grįžtamasis ryšys
Gudmeno metodas

hibridiniai mokslai
hierarchinė dekompozicija
hierarchinė struktūra
hipotezė

holistinis požiūris
homeostatas
homeostazė

idealas
identifikatorius
identifikavimas
imitacinis modeliavimas
imitavimas
individuali savybė
indukcija
indukcijos etapas
inertiškumas
informacija
informacijos apdorojimo proceso sudėtingumas
informacijos kiekio apskaičiavimo formulė
informacijos kiekis
informacijos sąvoka
informacijos teorija
informacinė AVS įranga
informacinė entropija
informacinė sistema
informacinis – entropinis požiūris į sudėtingumo
matavimą

joninis ryšys

katabolizmas
katastrofų teorija
„ketvirtoji valdžia“
kibernetika
kibernetika „siaurąja prasme“
kibernetika „placiaja prasme“
„kibernetinė“ informacijos sąvoka
kibernetinė sistema
kibernetinių sistemų lygis
kiekybinis faktorius
„kieto“ programinio valdymo sistema
Klapeirono lygtis
klasė
klasifikavimas
klasifikavimo požymis
klasifikavimo sistema
klasikinė dinaminė sistema (KDS)
klasikinė tolydžioji matematika
Kliro hierarchinė sistemų modelių klasifikavimo
sistema
kokybinis faktorius

labai didelė sistema
labai sudėtinga sistema
labiausiai tikėtina makrobūsena
labilumas
labilumo laipsnis
laikina nepilna sistema
„laikrodžio mechanizmo“ lygis

makrobūsenos statistinis svoris
makrobūsenos tikimybė
makrolygis

homeomorfizmas
homogeninė sistema
homomorfizmo laipsnis

informacinis modelis
informatika
instinktas
instinktyvus kolektyvinis protas
integralinė mikroschema
intervalinė funkcija
intuicija
įstatymas
įstatymus leidžiančioji valdžia
išorinis valdymas
iš principo neišsprendžiamas uždavinys
išrikiuota sistema
išvedimo taisyklės logikoje
į tikslą orientuota sistema
įvertis
izomorfizmas
izomorfiški modeliai
izomorfizmas

kolektyvinė hierarchinė sudėtingos problemos
sprendimo sistema
„kolektyvinio proto“ sistema
kombinatorika
„kombinatoriniai“ skaičiai
kompleksas
kompleksinė sistema
konceptinis modelis
konceptinis sudėtingumas
konceptas
konkreiti sistema
konkretizavimas
koordinacinis ryšys
koordinavimas
koordinavimo principai
koreliacija
kriptografija
kriptografinė sistema
kriptologija
kriptologijos uždaviniai

„lankstaus“ programinio valdymo sistema
lankstumas
„ląstelės“ lygis
lingvistinis kintamasis
Lobačevskio geometrija
loginis mąstymas

makroschema
Markovo grandinė
Markovo procesas

maršrutinė technologinė kortelė (MTK)
matavimo paklaida
matematikos universalumas
matematikos universalumo priežastis
matematinė AVS įranga
matematiniai dėsningumai
matrica
maža sistema
mažoritarinė logika
medžiaginė (rochrematinė) sistema
medžiagos tvermės dėsnis
Mendelejevo – Klapeirono lygtis
metabolizmas
metališkasis ryšys

natūrali sistema
neapibrėžtinė sistema
neapibrėžtumo principas
necentruota sistema
necentruotumas
nedeterminuota dinaminė sistema
nedeterminuota sistema
nedeterminuotų sistemų valdymas
neelementari sistema
neelementarumas
negentropija
negriežtai apibrėžta aibė
negriežtai apibrėžta funkcija
negriežtai apibrėžta logika
negriežtai apibrėžtas algoritmas
neigiamas grįžtamasis ryšys
neiškrikuotoji sistema
„neorganizuotas paprastumas“
„neorganizuotas sudėtingumas“
„neorganizuoto sudėtingumo“ lygis
neorganizuotumo charakteristika
nepilnoji sistema
neprieštarinėjimas
neprieštarinėjimo reikalavimai
nepriklausomumas

