ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ НАРОДНЫМ ХОЗЯЙСТВОМ

УДК 60.6

МЕТАДАЛАГІЧНЫЯ ПРАБЛЕМЫ СУЧАСНАЙ СТАТЫСТЫКІ

М. І. ЯГОРАНКАЎ
Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны тэхнічны універсітэт імя П. В. Сухога», Рэспубліка Беларусь

І. Я. СТАРАДУБЦАЎ
Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны універсітэт імя Ф. Скарыны», Рэспубліка Беларусь

М. М. СТАРАДУБЦАВА
Установа адукацыі «Гомельскі дзяржаўны медыцынскі універсітэт», Рэспубліка Беларусь

Уводзіны

У сучасных навуках, у тым ліку ў фінансава-эканамічнай, пануюць стахастычныя мадэлі, размеркаванне імавернасці падзей (зменнай стану x сістэмы), у якіх апісваецца «экспанентавым» $f(x) \; ! \; ae^{bx}$ або «нармальным» $f(x) \; ! \; \frac{1}{\forall\sqrt{2\exists}} e^{\frac{((x \;\; \#)/\forall)^2}{2}}$ законамі, дзе # – сярэдняе значэнне x; ∀ – стандартнае адхіленне (сярэднеквадратычнае адхіленне – шырыня роскіду ўсіх x вакол #). Лічыцца, што першы закон характэрны для «элементарных», а другі – для «складаных» аб'ектаў. Шчыльнасць імавернасці размеркавання падзей у апошнім выпадку апісваецца сіметрычнай каўпакападобнай крывой з хутка спадаючымі хвастамі («агіва Гальтана», крывая Лапласа-Гаўса, якая ў большасці выпадкаў называецца крывой Гаўса; класічная статыстыка, тыповы аналаг падзей – «выпадковае блуканне», «працэс браўнавага руху»). Менавіта такога роду форма размеркавання атрымала назву «нармальнага» закону. Тым самым як бы падкрэсліваецца, што іншыя формы з'яўляюцца «няправільнымі» (ненармальнымі) [1, с. 40–44]. Інакш кажучы, іх проста не павінна быць, хоць гэта ніадкуль не вынікае (у прыкладных навуках «карыстаюцца гаўсавым размеркаваннем, мяркуючы, што неабходнасць гэтага даказана матэматыкамі, у той час як матэматыкі вывучаюць гаўсава размеркаванне, таму што вераць, што універсальнасць яго прымянення даказана» вучонымі прыкладных навук [2, с. 107]). Гаўсава крывая грунтуецца на прынцыпах статыстычнай незалежнасці і адноснага «раўнапраўя», «раўназначнасці», «раўнацэннасці», «аднароднасці» падзей (кожная падзея ўносіць уклад у агульную суму, аднак ні адна з іх не вызначае статыстычны вынік). Папярэдняя падзея (напрыклад, змяненне цаны) не ўплывае на наступную – кожная падзея не залежыць ад папярэдняй. У статыстыцы незалежных раўназначных падзей імавернасць адначасовага з'яўлення падзей A і B, імавернасць з'яўлення якіх паасобку больш за нуль, адпавядае здабытку імавернасцей гэтых асобных падзей [3, с. 16]. Класічная статыстыка выкарыстоўваецца механікай, фізікай, хіміяй, біялогіяй і сацыяльнымі навукамі, у тым ліку і эканомікай, для апісання сістэм самай рознай прыроды: памеру кропель вады ў хмарах; кінетычнай энергіі малекул газа і зорак; тэрмічнага шуму, вагання цэн ва ўмовах дасканалай канкурэнцыі, памеру часцінак залатаносных россыпаў [1], [4]. Напрыклад, у аснове шырока вядомай гіпотэзы эфектыўнага рынку (дасканалай канкурэнцыі) ляжыць менавіта мадэль выпадковага блукання, прапанаваная Луі Башэльe. Згодна з ёй, паслядоўныя змены цэн статыстычна незалежны, рух цэн выпадковы і вагаецца вакол «аб'ектыўнай цаны», якая вызначаецца кансэнсусам вялікай колькасці рацыянальна думаючых удзельнікаў. «У традыцыйнай тэорыі лічыцца, што цэны змяняюцца няспынна, і кожны інвестар мае такое ж мізэрнае значэнне, як і любы другі, іх гандаль падобны сутыкненню малекул у газавай камеры – мільёны актаў абмену малюсенькай колькасцю энергіі» [1, с. 309]. Пры гэтым маюць месца роўныя ўмовы для ўсіх удзельнікаў рынку (элементаў сістэмы). Для «элементарных» аб'ектаў графік лагарыфма размеркавання імавернасцей падзей з'яўляецца простай лініяй.

Вядома, аднак, форма статыстыкі, у якой шчыльнасць імавернасці размеркавання падпарадкоўваецца ступеневаму (гіпербалічнаму) закону тыпу $f(x)\,!\,ax^{\,b}$ [1, с. 195]; [5, с. 560, 568]. Напрыклад, статыстыка Кашы, у якой функцыяй прыведзенай шчыльнасці імавернасці з'яўляецца $f(x)\,!\,1/\exists(1\%x^2)$ [1, с. 338]. У выпадку ступеневага закону размеркавання падзей крывая шчыльнасці імавернасці іх размеркавання ў адрозненне ад выпадку нармальнага закону (хутка спадаючыя хвасты і концая дысперсія) мае «тоўстыя» («тлустыя», «цяжкія») хвасты і бясконцую дысперсію. Сістэмы, якія не парадкоўваюцца закону Гаўса, шырока распаўсюджаны ў прыродзе, тэхніцы і грамадстве.

Адным з першых ступеневы закон размеркавання падзей у эканоміцы апісаў італьянскі сацыёлаг і эканаміст В. Парэта напрыканцы XIX ст. [1, с. 195]. Ён выявіў, што размеркаванне даходаў сярод насельніцтва ва ўсіх краінах і ва ўсе эпохі не падпарадкоўваецца «нармальнаму» закону. Доля багатых, гэта значыць тых, якія маюць асабісты даход вышэй пэўнага ўзроўню (u), апісваецца формулай [1, с. 353]:

$$y\,!\,(u/m)^{\,\&},$$

дзе m – мінімальны даход; $\&$ – параметр Парэта. У лагарыфмічных восях (двойчы лагарыфмічны графік) формула апісвае простую лінію з нахілам $\&$. Парэта атрымаў нахіл, роўны 3/2, які сведчыць аб тым, што асноўная маса грамадскага багацця сканцэнтравана ў руках багатай меншасці (чым меншы нахіл, тым больш раўнамерна размеркаваны даходы; раўнамернае размеркаванне адпавядае $\&\,!\,1$). Згодна з формулай Парэта, у існуючай эканоміцы грошы нараджаюць грошы (магчымасць стаць багатым большая для больш багатых), улада нараджае ўладу. Паказчык $\&$ у формуле Парэта – гэта «колькасны выраз несправядлівасці ў грамадстве» [1, с. 193–200].

