

УДК 005.1

**АБСТРАКТНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ  
ПІДТРИМКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ****В. Б. Копей**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
тел. (0342) 72-71-26; e-mail: vkopey@gmail.com*

*На основі принципу ізоморфізму закономірностей складних систем та міждисциплінарного аналізу цих закономірностей у різних природних та штучних системах розроблено абстрактну модель інформаційної системи підтримки життєвого циклу виробу. Класифікація життєвого циклу виробу методом дихотомії дозволила описати класи функціональних елементів моделі та їх ієрархію. Наведено орієнтовні змістові інтерпретації класів. Показано, що ця модель володіє основними загальносистемними закономірностями. Виявлено ізоморфні до абстрактної моделі динамічні математичні моделі, які описуються системою диференціальних рівнянь, зокрема модель "гармонічний осцилятор" з чотирма змінними. Виконано аналіз бінарних відношень між класами моделі та виділено типи відношень. Запропоновано способи розрахунку рівня синергії підсистем моделі. Розроблена модель є ізоморфною до інших складних інформаційних систем.*

**Ключові слова:** *інформаційна система, життєвий цикл, PLM, CALS, складна система, ізоморфізм, теорія систем, закономірності складних систем*

**Вступ.** *Життєвий цикл (ЖЦ) виробу охоплює етапи його проектування, виготовлення, експлуатації та ремонту. Для управління ЖЦ (PLM – product lifecycle management) виробу призначені інформаційні системи підтримки життєвого циклу виробу (далі – ІС). Вони складаються зі спеціалізованих елементів (інформаційних ресурсів), призначених для досягнення певних цілей на конкретних етапах ЖЦ виробу, і які можуть взаємодіяти один з одним і з середовищем через уніфіковані інформаційні канали. ІС може мати різноманітні ресурси: лінгвістичні ресурси, бази даних, бази знань, прикладні програми, комп'ютерні моделі, апаратне забезпечення, користувачі. Інформаційною продукцією ІС можуть бути технічні вимоги, винаходи, математичні моделі виробу і його частин, конструкторська документація, технологічні процеси, рекомендації для експлуатації, стандарти. Зазвичай такі ІС базуються на концепції CALS-технологій (Continuous Acquisition and Life cycle Support – безперервної інформаційної підтримки процесів ЖЦ виробів) [1-3].*

**Формулювання завдань.** Сучасні складні вироби можуть поєднувати у собі тисячі наукоємних розробок, які поступово розроблялись і удосконалювались впродовж десятиліть. У зв'язку зі складністю предметної області ІС таких виробів, ці ІС потрібно відносити до класу складних систем. Відповідно до принципу ізоморфізму їм повинні бути властиві усі закономірності складних систем. Це треба враховувати під час побудови ІС та їх абстрактних моделей, які відображають найбільш загальні, як правило якісні, характеристики ІС. Відомі дослідження і концептуальні моделі таких систем [4-6] слабо акцентують увагу на цьому. Метою роботи є розробка абстрактної моделі ІС шляхом міждисциплінарного огляду і аналізу основних загальносистемних закономірностей на прикладах різних природних та штучних складних систем.

**Огляд закономірностей складних систем.** *Системою* називають множину елементів, які з'єднані зв'язками. Відповідно класифікації систем К. Боулдінга *складна система* характеризується вищим проявом властивостей відкритості і стохастичності поведінки, більш яскраво вираженими проявами закономірностей ієрархічності і історичності, а також більш складними “механізмами” функціонування і розвитку [7].

*Закономірності складних систем* характеризують принципові особливості побудови, функціонування і розвитку складних систем [8]. Це закономірності взаємодії частини і цілого (емерджентність, адитивність, прогресуюча систематизація, прогресуюча факторизація, інтегративність), закономірності ієрархічної впорядкованості (ієрархічність та комунікативність), закономірності здійсненості систем (закон “необхідної різноманітності” У.Р. Ешбі, еквіфінальність, закономірність потенціальної ефективності Б.С. Флейшмана [9]), закономірності розвитку систем (історичність та самоорганізація).