objektas
objektyvumas
objektyvus dėsnis
objektyvusis sistemos sudėtingumas
objekto identifikatorius
operacijos su struktūromis
operacinė instrukcija (OI)
operacinė kortelė (OK)
optimalus Hamiltono ciklas
optimalaus Hamiltono ciklo paieškos algoritmai
optimizavimas
optimumas
optimumo paieškos sistema

pagrindiniai tikslai
„pagrindų“ lygis
paprasta sistema
paprastų dinaminių sistemų lygis
paprastų organizuotų sistemų lygis

metasimpatinė nervų sistema
mikrobūseną
mikrolygis
mikroprocesas
mišrioji sistema
modifikacija
mokslininkų specializacija
mokslų diferenciacija
mokslų sistemos „antrasis matavimas“
mokslų sistemos „pirmasis matavimas“
morfologinis ekvivalentiškumas
motyvacija
motyvacinis modelis
mutacija

neregeneruojanti savo struktūros sistema
neregeneruojanti savo substrato sistema
Nernsto principas
Nernsto šiluminė teorema
nestabili sistema
nestabilumas
nestacionari sistema
nestacionarumas
netiesinė dinaminė sistema
netiesinė sistema
netiesioginis ryšys
neuronas
neuroninis tinklas
neutronas
neužbaigtumas
nevarietyvumoji sistema
nevarietyvumas
nežinojimo (neapibrėžtumo) kiekybinė charakteristika
norma
normatyvinis modelis
NP uždavinys
NP=P? problema
nukleonas
nuokrypis

organizacija
organizacinė sistema
organizmas
organizminė sistema
organizuojantis faktorius
„organizuotas paprastumas“
„organizuotas sudėtingumas“
organizuoto sudėtingumo lygis
organizuotumas
organizuotumo laipsnis
organizuotumo lygis
orientuota į tikslą sistema

parametrinė sistemų teorija
parasimpatinė nervų sistema
pasaulio neišsemiamumas
pasyvieji sistemos elementai
pasyvioji sistema

pasyvi orientuota į tikslą sistema
 pasyvus objektas
 patenkinamas sprendinys
 paveldimumas
 percepcinis modelis
 perėjimo tikimybė
 pilnai autoregeneruojanti savo struktūrą sistema
 pilnai autoregeneruojanti savo substratą sistema
 pilnai išoriškai regeneruojanti savo struktūrą sistema
 pilnai išoriškai regeneruojanti savo substratą sistema
 pilnai pasyvi sistema
 pilnai patikima sistema
 pilnumo reikalavimas
 pirmasis informacinis barjeras
 pirmasis mokslų sistemos „matavimas“
 pirmasis planas
 pirmasis termodinamikos principas (dėsnis)
 pirminis poveikis
 pirminis signalas
 pirmojo tipo sistema
 pirmojo tipo sistemos formalizuotas apibrėžimas

reali sistema
 refleksas
 refleksinis valdymas
 regeneravimas
 regeneruojanti savo struktūrą sistema
 regeneruojanti savo substratą sistema
 reguliavimas
 reliacinis sistemos parametras

sąlyginis refleksas
 sąmoningas konstravimas
 SAV
 savaiminis konstravimasis
 save išsaugančių sistemų lygis
 save reguliuojančioji SAV
 savybė
 saviorganizacija
 savivalda
 savivaldos institucija
 sąvoka
 SAV pasirenkanti tikslą
 SAV spektras
 semantika
 semantinis požiūris į informaciją
 signalas
 simbiozė
 simpatinė nervų sistema
 sinergetinis efektas
 sintaksė
 sintaksės taisyklės
 sintaktika
 sistema
 sistema dalinai autoregeneruojanti savo struktūrą
 sistema dalinai autoregeneruojanti savo substratą
 sistema išoriškai regeneruojanti savo struktūrą
 sistema išoriškai regeneruojanti savo substratą