Пазней размеркаванні ступеневага тыпу (простая лінія двойчы лагарыфмічнага графіка) выявіў эканаміст Г. Сайман (размеркаванне населеных пунктаў па колькасці жыхароў, паказчык $\&$ блізкі да 2) і матэматык А. Лотка (размеркаванне навуковых работнікаў па колькасці апублікаваных імі работ; паказчык $\&$ вагаецца паміж 2 і 3). Многа прыкладаў, калі выпадковыя падзеі апісваюцца аналагічнымі па характару размеркаваннямі, сабраў Дж. К. Цыпф [5, с. 559–560]. У прыватнасці, такога роду законам апісваецца ўжываемасць слоў (размеркаванне іх частотнасці) у літаратурнай і гутарковай мовах (размеркаванне Цыпфа). Больш дакладным з'яўляецца, як паказаў пазней Б. Мандэльброт, размеркаванне $y\,!\,A(x\,\%C)^{\,\&}$, дзе C – сталая велічыня (размеркаванне Цыпфа-Мандэльброта). Двойчы лагарыфмічны графік з'яўляецца таксама характэрным для размеркавання арганізмаў па памерах у розных экасістэмах (глебавай фауны, акеанскага мезапланктона і інш.) [6]; колькасці землетрасенняў па іх магнітудзе, выпраменьвальнай пры разбурэнні матэрыялаў энергіі, пругкіх імпульсаў у працэсе механічнага драблення цвёрдых цел (неаднародныя сістэмы) [4]; колькасці метэарытаў па масе [7], колькасці часцінак у агрэгаце ад яго памеру, якія фарміруюцца пры лазерным выпарэнні металаў [8]. Выяўлена, што двойчы лагарыфмічная лінейная рэгрэсія мае месца для залежнасцей «складанасць-устойлівасць» элементаў як жывых (напрыклад, арганізмы), так і нежывых (напрыклад, атамы) неаднародных сістэм [9, с. 7–23.]. У першым выпадку яна дадатная, у другім – адмоўная.

Аналіз эксперыментальных стахастычных даных, назапашаных рознымі навукамі (механікай, фізікай, хіміяй, біялогіяй, сацыялогіяй), паказвае, што яны ў асноўным імкнуцца да размеркаванняў, апісваемых менавіта законамі двух тыпаў: «нармальным» (лагарыфмічна нармальным) законам (размеркаванне Гаўса, раўназначныя падзеі, аднародныя сістэмы) і двойчы лагарыфмічным (білагарыфмічным) законам (ступеневы закон, «закон паўтаральнасці», нераўназначныя падзеі, неаднародныя сістэмы). Так, два тыпы размеркаванняў характэрны для працэсу механічнага драблення цвёрдых цел [4]. Згодна з Мандэльбротам разгледжаныя два тыпы размеркаванняў – гэта «дзве крайнасці» размеркавання для «складаных» сістэм [1, с. 202]. Іх цэлым спектрам другіх «членаў сямейства» звязвае тэорыя «ўстойлівых размеркаванняў» імавернасцей або размеркаванне Леві [1, с. 202, 354]:

$$\log f(t) \; ! \; i)t \quad (\; |t|^{\&} [1 \, \% i э (t / |t|) \tan(\& \exists / 2)] .$$

Устойлівыя размеркаванні утвараюць чатырохпараметрычнае сямейства функцый. Так, размеркаванне Леві мае чатыры ключавыя зменныя, якія вызначаюць канчатковую форму крывой (Гаўса, Парэта і інш.):) – параметр «месцазнаходжання» («зруху»); (– параметр маштабу (вызначае велічыню агульнай імавернасці); э – параметр асіметрычнасці (пры э = 0 крывая сіметрычна); & – параметр, які вызначае «таўшчыню хвастоў». Калі & = 2, а э = 0, то размеркаванне Леві апісвае стандартную крывую (Гаўса), пры & = 1, а э = 0 – крывую Кашы з вельмі «тоўстымі хвастамі» [1, с. 354, 355]. Пры & ∗ 1 ступеневае размеркаванне мае не толькі бясконцую дысперсію, але і бясконцае матэматычнае спадзяванне. Тэорыя ўстойлівых размеркаванняў і размеркаванне Леві не «праліваюць святло» на прыроду і механізм узнікнення ступеневых законаў размеркавання падзей. Неабходна ўлічваць яшчэ адну акалічнасць: у прыродзе ніякая з'ява не можа характарызавацца бясконцымі сярэднімі, або дысперсіямі.

Навуковыя працы Парэта і Цыпфа выклікалі раз'юшанае супраціўленне многіх вучоных і палітыкаў. Па-першае, «двойчы лагарыфмічны лінейны графік паказвае на размеркаванне, якое кідае прамы выклік гаўсавай догме, якая паспела за доўгія гады прызвычаіцца да непадзельнага панавання і не церпіць сапернікаў» [5, с. 559–560]. Па-другое, рэальныя з'явы не заўсёды дэманструюць такую шчыльнасць размеркавання, а Парэта і Цыпф прэтэндавалі на іх універсальны характар. Па-трэцяе, яны закранулі эканамічныя інтарэсы багатых людзей, у тым ліку і вучоных, якія займалі даходныя месцы. Спробы «дыскрэдытаваць эксперыментальныя даныя, атрыманыя з дапамогай двойчы лагарыфмічных графікаў», не спыняюцца і ў наш час [5, с. 559].

Заснавальнік фрактальнай геаметрыі Б. Мандэльброт выявіў, што ступеневыя, гіпербалічныя размеркаванні імавернасцей – гэта «найбліжэйшыя сваякі фракталаў» (у нейкай ступені самападобных геаметрычных утварэнняў), што яны статыстычна самападобны (маштабна-інварыянтны) і назваў такую статыстыку «фрактальнай». Ім уведзена паняцце фрактальнай памернасці прасторы імавернасцей. У такіх размеркаваннях ролю памернасці выконвае паказчык & [5, с. 471–481]. Мандэльброт прыйшоў да высновы, што мае месца некалькі формаў «выпадковасці» і паспрабаваў атаясаміць іх з агрэгатнымі (цвёрдым, вадкім і газападобным) станамі матэрыі [1, с. 11]; [2, с. 78]. Згодна з яго меркаваннем, тэорыя імавернасцей выяўляе «аналогіі з тэорыяй рэчыва», якія выводзяцца «з адных і тых жа прынцыпаў і выкарыстоўваюць адны і тыя ж канцэпцыі – напрыклад, такія, як тэмпература і ціск» [2, с. 79]. Мандэльброт падкрэслівае, што «калі ўвесці ў матэматыку адрозненне паміж станамі выпадку, то гэта толькі дапоўніць матэматыку, але не зменіць яе. Затое ў корані пераверне інтэрпрэтацыю гэтых самых станаў» [1, с. 80]. Мандэльброт піша, што «паняцце *выпадак* выступае ў навуцы ў самых розных формах, і мы толькі выйграем, калі дапусцім, што выпадак можа знаходзіцца ў некалькіх *станах*» [1, с. 77].