pirmojo tipo sistemos verbalinis apibrėžimas
 pirmosios kartos AVS
 „Piterio“ dėsnis
 planavimas
 Planko konstanta
 „polinominiai“ uždaviniai
 polinominis uždavinio sprendimo laiko didėjimas
 posistemis
 posistemių hierarchija
 posistemių reliatyvumas
 Povarovo sistemų sudėtingumo klasės
 pragmatika
 praktiškai neišsprendžiamas uždavinys
 praktinė uždavinio išsprendžiamumo riba
 predikatas
 predikatų skaičiavimas
 procesų tempai
 programinė AVS įranga
 programinis valdymas
 programų sudėtingumas
 „proto ataka“
 protonas
 P uždavinys

reliacinio sistemos parametro reikšmė
 reliatyvumas
 Rymano penktoji hipotezė
 robotas
 robotų kartos
 rochrematika
 rochrematinė (medžiaginė) sistema

sistema „žmogus – mašina“
 sisteminė analizė
 sisteminė savybė
 sisteminio parametro reikšmės
 sisteminis analitikas
 sisteminis mąstymas
 sisteminis matymas
 sisteminis požiūris
 sisteminis projektas
 sisteminis projektuotojas
 sisteminis santykis
 sistemos apibrėžimas
 sistemos dekompozicija
 sistemos elementas
 sistemos elemento sąvokos reliatyvumas
 sistemos elementų skaičius n
 sistemos konceptas
 sistemos koncepcinis sudėtingumas
 sistemos posistemis
 sistemos posistemio sąvokos reliatyvumas
 sistemos sąvokos apibrėžimo formalizavimas
 sistemos sąvokos reliatyvumas
 sistemos sisteminis sudėtingumas
 sistemos struktūra
 sistemos struktūrinis sudėtingumas
 sistemos substratas
 sistemos substratinis sudėtingumas

sistemos sudėtis
 sistemos tobulinimo etapai
 sistemų evoliucija
 sistemų hierarchija
 sistemos sudėtingumo Biro lygiai
 sistemos sudėtingumo Bouldingo lygiai
 sistemos sudėtingumo Kliro lygiai
 sistemų sudėtingumo laipsnis
 sistemų sudėtingumo lygiai: paprastos,
 sudėtingos ir labai sudėtingos sistemos
 skaičiavimų sudėtingumas
 socialinė sistema
 socialinių organizacijų lygis
 solitonas
 specifinė savybė
 S_0 , S_1 , S_2 tipo sistemos
 stabili pusiausvyra
 stabili sistema
 stabilizavimas
 stabilumas
 stacionari sistema
 stacionarumas
 statinė sistema
 statika
 statistinės informacijos sąvoka
 statistinė informacijos teorija
 statistiniai duomenys
 stimulus
 stochastinė sistema

Šenono formulė
 „šiluminė mirtis“

taikymo etapas
 tarpelementiniai ryšiai
 tarpelementinių ryšių skaičius S_n
 tarpelementinių ryšių maksimalaus skaičiaus
 formulė
 taškinė funkcija
 techninė AVS įranga
 techninė sistema
 technologinė normatyvinė organizacinė
 dokumentacija (TNOD)
 teigiamas grįžtamasis ryšys
 teiginių skaičiavimas
 teisminė valdžia
 termodinamika
 termodinamikos principai
 termodinaminė entropija
 „termostato – homeostato“ lygis
 tiesinė sistema
 tiesinė sistema makrolygyje
 tiesinė sistema mikrolygyje
 tiesioginė dekompozicija

Ujomovo dedukcinė parametrinė sistemų teorija
 universalioji idealių dujų konstanta R
 universalumas
 universumas

strata
 struktūra
 struktūrinė normatyvinė organizacinė
 dokumentacija (SNOD)
 struktūrinė savybė
 struktūrinės reliacinės sistemos parametras
 struktūrinis sudėtingumas
 struktūriškai daugiamatė sistema
 struktūriškai heterogeninė sistema
 struktūriškai homogeninė sistema
 struktūriškai taškinė sistema
 struktūriškai tiesinė sistema
 struktūrizavimas
 struktūros hierarchizacija
 struktūrų klasės
 subjektyvusis sistemos sudėtingumas
 substancionaliai (semantiškai) pilna teorija
 substratas
 substratinis reliacinis sisteminis parametras
 substratinis sudėtingumas
 substratiškai heterogeninė sistema
 substratiškai homogeninė sistema
 sudėtinga sistema
 sudėtingumas
 sudėtingumo kiekybinio vertinimo problema
 sudėtingumo kokybinis vertinimas
 sudėtingumo problema
 sudėtingumo vertinimo problema

šilumos kiekis
 šilumos kiekio formulė

tiesioginis ryšys
 tiesioginis valdymas
 tiesioginio valdymo „mechanizmai“
 tikslo siekianti sistema
 tikslų derinimo (koordinavimo) principai
 tikslų derinimo (koordinavimo) problema
 tipinė technologija
 tipinis makromodelis
 tipinis mikromodelis
 tipinis projektas
 „tradiciniai“ mokomieji dalykai
 „tradiciniai“ mokslai
 „tradicinė“ mokslų sistema
 „tradicinė“ sistemų klasifikacija
 „transcendentinis“ sistemų sudėtingumo lygis
 transuždavinys
 trečiasis termodinamikos principas
 trigerinis registras
 trigeris

užbaigtumas
 uždara sistema
 uždarų sistemų teorija
 uždavinio sudėtingumas

vaizdų atpažinimo sistema
valdančioji sistema
valdymo funkcija
valdymo objektas
valdymo operacija
valdymo procesas
valdymo sistema
valdymo subjektas
valdomoji sistema
vandenilinis ryšys
varietyvumas

vegetacinė nervų sistema
vertybių skalė
vėlavimas
vidinis valdymas
vienareikšmiškumas
vienvisas
vykdomoji valdžia
Visata
visuminis pasaulio supratimas
visuomenė

zoocenoze

„žmogaus“ lygis
Žemės masė

„žmogiškoji“ AVS dalis

UŽDUOTYS

1.6.1. Grįžkite prie užduoties 1.2.20. Pabandykite atsakyti į priešpaskutinį klausimą, suformuluotą užduoties 1.2.20 pabaigoje, ir palyginkite dabartinį savo atsakymą su tuo atsakymu, kurį Jūs davėte, vykdydami užduotį 1.2.20. Ką naujo Jūs sužinojote, susipažinę su sistemos sąvokos apibrėžimu?

1.6.2. Raskite keletą pirmojo tipo sistemų pavyzdžių ir nurodykite tų sistemų elementus, sisteminius santykius ir sistemines savybes. Ar turi tos sistemos savybių ir santykių, kuriuos tų sistemų atžvilgiu būtų galima pavadinti nesisteminiais?

1.6.3. Raskite daugiapakopės hierarchinės pirmojo tipo sistemos pavyzdį ir išvardinkite jos posistemius ir elementus. Pasinaudodami tuo pavyzdžiu, parodykite sąvokų „sistema“, „posistemis“ ir „elementas“ reliatyvumą.

1.6.4. Išnagrinėkite formalizuotą pirmojo tipo sistemos apibrėžimą ir pritaikykite jį įrodymui, kad Jūsų išnagrinėtos, atliekant užduotį 1.6.2., sistemos tikrai yra pirmojo tipo sistemos.

1.6.5. Raskite emerđžentiškumo pavyzdžių ir suraskite konkrečių emerđžencijos reiškinių paaškinimus. Nustatykite ryšį tarp emerđžencijos ir kiekybės perėjimo į kokybę reiškinių.

1.6.6. Raskite pavyzdžių, iliustruojančių ir konkretizuojančių teiginį, kad, jungiant elementus į sistemą, gali atsirasti naujų savybių ir pačiuose jungiamuose elementuose. Įrodykite, kad, keičiant elemento vietą sistemoje, jo struktūrinės savybės gali keistis.

1.6.7. Išnagrinėkite pirmuosius keturis sisteminės metodologijos principus, suformuluotus metodinėje priemonėje [5], ir paaškindite juos. Pabandykite užrašyti tuos principus formalizuota Ujomovo kalba, t. y. ternarine TSF kalba.

1.6.8. Raskite natūralių ir dirbtinių pirmojo tipo sistemų pavyzdžių. Ar visos tos sistemos turi savo tikslus? Ar visada sutampa sistemų kūrėjų tikslai su sukurtų sistemų tikslais?