Мандэельброт увёў паняцці «*ручнога*», «*стыхійнага*» і «*павольнага*» выпадкаў і паспрабаваў атаясаміць «*ручны*» выпадак з газападобным станам рэчыва, «*павольны*» (логнармальнае размеркаванне – надзвычай павольная выпадковасць) – з вадкім, а «*стыхійны*» – з цвёрдым станам [2, с. 78]. Мандэльброт адзначаў, што агульнапрынятую ў фінансах мадэль выпадковых блуканняў цэн, калі цэны – непарыўныя функцыі часу, а іх флуктуацыі не больш значныя, чым флуктуацыі, якія апісваюцца класічным размеркаваннем Гаўса, інакш кажучы, працэс тыпу браўнавага руху, «вельмі лёгка кваліфікаваць як *ручны*». Але потым ён не толькі змяніў назвы дзвюх першых формаў выпадковасці адпаведна на «*бурную*» і «*мяккую*», але таксама іх сутнасць (напрыклад, «*ручная*» форма стала «*бурнай*»). Можна меркаваць, што ён гэта зрабіў, будучы незадаволеным адпаведнасцю прапанаваных аналогій. У нядаўна выдадзенай кнізе Мандэльброт піша: «Тры стану матэрыі – цвёрды, вадкі і газападобны – вядомы ўжо даўно, з матэматычнага апарату фрактальнай геаметрыі вынікае аналагічная розніца паміж трымя станамі выпадковасці – мяккая, павольная і бурная» [1, с. 11].

Мяккая форма выпадковасці – «самая вядомая і кіруемая. Выпадковасці такой формы падпарадкоўваюцца манета і статыстычныя перашкоды дрэнна настроенага радыё. Яе класічным матэматычным выразам з’яўляецца крывая Гаўса або «нармальнае» размеркаванне выпадковасцей, названае так таму, што доўгі час яно разглядалася як норма прыроды. Лічылася, што тэмпература, ціск або іншыя характарыстыкі прыроды адхіляліся ад сярэдняга значэння менавіта на велічыню, якая дазваляла мець каўпакападобная па форме крывая Гаўса, і ні на ёту больш» [1, с. 67]. Як падкрэслівае Мандэльброт, «да гэтага часу фінансавая тэорыя прытрымлівалася *мяккага* шляху» [1, с. 78].

Бурная форма выпадковасці «размясцілася на процілеглым полюсе шкалы. Яна нашмат больш хаатычная і непрадказальная. ...Скачкі ад аднаго значэння да наступнага неабмежаваныя і палохаючы рэзкія. ...Бурнай форме выпадковасці адпавядае газападобны стан рэчыва: высокія энергіі, адсутнасць структуры і аб’ёму» [1, с. 67–68]. Згодна з Мандэльбротам бурная форма выпадковасці фрактальна па сваёй прыродзе, гэта значыць ёй уласцівы ступеневы закон размеркавання. У якасці прыкладаў гэтай формы выпадковасці ён называе «турбулентны паток, электрычны флікер-шум і рух цаны акцый і аблігацый». Мандэльброт падкрэслівае, што «толькі фрактальнае бачанне рынку дазваляе ацаніць высокую імавернасць катастрафічных змен у цэнах» [1, с. 11].

Павольная форма выпадковасці «знаходзіцца паміж дзвюма гэтымі крайнімі формамі» (прамежкавая зона) [1, с. 67, 68]. Матэматычным прыкладам такой павольнай збежнасці будзе логнармальнае размеркаванне. Такая надзвычай павольная выпадковасць і вызначае ў поўнай меры стан павольнай выпадковасці» [2, с. 86]. Цалкам верагодна, што лімітавыя тэарэмы класічнай тэорыі імавернасцей пры гэтым выконваюцца, але ліміты дасягаюцца «настолькі павольна, што амаль нічога не могуць паведаміць нам аб тым, з чым мы можам сутыкнуцца пры рашэнні канкрэтных задач» [12, с. 88]. У выніку «логнармальная зменная, якая з’яўляецца проста паказчыкам у экспаненцыяльнай падачы некаторай гаўсавай зменнай, здаецца *ручной*. Але калі разглядаць кароткі або сярэдні перыяд часу, то ўсё некуды знікае, і яе паводзіны здаюцца *стыхійнымі*. Да гэтай зменнай ставяцца як да *ручной*, аднак, на самой справе гэта... хамелеон» [2, с. 89].

Мандэльброт уяўляе гэтыя формы выпадковасці як самастойныя сферы са сваімі ўласнымі спецыфічнымі законамі. Праводзячы аналогію гэтых формаў выпадковасці з агрэгатнымі станамі рэчыва, ён піша, што *мяккая* выпадковасць «падобна да цвёрдага стану матэрыі: нізкія ўзроўні энергіі, устойлівыя структуры, строга вызначаны аб'ём. Любы аб'ект знаходзіцца на сваім вызначаным месцы. *Бурнай* выпадковасці адпавядае газападобны стан матэрыі: высокія энергіі, адсутнасць структуры і аб'ёму. І нельга сказаць, што здарыцца з газападобным аб'ектам і куды ён перамесціцца. Нарэшце, *павольная* выпадковасць падобна прамежкаваму стану матэрыі, вадкаму» [1, с. 68]. Асаблівасці розных форм выпадковасці Мандэльброт дэманструе на прыкладзе фінансавых рынкаў (для іх апісання ён пачаў ужываць фрактальную статыстыку напачатку сваёй навуковай кар'еры [2], і менавіта да іх ён вярнуўся [1] пасля дзесяцігоддзяў напружанай працы па стварэнню «фрактальнай геаметрыі прыроды» [5]).

Прапанаваная Мандэльбротам аналогія, безумоўна, не толькі вельмі цікавая, але і важная для матэматыкі, бо матэматыка – гэта навука, якая ў сімвальнай форме апісвае законы прыроды і грамадства. Матэматыка ўзнікла з вытворчых (гаспадарчых, эканамічных) патрэб людзей па пераўтварэнню прыроды, вытворчасці неабходных ім жыццёвых даброт (толькі для недасведчаных абстрактная па форме матэматыка здаецца адарванай і далёкай ад рэчаіснасці). Гэтая аналогія звязана з фундаментальнай для тэорыі імавернасцей і статыстыкі, у тым ліку фінансава-эканамічнай статыстыкі, нявырашанай праблемай вызначэння тыпу статыстычных заканамернасцей працэсаў у рэальных сістэмах да іх эксперыментальнага даследавання, праблемай адказу на пытанне: розныя формы статыстыкі адлюстроўваюць розныя станы сістэмы ці розную прыроду яе элементаў? Даная праблема нагадвае праблему, якая існавала калісьці ў тэорыі нелінейных дыферэнцыяльных раўнанняў, якія аналітычна неразвязальныя. Сёння матэматыкі ведаюць, як па віду такога раўнання, не развязваючы яго, вызначыць паводзіны сістэмы, якую яно апісвае.

Рэальныя сістэмы, уключаючы эканоміку, апісваюцца раўнаннямі стану, частка якіх аналітычна не развязваецца [10]. Ці можна па віду гэтых раўнанняў стану сістэмы прадказаць тып статыстыкі, якая будзе адэкватна апісваць яе стахастычныя паводзіны? З гэтай праблемай звязана і праблема сістэматызацыі, узаемасувязі розных тыпаў статыстык, вызначэнне структуры іх агульнай прасторы, структуры поля тэорыі імавернасцей.

Мэта работы

Аналіз аналогіі форм выпадковасці (форм статыстыкі) і станаў нелінейнай дынамічнай сістэмы (у першую чаргу, аналогіі форм фінансава-эканамічнай статыстыкі і станаў таварна-грашовай гаспадаркі).