1.6.9. Raskite organizacijų pavydžių. Ar visi organizacijų elementai turi nuosavus tikslus? Ar visada organizacijos aktyviųjų elementų tikslai sutampa su organizacijos tikslais? Norint valdyti organizacijos elementų, turinčių nuosavų tikslų, veiklą, ką tikslingiau bandyti valdyti: tų elementų tikslus ar betarpiškai tų elementų veiksmus? Iliustruokite savo tvirtinimą konkrečiais pavyzdžiais.

1.6.10. Pateikite sistemos sudėties apibrėžimą ir konkretizuokite tą apibrėžimą pavyzdžiais. Kaip, Jūsų nuomone, sistemos sudėtį galima būtų aprašyti naudojantis ternarine TSF kalba?

1.6.11. Pateikite sistemos struktūros apibrėžimą ir konkretizuokite tą apibrėžimą pavyzdžiais. Kaip, Jūsų nuomone, sistemos struktūrą galima būtų aprašyti naudojantis ternarine TSF kalba?

1.6.12. Ar gali funkcionaliai skirtingos sistemos turėti vienodą ar bent jau panašią struktūrą? Ar gali „aparatiškai“ vienodos sistemos vykdyti skirtingas funkcijas? Iliustruokite savo atsakymus konkrečiais pavyzdžiais.

1.6.13. Išnagrinėkite metodinėje priemonėje [5] izomorfizmo principo aprašymą ir raskite dar keletą izomorfizmo pavyzdžių. Kokią reikšmę izomorfizmo reiškiniai turi sistemų teorijoje ir, apskritai, moksle?

1.6.14. Raskite keletą antrojo tipo sistemų pavyzdžių ir nurodykite tų sistemų elementus, jų savybes, sisteminius santykius. Kuo skiriasi pirmojo sistemų tipo apibrėžime minimos savybės nuo savybių, minimų antrojo tipo sistemų apibrėžime? Kuriam sistemų tipui Jūs priskirtumėte duomenų bankus kompiuteryje? O skaičiavimo sistemas („arabiškąją“, t. y. „indiškąją“, „romėniškąją“ ir pan.)?

1.6.15. Kuo skiriasi santykiai, minimi pirmojo tipo sistemų apibrėžime, nuo santykių, minimų antrojo tipo sistemų apibrėžime? Ilustruokite savo atsakymą konkrečiais pavyzdžiais.

1.6.16. Išnagrinėkite formalizuotą antrojo tipo sistemos apibrėžimą ir pritaikykite jį įrodymui, kad sistemos, išnagrinėtos vykdant užduotį 1.6.14, tikrai yra antrojo tipo sistemos. Aprašykite šių sistemų sudėtį ir struktūrą.

1.6.17. Raskite pavyzdžių, iliustruojančių teiginį, kad antrojo tipo sistemų sudarymas leidžia nustatyti dar nežinomų (dar nesurastų) tos sistemos elementų vietą sistemoje ir tų elementų savybes.

1.6.18. Raskite pavyzdžių, iliustruojančių teiginį, kad antrojo tipo sistemų elementai gali betarpiškai nesąveikauti vienas su kitu. Ar pirmojo tipo sistemoje gali būti elementų, betarpiškai nesąveikaujančių nė su vienu tos sistemos elementu? Pabandykite pagrįsti savo tvirtinimą.

1.6.19. Išnagrinėkite keletą sistemos apibrėžimų, esančių knygoje [72]. Pabandykite užrašyti tuos apibrėžimus ternarine Ujomovo kalba ir palyginkite gautas formules su atitinkamomis keturiomis formulėmis knygoje [60], kurias A. Ujomovas gavo išnagrinėjęs daugiau nei 30 apibrėžimų. Kokias išvadas Jūs galėtumėte padaryti iš tokio nagrinėjimo? Kodėl A. Ujomovas iš pateiktų 4 formulių pasirinko tik 2?

1.6.20. Raskite keletą pavyzdžių, iliustruojančių antrojo tipo sistemų, posistemų ir elementų sąvokų reliatyvumą. Ar visos tos sistemos yra reliatyvios antruoju aspektu? Kokie sunkumai, susiję su antruoju sistemos sąvokos reliatyvumo aspektu, iškyla, sudarant automatizuotas informacijos paieškos sistemas ir, apskritai, „žinių bankus“?

1.6.21. Suformuluokite sistemos sąvokų apibrėžimų dualumo principą. Ar gali viena ir ta pati sistema priklausyti ir pirmajam, ir antrajam sistemų tipui? Kodėl pirmojo tipo sistemos vadinamos „konstruktyvinėmis“ („konstravimo“), o antrojo – „sisteminėmis“ („sistemizavimo“) sistemomis?

1.6.22. Ar sisteminių savybių ir sisteminių santykių, o taip pat nesisteminių savybių bei nesisteminių santykių sąvokos yra absoliučios, ar reliatyvios? Ilustruokite savo atsakymus konkrečiais pavyzdžiais.

1.6.23. Pabandykite formalizuoti sisteminių ir nesisteminių santykių bei savybių apibrėžimus.

1.6.24. Pabandykite formalizuoti elemento individualių ir struktūrinių savybių apibrėžimus, o taip pat visos sistemos ir jos elementų savybių apibrėžimus.

1.6.25. Pabandykite formalizuoti pirmojo ir antrojo tipo sistemų sudėties ir struktūros apibrėžimus. Kuo skiriasi pirmojo tipo sistemų struktūra nuo antrojo tipo sistemų struktūros?

1.6.26. Pabandykite pažvelgti į sistemos struktūrą kaip į abstrakčią sistemą ir išskirti sistemos struktūros elementus. Kuo skiriasi sistemos sudėties ir sistemos struktūros elementai? Kas juose yra bendro?

1.6.27. Suraskite sistemos struktūros ir sistemos sudėties elementų konkrečių pavyzdžių.

1.6.28. Suraskite ryšį tarp sistemos sudėties ir struktūros elementų, iš vienos pusės, ir tarp sistemos elementų individualių ir sisteminių (struktūrinių) savybių, iš kitos pusės. Kas yra elemento individualių savybių nešėjas? Kas yra elemento sisteminių (struktūrinių) savybių nešėjas?

1.6.29. Kuo skiriasi sistemos elemento sisteminės (struktūrinės) savybės nuo pačios sistemos sisteminių savybių? Raskite konkrečių pavyzdžių, iliustruojančių Jūsų atsakymą.

1.6.30. Ar gali kai kurios struktūrinės elemento savybės tapti individualiomis? Raskite konkrečių pavyzdžių, iliustruojančių Jūsų atsakymą.

1.6.31. Ar gali elementų individualios savybės veikti į sistemos struktūrą ir ją pakeisti, o tuo pačiu pakeisti ir elementų struktūrines savybes? Raskite konkrečių pavyzdžių, iliustruojančių Jūsų atsakymą.

1.6.32. Kam, Jūsų nuomone, reikalingas bandymas klasifikuoti sistemas? Kokią naudą galėtume gauti, jei mums pavyktų „išrikiuoti“ esamas ir galimas sistemas į tokią struktūrą, kad gautume antrojo tipo sistemą – „sistemų sistemą“?

Pabandykite patys sukonstruoti tokios „sistemų sistemos“ modelį.

1.6.33. Išnagrinėję 1.6.4. skyrelyje pateiktus sistemų klasifikavimo požymius, pasiūlykite dar porą – trejetą ten neišvardintų sistemų klasifikavimo požymių.

1.6.34. Pasirinkę kokią nors konkrečią sistemą, pabandykite nustatyti, kokioms iš 1.6.4. skyrelyje išvardintų klasių ši sistema priklauso.

1.6.35. Pateikite keletą konkrečių pavyzdžių, iliustruojančių pirmojo ir antrojo informacinių barjerų atsiradimo reiškinius. Kas, Jūsų nuomone, tuose reiškiniuose yra absoliutaus, o kas reliatyvaus? Atsakymus iliustruokite pavyzdžiais. Koks ryšys egzistuoja tarp informacinių barjerų sąvokų ir sistemos sudėtingumo lygių (paprasta, sudėtinga, supersudėtinga) sąvokų?

1.6.36. Kodėl kurti automatizuotas sistemas gali būti ne tik naudinga, bet ir būtina? Ką, Jūsų nuomone, vadina „kolektyvinio proto“ sistemomis? Atsakymus iliustruokite pavyzdžiais.