Вынікі даследаванняў і іх абмеркаванне

Мандэльброт фактычна не бачыць розніцы паміж тэрмінамі «матэрыя» і «рэчыва» [1, с. 11, 68]; [2, с. 78, 79]: агрэгатныя станы рэчыва (цвёрды, вадкі і газападобны) ён называе то формамі матэрыі, то формамі рэчыва [1, с. 11, 68]. Аднак матэрыя, як вядома, можа існаваць на макраўзроўні ў двух формах (рэчыва і поле), а на мікраўзроўні – у выглядзе «рэчыва-поле» (часцінка-хваля). Агрэгатныя станы характарызуюць рэчыва, а не поле.

Сувязь формаў выпадковасці, дакладней формаў фінансава-эканамічнай статыстыкі, са станамі рэчыва з'яўляецца, згодна з нашым меркаваннем, геніяльнай здагадкай (гіпотэзай) Мандэльброта, першы крок да якой зрабіў яшчэ Л. Башэлье, які выявіў аналогію паміж рассейваннем святла, дыфузіяй цяпла ў рэчыве і ваганнямі вартасці аблігацый (адапціраваў раўнанні адной галіны навукі да задач другой галіны, назваўшы сваю методыку «выпраменьваннем» і «рассейваннем» імавернасцей). Адзначым, што грамадства, як сцвярджаў яшчэ Маркс, развіваецца па такіх жа строгіх законах, як і прырода, а асновай развіцця грамадства з'яўляецца эканоміка: «Я гляджу на развіццё эканамічнай грамадскай фармацыі як на прыродна гістарычны працэс», – пісаў Маркс у прадмове да першага выдання «Капіталу» [11, с. 10].

Мы прыйшлі да ідэі аб аналогіі рэчыва і эканомікі (таварна-грашовай гаспадаркі), зыходзячы некалькі з другіх меркаванняў [10]. Таварна-грашовая гаспадарка з'яўляецца сукупнасцю мноства працуючых суб'ектаў гаспадарання, якія на мове мадэліравання можна назваць «часцінкамі, якія рухаюцца». Гэтыя «часцінкі» ўзаемадзейнічаюць паміж сабою і ўплываюць адна на другую. Гэта нелінейная (патэнцыяльная, градыентная) дынамічная сістэма. На мове матэматыкі – гэта звязнае мноства. Дзве сістэмы, якія на першы погляд не маюць адна да другой ніякага дачынення, менавіта рэчыва і эканоміка (у прыватнасці, таварна-грашовая гаспадарка), на мове матэматыкі (матэматычных мадэляў) з'яўляюцца рознымі праявамі аднаго аб'екта – гэта ізаморфныя (структурна падобныя) сістэмы, менавіта сістэмы многіх часцінак, якія маюць сілавое поле, рухаюцца і ўзаемадзейнічаюць паміж сабою (для рэчыва часцінкамі з'яўляюцца малекулы, для таварна-грашовай гаспадаркі – суб'екты гаспадарання). Такім чынам, яны павінны падпарадкоўвацца аднолькавым законам, апісвацца падобнымі па форме раўнаннямі станаў, праяўляць падобныя ўласцівасці, у тым ліку стахастычныя.

Аналогія Мандэльброта (канкрэтных форм выпадковасці, форм статыстыкі) з канкрэтнымі станамі рэчыва, заслугоўвае ўвагі, але з'яўляецца, на нашу думку, супярэчлівай. З аднаго боку, тут падкрэсліваецца, што «ў традыцыйнай тэорыі... цэны змяняюцца непарыўна, і кожны асобны інвестар мае такое ж мізернае значэнне, як і любы іншы, іх гандаль падобны сутыкненню малекул у газавай камеры – мільёны актаў абмену малюсенькай колькасцю энергіі» [1, с. 309]. Але калі ўсе ўдзельнікі рынку з'яўляюцца аднолькавымі як малекулы газу (раўнапраўнымі і незалежнымі), то аналогія газападобнага стану рэчыва і класічнай статыстыкі (традыцыйных тэорый) дастаткова абгрунтавана. У той жа час Мандэльброт піша аб адпаведнасці газападобнага стану *бурнай* форме выпадковасці (фрактальнай статыстыцы), а цвёрдага – *мяккай* форме (самай вядомай), матэматычным выразам якой з'яўляецца «нармальнае» размеркаванне. Ён падкрэслівае, што «стандартныя тэорыі фінансаў грунтуюцца на *мяккай* форме выпадковасці», а рэальныя фінансавыя рынкі «найбольш бурныя і ўражваюць уяўленне» [1, с. 68]. Сучасныя фінансавыя рынкі ён назваў турбулентнымі і параўнаў іх з ветрам: «Вецер – гэта класічны прыклад адной з форм руху газападобнага асяроддзя, так званай турбулентнасці. ...Знаёмыя з праявамі турбулентнасці і сувязісты, якія называюць перарывістыя сігналы (хаатычныя і невытлумачальныя пстрычкі і патрэскванні, якія, нягледзячы на ўсе засцярогі, выклікаюць памылкі ў перадачы даных) электронным *мігатлівым шумам*… Падобную турбулентнасць мы назіраем на фінансавых рынках» [1, с. 151–153]. «Ці магчыма сур'ёзна, – пытаецца Мандэльброт, – параўноўваць вецер і фінансавыя рынкі, буру і рэзкае павышэнне дзелавой актыўнасці біржы, ураган і біржавы крах?». «З пункту гледжання асноўных прычын, канешне, – піша ён, – нельга. Але матыматычна магчыма. Адна з дзіўных асаблівасцей навукі заключаецца ў тым, што для апісання нават самых розных, знешне не звязаных адна з другой з'яў магчыма выкарыстоўваць адзін і той жа матэматычны апарат. …Мэтай усяго майго жыцця стала распрацоўка новага матэматычнага інструмента, які… я назваў... фрактальнай геаметрыяй. Метад фрактальнай геаметрыі стаў часткай матэматычнага інструментарыя… Я і іншыя вучоныя на працягу апошніх дзесяцігоддзяў выкрыстоўвалі паняцці фрактальнай геаметрыі для даследавання і будавання мадэляў работы рынкаў» [1, с. 156, 157].

Супярэчнасці ў разважаннях Мандельброта звязаны, на наш погляд, з наступнымі абставінамі. Па-першае, макраскапічныя сістэмы могуць быць «нерухомыя» і «рухомыя» («патокавыя»). Турбулентнасць – уласцівасць патокавых сістэм, адзін з рэжымаў (ламінарны, турбулентны і інш.) цячэння. Яна характэрна не толькі для газападобнага стану. Турбулентность назіраецца ў вадкасці, у тым ліку пры цячэнні вадкасцей, уласцівасці якіх набліжаюцца да цвёрдых рэчываў (турбулентнасць расплаваў палімераў) [12, стб. 664–665]. Не выключана, што яна можа рэалізавацца ў цвёрдым (полікрышталічным) стане рэчыва, калі час назірання вельмі вялікі (вядома, што леднікі «цякуць»). Па-другое, тэрмін «цвёрды» з'яўляецца недакладным. Цвёрдымі з'яўляюцца як крышталічныя (структурна ўпарадкаваныя), так і аморфныя (неўпарадкаваныя) рэчывы – шкло, у тым ліку «шклопадобныя палімеры» [13, стб. 489–501]. Акрамя таго, пры нармальных умовах вадкае рэчыва можа паводзіць сябе як цвёрдае (нават ломкае) пры высокай скорасці дэфармацыі. Напрыклад, струмень раствору палімеру куля разбівае на дробныя кавалкі, як крохкае шкло. У сувязі з гэтым неабходна выкарыстоўваць, на наш погляд, больш дакладную (больш строгую) класіфікацыю станаў рэчыва – не «агрэгатныя» (цвёрдае, вадкае, газападобнае), а «раўнаважныя» і «нераўнаважныя» станы.