1.6.37. Raskite atvirų ir uždarų sistemų, katabolizmo ir anabolizmo pavyzdžių. Kodėl atvirose sistemose entropija gali mažėti, o uždaroje sistemose mažėti negali? Pateikite pavyzdį, iliustruojantį entropijos didėjimą uždaroje sistemoje, nesutampantį su mokymo priemonėje pateiktu pavyzdžiu.

1.6.38. Ką vadina ekvifinališkumu? Raskite ekvifinališkumo pavyzdžių.

1.6.39. Pateikite formalių sistemų pavyzdžių, nepaminėtų šioje mokymo priemonėje. Kuo formaliose teorijose užsiima jų sintaksė, o kuo – semantika?

1.6.40. Kuo užsiima „kibernetika siaurąja prasme“, o kuo – „kibernetika plačiąja prasme“?

1.6.41. Pateikite konkrečių AVS ir SAV pavyzdžių. Kuriems SAV poklasiams Jūsų paminėtos SAV priklauso? Kuo skiriasi SAV nuo AVS?

1.6.42. Pateikite po keletą determinuotų, stochastinių ir neapibrėžtinių sistemų pavyzdžių. Pailiustruokite konkrečiais pavyzdžiais L. Zadeh teiginį apie klasikinės matematikos nepakankamumą ir jos papildymo tikslumą.

1.6.43. Pateikite pilnų ir nepilnų (laikini ir absoliučiai) antrojo tipo sistemų pavyzdžių. Kuo artimos ir kuo skiriasi uždaro ir pilnumo bei atviro ir nepilnumo sąvokos?

1.6.44. Pateikite konkrečių ir abstrakčių sistemų pavyzdžių ir paaiškinkite, kuo skiriasi abstrakti sistema nuo konkrečios sistemos. Prisiminkite abstrahavimo ir konkretizavimo operacijas, aprašytas 1.5. skyriuje. Pabandykite pritaikyti abstrahavimo operacijas konkrečių sistemų pavyzdžiams ir konkretizavimo operacijas abstrakčių sistemų pavyzdžiams. Kokias išvadas galėtumėte padaryti iš šio eksperimento?

1.6.45. Pateikite formalizavimo operacijos ir kokios nors formalios sistemos pavyzdį. Ką bendro turi ir kuo skiriasi formalizavimo ir abstrahavimo operacijos? Kodėl, kuriant formalių sistemų modelius bei formalius apibrėžimus, tenka naudotis abstrahavimo operacija? Atsakymą iliustruokite pavyzdžiais.

1.6.46. Pateikite realios ir virtualios sistemos pavyzdį, taip pat pavyzdį realios sistemos, kurią kadaise laikė virtualia. Ką Jūs esate girdėję apie „virtualias ESM“? Ką ši sąvoka reiškia? Kaip ir kodėl ji atsirado?

1.6.47. Kuo vadovaudamiesi mes skirstome sistemas į informacines, energetines ir medžiagines? Pateikite tokių sistemų pavyzdžių. Ar šiuo klasifikavimo būdu galima aprėpti visas pirmojo tipo sistemas? Atsakymą pagrįskite.

1.6.48. Pateikite techninių, organizminių ir organizacinių sistemų pavyzdžių, taip pat supraorganizmų ir kompleksinių sistemų pavyzdžių. Išvardinkite pagrindines šių klasių sistemų savybes, nurodydami pasinaudojimo tomis savybėmis atvejų pavyzdžius.

1.6.49. Pateikite pilnai pasyvių sistemų, pasyvių, tačiau orientuotų į tikslą ir aktyvių sistemų pavyzdžių. Kuo skiriasi šių sistemų elgesys ir valdymas?

1.6.50. Pateikite determinuotų ir nedeterminuotų sistemų pavyzdžių. Kuo skiriasi determinuotų ir nedeterminuotų sistemų valdymo „mechanizmai“? Pateikite tiesioginio ryšio ir atbulinio ryšio „mechanizmus“ pavyzdžių. Kuo skiriasi teigiamo ir neigiamo grįžtamojo ryšio „mechanizmai“? Kur ir kada jie taikomi?