Для характарыстыкі раўнаважных станаў (стацыянарных станаў устойлівай і няўстойлівай раўнавагі) рэчыва выкарыстоўваюць фазавую тэорыю. Пры фазавым аналізе адрозніваюць фазы і фазавыя пераходы (пераходныя паміж фазамі станы), якія характарызуюцца (фазавыя пераходы 1-га роду) і не характарызуюцца (фазавыя пераходы 2-га роду) скачкападобнымі змяненнямі ўнутранай энергіі і шчыльнасці, выдзяленнем або паглынаннем цяпла, што адпавядае непарыўнаму (плаўнаму) або скачкападобнаму змяненню першай вытворнай патэнцыяльнай функцыі (тэрмадынамічнага патэнцыялу) [14, с. 6]. Фаза – *аднароднае* (*гамагеннае*) *асяроддзе*, тэрмадынамічна раўнаважны стан сістэмы. У фазе ўсе часцінкі рэчыва знаходзяцца ў «раўнапраўным» становішчы, маюць аднолькавую «вагу», яны «раўназначныя» як амаль аднолькавыя пясчынкі.

Фаза і фазавы пераход 1-га роду рэчыва – гэта яго стацыянарныя (усталяваныя) станы як патэнцыяльнай дынамічнай сістэмы многіх часцінак, якія маюць сілавое поле, рухаюцца і ўзаемадзейнічаюць паміж сабою. Фаза – стацыянарны стан устойлівай раўнавагі, а фазавы пераход 1-га роду – стацыянарны стан няўстойлівай раўнавагі. Стацыянарныя станы – характэрныя ўласцівасці не толькі рэчыва, але наогул нелінейных дынамічных сістэм – сістэм, якія апісваюцца патэнцыяльнымі функцыямі (у прыватнасці, тэорыяй біфуркацый патэнцыяльных функцый – матэматычнай тэорыяй катастроф). Фаза – гэта, на мове тэорыі мностваў, нішто іншае, як «прыцягальнае мноства» або атрактар.

З прынцыпу ізаморфнасці вынікае, што паводзіны рэчыва і таварна-грашовай гаспадаркі апісваюцца аднымі і тымі ж законамі (у прыватнасці, яны маюць адну і тую ж форму раўнанняў стану). Напрыклад, сістэма з сярэднім запасам патэнцыяльнай энергіі, уключаючы сярэднеразвітую таварна-грашовую гаспадарку, апісваецца кубічным раўнаннем стану – аналагам раўнання Ван дэр Ваальса для рэчыва [10]:

$$(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT, \qquad (1)$$

якое можна перапісаць ў форме:

$$p(V - b) + (\frac{a}{V} - \frac{ab}{V^2}) = RT, \qquad (2)$$

дзе V – агульны аб'ём сістэмы, для таварна-грашовай гаспадаркі – аб'ём концых (у рэшце рэшт, спажывецкіх) і прамежкавых (сродкаў вытворчасці) тавараў; b – уласны аб'ём «часцінак», для таварна-грашовай гаспадаркі – аб'ём прамежкавых тавараў; T – параметр, які характарызуе сярэднюю хуткасць руху часцінак або іх сярэднюю кінетычную энергію, для рэчыва – тэмпература, для таварна-грашовай гаспадаркі – хуткасць абарачэння грошай («тэмпература» эканомікі); R – канстанта сістэмы (энергія, неабходная для павелічэння параметра T на адзінку), для рэчыва – газавая канстанта, для таварна-грашовай гаспадаркі – маса грошай у абарачэнні; $(V - b)$ – даступны для руху «часцінак» аб'ём сістэмы, для таварна-грашовай гаспадаркі – аб'ём концых тавараў; RT – агульная (механічная) энергія сістэмы, для таварна-грашовай гаспадаркі – гадавы даход; $(p + \frac{a}{V^2})$ – ціск, для таварна-грашовай гаспадаркі – узровень цэн концых тавараў; $p(V - b)$ – кінетычная энергія сістэмы, для таварна-грашовай гаспадаркі – вартасць выкарыстаных сродкаў вытворчасці і заробак вытворцаў, ці, згодна з Марксам, сума пастаяннага і пераменнага капіталу (частка даходу, якая выкарыстоўваецца ў вытворчасці); $(\frac{a}{V} - \frac{ab}{V^2})$ – патэнцыяльная энергія сістэмы, для таварна-грашовай гаспадаркі – прыбавачная вартасць (частка даходу, якая не выкарыстоўваецца ў вытворчасці, невытворчыя трансакцыйныя выдаткі, звязаныя з недасканалай канкурэнцыяй, манапалізацыяй эканамічных фактараў: сродкі працы, інфармацыя і г. д.).

Павелічэнне V пры $T = \text{const}$ і $b = \text{const}$ звязана з абсалютным памяншэннем $(\frac{a}{V} - \frac{ab}{V^2})$ («патэнцыяльнай энергіі», прыбавачнай вартасці), а павелічэнне T пры $V = \text{const}$ і $b = \text{const}$ – з яе адносным памяншэннем. Пры гэтым кубічнае раўнанне (2) спачатку пераходзіць у квадратнае раўнанне (становіцца нязначным дробны член ab/V^2)

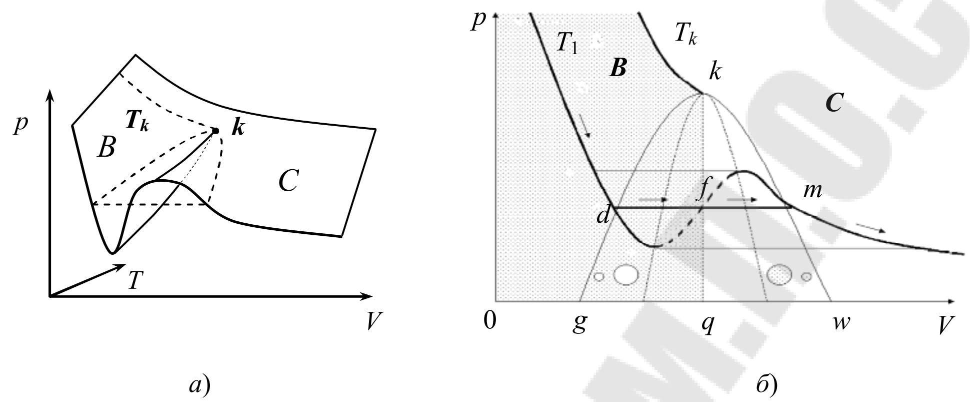
$$p(V - b) + \frac{a}{V} = RT, \tag{3}$$

а потым – у раўнанне першай ступені (становіцца нязначным дробны член a/V)

$$p(V - b) = RT. \tag{4}$$

Графічны развязак раўнанняў (1), (2) і, адпаведна, раўнанняў (3) і (4) (фазавая дыяграма сістэмы) схематычна паказан на мал. 1.