1.6.51. Kuo skiriasi stochastinės ir neapibrėžtinės sistemos? Kurias iš jų galima pavadinti didelėmis silpnai organizuotomis homogeninėmis sistemomis bei tokių sistemų mišiniais? Ką vadina „organizuotu sudėtingumu“? Pateikite sistemos, kurią būtų galima priskirti „organizuoto sudėtingumo“ klasei, pavyzdį. Koks matematinis aparatas taikomas tokių sistemų modeliavimui?

1.6.52. Pateikite tolydžių, diskrečių ir mišrių sistemų pavyzdžių. Kuo skiriasi tokių sistemų modeliavimo matematiniai aparatai?

1.6.53. Kodėl sistemotyra labiau domina netiesinės sistemos? Kodėl atskirai išskiriama tiesinių sistemų klasė? Pateikite tiesinių ir netiesinių sistemų pavyzdžių.

1.6.54. Kodėl sistemotyra labiau domina dinamių, o ne statinių sistemų modeliavimas? Pateikite statinių ir dinamių sistemų pavyzdžių.

1.6.55. Kokios sistemos vadinamos paprastomis, kokios – sudėtingomis, kokios – labai sudėtingomis? Pateikite sudėtingų, paprastų ir labai sudėtingų sistemų pavyzdžių.

1.6.56. Su kokiais sunkumais susiduriame, norėdami išmatuoti sistemos substratinį, struktūrinį, koncepcinį ir sisteminį sudėtingumus? Ką vadiname informacine entropija ir kaip ji taikoma informacijos kiekio apskaičiavimui? Pateikite informacinio pranešimo ir informacijos kiekio apskaičiavimo pavyzdį. Ką turi bendro ir kuo skiriasi informacinės ir termodinaminės entropijos sąvokos?

1.6.57. Ką vadina Bremermano riba ir kur ji taikoma? Kaip vertinamas algoritmų sudėtingumas ir kaip tas sudėtingumas gali augti, didėjant kintamųjų skaičiui n ? Apibūdinkite $NP=P?$ problemą.

1.6.58. Apibūdinkite tradicinę (dalykinę) sistemų klasifikaciją. Ką vadina pirmuoju, o ką – antruoju mokslų sistemos „matavimu“? Paaiškinkite, kodėl matematika – toks universalus mokslas, kurį galima taikyti pačios įvairiausios prigimtios sistemos? Kas yra matematikos mokslo objektas?

1.6.59. Apibūdinkite Bouldingo evoliucinę sistemų klasifikavimo sistemą, pateikdami po pavyzdį sistemos, atitinkančio kiekvieną tos sistemos lygį.

Kodėl Bouldingo sistema pavadinta „evoliucine“?

1.6.60. Ką vadina reliaciniu bendrasisteminiu parametru? Pateikite tokio parametro pavyzdį ir jo taikymo sistemų klasifikavimui pavyzdį.

1.6.61. Ką vadina atributiniu bendrasisteminiu parametru? Pateikite tokių parametrų ir jų taikymo sistemų klasifikavimui pavyzdžių.

1.6.62. Trumpai apibūdinkite A. Ujomovo pasiūlytą dedukcinės parametrinės bendrosios sistemų teorijos sukūrimo idėją ir bandymus empiriniu būdu ieškoti priklausomybių tarp atributinių bendrasisteminių parametrų.

1.6.63. Ką Jūs esate girdėję apie Dž. Kliro pasiūlytą sistemų modelių klasifikavimo sistemą ir apie USUS architektūrą? Susipažinkite su Dž. Kliro knyga [80].

1.6.64. Susipažinkite su studento Egidijaus Pilypo referatu, skirtu 1.6. skyriaus temai. Atkreipkite dėmesį į savarankišką ir originalų minčių dėstymo stilių tame referate, rodantį, kad referatas parašytas po to, kai jo autorius gerai apmąstė perskaitytą šio skyriaus tekstą ir jau galėjo parašyti referatą „iš galvos“, o ne kompiliuodamas mokymo priemonės tekstą bei nedrįsdamas leisti savo minčiai nuo jo atitrūkti. Kuo Jūs norėtumėte ir galėtumėte papildyti šį referatą? Parašykite recenziją šiam referatui.