Разгледзім стан і развіццё дынамічнай сістэмы многіх часцінак з сярэднім запасам патэнцыяльнай энергіі на прыкладзе рэчыва, аналізуючы яго фазавую дыяграмму. Яна ўключае вадкі стан (фаза *B*), газападобны стан (фаза *C*) і пераходны паміж імі стан (*B*-*C*), абмежаваны бінадаллю *g*-*d*-*k*-*m*-*w* (фазавы пераход 1-га роду) (мал. 1). Фазавы пераход 1-га роду ад фазы *B* да фазы *C* ажыццяўляецца пры $T = \text{const}$. Пераходная вобласць складаецца з дзвюх частак. Яна ўключае прылеглую да фазы *B* частку, у якой узнікаюць спачатку флуктуацыйныя, а потым стабільныя і паступова ўзрастаючыя ў колькасці і памерах зародкі фазы *C* (дысперсійнае асяроддзе або «матрыца» – фаза *B*, дысперснае асяроддзе або ўключэнні – фаза *C*; кіпячая вадкасць – пузыркі газу ў вадкасці), і прылеглую да фазы *C* частку, у якой змяшчаюцца паступова знікаючыя рэшткі фазы *B* (дысперсійнае асяроддзе – фаза *C*, дысперснае асяроддзе – фаза *B*: кропелькі вадкасці ў газе: пар або туман). У пераходным стане элементарны рух малекулы, якая знаходзіцца ў дысперсійным асяроддзі (вадкасці), можа не змяніць яе «стан» (яна застанецца ў гэтым асяроддзі), але можа і істотным чынам змяніць яго – малекула перамесціцца ў пузырок (дысперснае асяроддзе, газападобную фазу). Гэтыя дзве часткі падзелены граніцай узаемапранікальных фаз (канвергенцыя фаз, лінія *k-f-q*). Паколькі зародкі новай фазы ўзнікаюць і паступова павялічваюцца ў памерах унутры старой фазы, а яна распадаецца на ізаляваныя вобласці, якія паступова памяншаюцца ў колькасці і памерах, то пераходны стан з'яўляецца гетэрагенным станам, неаднародным асяроддзем.



Мал. 1. Фазавая дыяграма сістэмы многіх часцінак, якія маюць сілавое поле, рухаюцца і ўзаемадзейнічаюць паміж сабою: *а* – каардынаты *p-V-T*; *б* – каардынаты *p-T*. Сістэма з сярэднім запасам патэнцыяльнай энергіі

Узнікненне і рост зародкаў новай фазы, таксама як і памяншэнне памераў і знікненне рэшткаў старой фазы пасля пераходу праз граніцу ўзаемапранікальных фаз, з'яўляецца аўтакаталітычным (самапаскаральным) працэсам. Гэта працэсы, якія адпавядаюць залежным, «нераўназначным» падзеям.

Ізаморфнасць рэчыва і таварна-грашовай гаспадаркі (рыначнай эканомікі) з'яўляецца па сутнасці падмуркам аналогіі формаў выпадковасцей сацыяльна-эканамічных падзей (формаў сацыяльна-эканамічнай статыстыкі) і прыродных выпадковасцей. Яна пераводзіць выказанную Мандэльбротам гіпотэзу аб аналогіі структуры тэорыі імавернасцей са структурай тэорыі рэчыва ў ранг тэорыі.

Вернемся да аналізу формаў статыстыкі. «Погляд Кашы цалкам адрозніваецца ад погляда Гаўса, – адзначае Мандэльброт, – у свеце Кашы памылкі размеркаваны не так, як амаль аднолькавыя пясчынкі; яны ўяўляюць сумесь пясчынак, гравію, валуноў і гор» [1, с. 74]. Другі вобраз свету Кашы – папуляцыя жывёл, якія істотна адрозніваюцца па памерах: «колькасць асобін, якія знаходзяцца ў хвасце размеркавання, можа быць невялікай, але іх унёсак у агульную біямасу вельмі значны» [15].

Інакш кажучы, асяроддзе, сістэма або працэс, для якіх характэрна класічная статыстыка, з'яўляюцца аднароднымі, а для якіх характэрна фрактальная статыстыка – неаднароднымі. Такога погляду прытрымліваюцца, зыходзячы з аналізу даных эксперыменту, і аўтары артыкула [4]: аднародны працэс апраксіміруецца «нармальным» законам, а неаднародны – «законам паўтаральнасці». Калі параўноўваць гэтыя меркаванні з меркаваннямі аб фазе і фазавым пераходзе 1-га роду, то відавочна аналогія класічнай статыстыкі з фазай, а фрактальнай статыстыкі – з фазавым пераходам 1-га роду.

Фракталы – характэрная асаблівасць пераходных станаў дынамічных сістэм (станаў няўстойлівай раўнавагі), абласцей пераходу сістэмы ад аднаго да другога стану ўстойлівай раўнавагі, ад аднаго да другога прыцягальнага мноства (атрактара). Напрыклад, фрактальныя структуры ўзнікаюць пры крышталізацыі і кандэнсацыі рэчыва [8]. Пераходны стан – гэта сістэма з памяццю, нелінейная дынамічная сістэма, для якой характэрны «вектар змен» пры паўтаральных аднолькавых уздзеяннях. У такога роду сістэмах падзеі становяцца нераўназначнымі. Падкрэслім, што фазавая тэорыя – гэта тэорыя раўнаважных станаў (стацыянарных станаў устойлівай і няўстойлівай раўнавагі).

Адсюль вынікае, што прынцыпова розных формаў выпадковасці для раўнаважных станаў сістэмы можа быць дзве. Адна форма адпавядае стацыянарнаму стану ўстойлівай раўнавагі – фазе (размеркаванне Гаўса, «нармальны» закон, класічная статыстыка), а другая адпавядае стацыянарнаму стану няўстойлівай раўнавагі – фазаваму пераходу 1-га роду (гіпербалічнае размеркаванне, «закон паўтаральнасці», фрактальная статыстыка). Унутры іх могуць назірацца асаблівасці, аналагічныя тым, якія назіраюцца паміж асобнымі фазамі і асобнымі пераходнымі станамі («кандэнсацыя-выпарэнне», «крышталізацыя-плаўленне» і г. д.). Акрамя таго, могуць існаваць асаблівасці, характэрныя для фазавых пераходаў 2-га роду і крытычных пунктаў фазавай дыяграмы.

Менавіта для фазы з'яўляецца характэрным эфект вяртання ў зыходнае становішча пры невялікіх адхіленнях ад яго, абумоўленых знешнімі фактарамі, які ў эканоміцы называецца «нябачнай рукой рынку» А. Сміта, а ў фізіцы і хіміі – прынцыпам Ле Шатэлье. «Браўнавы рух» як выпадковае блуканне мікрачасцінак выяўлены менавіта ў вадкасці як адной з фаз (стане ўстойлівай раўнавагі, аднародным стане) рэчыва. Менавіта законы статыстыкі, характэрныя для «браўнавага руху» (статыстыкі Гаўса) Башэлье прымяніў для апісання фінансавага рынку, які ў яго час яшчэ адпавядаў умовам свабоднага рынку (быў рынкам мноства незалежных і раўнапраўных удзельнікаў). Менавіта пры фазавых пераходах 1-га роду аднародная сістэма становіцца неаднароднай, з'яўляецца «вектар змен» («страла часу»). Падзеі перастаюць быць незалежнымі і пачынаюць падпарадкоўвацца ступеневаму закону размеркавання (фрактальнай статыстыкі).

Аналаг фазы для «патокавых» сістэм – ламінарнае цячэнне, а фазавага пераходу 1-га роду – турбулентнае цячэнне, пераход да хаатычнага руху (поўнаму хаосу). Калі павялічыць колькасць невядомых (дынамічных зменных сістэмы, якія разглядаюцца ў якасці каардынат N-мернай прасторы) на адзінку, то кожную неаўтаномную сістэму (сістэму, паводзіны якой залежаць ад часу) фармальна можна перавесці ў аўтаномную сістэму [16, с. 97]. Інакш кажучы, час можна прыняць у якасці незалежнай каардынаты і разглядаць сістэму як аўтаномную з $(N+1)$-мернай прасторай. У гэтым выпадку ламінарнае або турбулентнае цячэнне можна атаясаміць са стацыянарнымі (якія не залежаць ад часу) станамі ўстойлівай і няўстойлівай раўнавагі, гэта значыць, фазамі і фазавымі пераходамі аўтаномнай сістэмы (сістэмы, паводзіны якой «не залежаць» ад часу).

Для кожнага стацыянарнага стану сістэмы характэрна пэўная рухомасць яе часцінак (перыяд рэлаксацыі) і структура (узаемнае становішча часцінак), а пераход ад аднаго раўнаважнага стану да другога патрабуе пэўнага часу. Калі фактары, якія забяспечваюць пэўны стан раўнавагі, змяніць на фактары, характэрныя для другога стану раўнавагі, за меншы, чым неабходны для пераходу да новага стану раўнавагі, час, то структура сістэмы можа не паспець змяніцца і застанецца ранейшай, характэрнай для папярэдняга стану раўнавагі. Новы стан сістэмы будзе нераўнаважны. Нераўнаважныя станы, час існавання якіх вельмі вялікі, атрымалі назву метастабільных станаў [17, с. 328]. У тэорыі нераўнаважных працэсаў існуе таксама паняцце няпоўнай раўнавагі (квазіраўнаважны стан), пры якім параметры сістэмы слаба залежаць ад часу [18, с. 195].

У прыватнасці да нераўнаважнага стану рэчыва адносіцца так званы «шклопадобны стан» [19]. Напрыклад, у шклопадобны стан лёгка пераводзяцца расплавы крышталічных палімераў пры іх хуткім ахалоджванні да тэмпературы ніжэй тэмпературы структурнага шклавання. Пры гэтым шклопадобны (цвёрды) палімер неабмежавана доўга захоўвае характэрную для расплаву аморфную структуру і высокую долю свабоднага аб’ёму. Звычайнае шкло часта называюць «шклопадобнай вадкасцю» [20]. Шклопадобны стан рэчыва разглядаецца як гранічны (крайні) стан нераўнаважнасці [21].

Распрацаваны дзве ўзаемазвязаныя гіпотэзы шклавання рэчыва: рэлаксацыйная (актывацыйная) і свабоднага аб’ёму. Для здзяйснення элементарнага акту пераходу структурна-кінетычнай адзінкі рэчыва з аднаго стану раўнавагі ў другі неабходна адначасовая рэалізацыя дзвюх падзей – накаплення энергіі, дастатковай для пераадольвання патэнцыяльнага бар’еру, які падзяляе гэтыя станы, і наяўнасці паблізу структурна-кінетычнай адзінкі «дзіркі», у якую яна можа перамясціцца. Актывацыйная тэорыя асноўную ролю адводзіць першай падзеі, а тэорыя свабоднага аб’ёму – другой. У залежнасці ад тэмпературы фактарам, які лімітуе працэс, можа быць першая або другая падзея.

Тэрмін «нераўнаважны стан» выкарыстоўваюць таксама для характарыстыкі дысперсных сістэм (парашкоў, мноства шарыкаў і г. д.). Напрыклад, з шарыкаў можна некалькімі спосабамі стварыць вельмі шчыльную (крышталепадобную) або менш шчыльную (аморфную, бесструктурную) сістэму. У апошні час шклопадобныя рэчывы і бесструктурныя адносна шчыльныя дысперсныя сістэмы аб’ядноўваюць тэрмінам «jammed matter state» (сціснуты, ушчыльнены стан) [22].

Менавіта статыстыка, дакладней форма выпадковасці, для апошняга стану хутчэй за ўсё, зыходзячы з сукупнасці яе адзнак, з’яўляецца найбольш верагодным кандыдатам для аналогіі з «павольнай» формай падзей – прамежкавай паміж «бурнай» і «мяккай» (згодна з аналогіяй Мандэльброта), або фазай і фазавым пераходам 1-га роду (згодна з прапанаванай намі аналогіяй) формамі выпадковасці.

Неабходна дадаць, што, параўноўваючы формы выпадковасці з агрэгатнымі станамі рэчыва, Мандэльброт «адыходзіць» з абсягу матэматыкі ў абсяг фенаменалагічнай фізікі. А параўноўванне форм выпадковасці з «раўнаважнымі» і «нераўнаважнымі» станамі, у тым ліку з фазамі і фазавымі пераходамі, якія належаць да абсягу тэарэтычнай фізікі, дакладней да абсягу тэорыі нелінейных дынамічных сістэм, вяртае гэтую аналогію ў абсяг матэматыкі і дазваляе прадказваць форму апісання стахастычных падзей у сістэме да яе эксперыментальнага вывучэння.

Згодна з распрацаванай намі фрактальна-тапалагічнай тэорыяй таварна-грашовай гаспадаркі (фазавай тэорыяй сацыяльна-эканамічнага развіцця – эканамічнай грамадскай фармацыі) [10], сучасная эканоміка знаходзіцца ў пераходным стане (мал. 1, вобласць *g-d-k-f-q*): ад стану (эканамічнага ўкладу), заснаванага на дробнай прыватнай працоўнай форме ўласнасці (фаза *B*), да стану, заснаванага на грамадскай форме ўласнасці (дасканалая рыначная эканоміка, у якой зліквідавана наёмная праца) (фаза *C*). Менавіта таму сучасныя фінансавыя рынкі апісваюцца фрактальнай статыстыкай [1]. Сучасныя фінансавыя рынкі не з’яўляюцца свабоднымі, яны неаднародны па сваёй прыродзе (удзельнікі рынку нераўнапраўныя па памеру грашовых сродкаў, доступу да інфармацыі і г. д.), а падзеі на рынках не з’яўляюцца незалежнымі (рынкі ў той ці другой ступені манапалізаваны).

Аналагам «шклопадобнага стану» з’яўляецца, на нашу думку рыначная эканоміка так званых «сацыялістычных» краін (доля дзяржаўнай уласнасці адпавядае стану, абмежаванаму лініяй *q-f-k-m-w*, а вытворчыя адносіны застаюцца такімі, якія характэрны для стану, абмежаванаму лініяй *g-d-k-f-q*).

Статыстыка Гаўса можа эфектыўна выкарыстоўвацца ў выпадку дасканалага рынку (эканамічнага ўкладу, які адпавядае фазе *B*) – сацыяльнай рыначнай эканомікі, да пабудовы якой трэба імкнуцца. На кароткі час мясцовы рынак, блізкі да дасканалага рынку, можа ўзнікнуць тады, калі на новы рынак выходзіць мноства аднолькавых па магчымасцях таваравытворцаў (напрыклад, працоўных сямейных гаспадарак).

Заключэнне

Праведзены аналіз класічнай («раўназначныя» і незалежныя падзеі, «нармальны» закон размеркавання, аднародныя сістэмы) і фрактальнай («нераўназначныя» і залежныя падзеі, ступеневы закон размеркавання, неаднародныя сістэмы) статыстык, а таксама гіпотэзы Мандэльброта аб існаванні некалькіх формаў выпадковасці (статыстыкі) і іх аналогіі з агрэгатнымі станамі рэчыва (цвёрды, вадкі, газападобны). Паказана, што больш абгрунтаванай з'яўляецца аналогія форм статыстыкі з «раўнаважнымі» і «нераўнаважнымі» станамі дынамічнай сістэмы многіх часцінак, якія маюць сілавое поле, рухаюцца і ўзаемадзейнічаюць паміж сабою (у прыватнасці, рэчыва).

Абгрунтаваны падзел статыстыкі раўнаважных станаў дынамічных сістэм на дзве прынцыпова розныя формы: статыстыка, характэрная для сістэм, якія знаходзяцца ў стацыянарным стане ўстойлівай раўнавагі або фазе («раўназначныя» і незалежныя падзеі, класічная статыстыка, «ручная» форма выпадковасці), і статыстыка, характэрная для сістэм, якія знаходзяцца ў стацыянарным стане няўстойлівай раўнавагі (пераходны паміж фазамі стан), адпаведнага фазаваму пераходу 1-га роду («нераўназначныя» і залежныя падзеі, фрактальная статыстыка, «стыхійная» або «бурная» форма выпадковасці). Унутры гэтых формаў могуць існаваць асаблівасці, аналагічныя тым, якія існуюць паміж фазамі, а таксама фазавымі пераходамі 1-га роду. Акрамя таго, магчымы формы выпадковасцей, якія звязаны з існаваннем у дынамічных сістэмах фазавых пераходаў 2-га роду і крытычных пунктаў на фазавай дыяграме.

Выказана меркаванне, што прамежкавая або «павольная» форма выпадковасці Мандэльброта можа адпавядаць стахастычным паводзінам нераўнаважнага стану сістэм, рэчавым аналагам якіх з'яўляюцца шклопадобныя сістэмы і ўшчыльненыя дысперсныя сістэмы – jammed matter state (ушчыльнены, сціснуты стан).

Прапанаваная сувязь формаў выпадковасцей з раўнаважнымі і нераўнаважнымі станамі дынамічных сістэм дазваляе прадказваць асаблівасці стахастычных паводзін канкрэтнай сістэмы і абгрунтавана выбіраць матэматычны апарат для апрацоўкі яе эксперыментальных стахастычных даных.

Літаратура

1. Мандельброт, Б. (Не)послушные рынки: фрактальная революция в финансах : пер. с англ. / Б. Мандельброт, Р. Хадсон. – Москва : Вильямс, 2006. – 400 с.
2. Мандельброт, Б. Фракталы, случай, финансы / Б. Мандельброт. – Москва–Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 256 с.
3. Леви, П. Стохастические процессы и броуновское движение / П. Леви. – Москва : Глав. ред. физ.-мат. лит., 1972. – 376 с.
4. Кулюкин, А. М. Связь между статистиками, отражающими делимость твердых сред / А. М. Кулюкин, В. С. Пономарев, А. Н. Ромашов // ДАН СССР. – 1987. – Т. 293, № 5. – С. 1089–1092.
5. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – Москва : Ин-т компьютер. исслед., 2002. – 656 с.

6. Цейтлин, В. Б. Распределение организмов по размерам в различных экосистемах / В. Б. Цейтлин // ДАН СССР. – 1985. – Т. 285, № 5. – С. 1272–1276.
7. Средняя плотность падающего на Землю потока метеорных тел / П. Б. Бабаджанов [и др.] // ДАН СССР. – 1985. – Т. 284, № 4. – С. 824–826.
8. Лушников, А. А. Фрактальная размерность агрегатов, образующихся при лазерном испарении металлов / А. А. Лушников, А. В. Пахомов, Г. А. Черняева // ДАН СССР. – 1987. – Т. 292, № 1. – С. 86–88.
9. Ферстер, Г. Био-логика / Г. Ферстер // Проблемы бионики. – Москва : Мир, 1965.
10. Егоренков, Н. И. Топологическая динамика товарно-денежного хозяйства / Н. И. Егоренков // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2009. – № 3. – С. 92–100.
11. Маркс, К. Капитал. Предисловие / К. Маркс // К. Маркс, Ф. Энгельс. Сочинения : в 39 т. – 2-е изд. – Москва : Политиздат, 1960. – Т. 1.
12. Малкин, А. Я. Турбулентность высокоэластическая / А. Я. Малкин // Энцикл. полимеров ; ред. кол.: В. А. Кабанов [и др.]. – Москва : Совет. энцикл., 1977. – Т. 3.
13. Бартенев, Г. М. Стеклование. Стеклообразное состояние / Г. М. Бартенев, В. Н. Никольский // Энцикл. полимеров ; ред. кол.: В. А. Кабанов [и др.]. – Москва : Совет. энцикл., 1977. – Т. 3.
14. Стенли, Г. Фазовые переходы и критические явления / Г. Стенли. – Москва : Мир, 1973. – 420 с.
15. Чернавский, Д. С. О возникновении распределения Парето в нелинейных динамических системах / Д. С. Чернавский, А. П. Никитин, О. Д. Чернавская // Биофизика. – 2008. – Т. 53, вып. 2. – С. 351–358.
16. Гринченко, В. Т. Введение в нелинейную динамику: Хаос и фракталы / В. Т. Гринченко, В. Т. Мацыпура, А. А. Снарский. – 2-е изд. – Москва : Изд-во ЛКИ, 2007. – 264 с.
17. Зубарев, Д. Н. Неравновесное состояние / Д. Н. Зубарев // Физ. энцикл. ; гл. ред. А. М. Прохоров. – Москва : Энциклопедия, 1992. – Т. 3. – 672 с.
18. Зубарев, Д. Н. Статическое равновесие / Физ. энцикл. ; гл. ред. А. М. Прохоров. – Москва : Энциклопедия, 1994. – Т. 4. – 704 с.
19. Куянов, А. П. Влияние давления на температуру стеклования аморфного селена / А. П. Куянов, М. И. Копьев, В. Т. Борисов // ДАН СССР. – 1985. – Т. 280, № 4. – С. 866–868.
20. Бартенев, Г. М. Стекла различной природы и их классификация / Г. М. Бартенев, С. Д. Савранский // ДАН СССР. – 1988. – Т. 303, № 2. – С. 385–389.
21. Овчинников, А. А. Модель кинетических превращений стеклообразной планарной среды / А. А. Овчинников, И. Л. Шамовский // ДАН СССР. – 1987. – Т. 293, № 4. – С. 910–915.
22. Song Ch., Wang P., and Makse H.A / A phase diagram for jammed matter // Nature. 2008, vol. 453, No 7195, pp 629-632.

Получено 12.10.2009 г.