Один з основних принципів теорії систем *принцип ізоморфізму* [10, 11] (подібність певних закономірностей систем) говорить, що ці закономірності характерні для усіх складних систем. Міждисциплінарний огляд і аналіз таких закономірностей в різних складних природних та штучних системах дозволить їх глибше дослідити та перенести в ще не вивчені системи.

Філософською основою цих закономірностей є *діалектика*. Діалектична логіка доповнює закони класичної логіки законами: “єдності і боротьби протилежностей” (замість закону “виключення третього”), “переходу кількісних змін в якісні”, та законом “заперечення заперечення”. Відповідно першого закону діалектики будь-який предмет має протилежності, які в процесі взаємодії призводять до протиріччя, що дає поштовх розвитку. Протилежність – риси, сторони, ознаки предмета, які докорінно відрізняються один від одного і, разом з тим, не можуть існувати один без одного, взаємно доповнюють один одного. Діалектика стверджує, що проблема повинна бути поставлена в антиноміч-

ній формі, а принцип історизму повинен бути принципом будь-якого мислення [12].

*Закономірність цілісності* (емерджентність, системний ефект, синергія) – поява у системи властивостей, яких немає у її елементів. Цю закономірність часто називають основною системною проблемою. Цілісності характерна інтегративність – елементи повинні бути протилежними (неоднорідними, суперечливими, взаємодоповнюючими), як цього вимагає закон єдності і боротьби протилежностей. Наприклад, здатність систем до розвитку часто пояснюють наявністю в них протилежних додатного і від’ємного зворотних зв’язків [13, 14]. Перший направлений на зміни, а другий – на стабільність. Мінливість і природній добір, які відбуваються в ЖЦ індивіда, є основними факторами еволюції і мають протилежний характер [15]. Цілісною є психіка з її психічними процесами, які доповнюють одне одного: уявою (інтуїцією), мисленням, почуттям, відчуттям, прийняттям рішення [16]. Поділ психіки на протилежності – свідоме та безсвідоме, є основою глибинної психології [17]. Різноманітні психологічні типології [18, 19] вказують на існування протилежних типів особистості, що створює в суспільстві системний ефект. В проектуванні систем виділяють два основні протилежні підходи: підхід “зверху” та підхід “знизу”. Підхід “зверху” (аксіологічний, ціленаправлений, цільовий, декомпозиції, структуризації) описує систему в термінах цілей і цільових функціоналів. Підхід “знизу” (каузальний, термінальний, композиції, морфологічний, тезаурусний) описує систему в термінах впливу одних елементів на інші, у вигляді “простору станів”. Ці підходи доповнюють один одного і існують рекомендації застосовувати їх паралельно [8].

*Закономірність адитивності* (нецілісності, диссинергії) описує відокремленість елементів системи. *Закономірність прогресуючої систематизації* описує прагнення системи до цілісності, а *закономірність прогресуючої факторизації* описує прагнення системи до адитивності. Будь-яка система, що розвивається, знаходиться між станами цілісності і адитивності [8].

Для складних систем характерна *закономірність ієрархічності* – наявність в системі упорядкованих ієрархій і прояви цілісності рівнів ієрархії. В біології відомі рівні організації живої матерії та екологічні піраміди, в менеджменті – рівні ієрархій управління в організаціях, в інформатиці – інформаційна ієрархія DIKW (англ. data, information, knowledge, wisdom – дані, інформація, знання, мудрість), в психології – ієрархічна структура діяльності, піраміда потреб Маслоу [16], ієрархічна структура психіки [20]. Складну проблему можна розбити на прості, а прості – на ще простіші. Так можливі описи системи з точки зору різних рівнів абстрагування (страт) та рівнів складності рішення (шарів) [21]. На вищих рівнях абстрагування система подається як “чорний ящик” з цілями заданими зовні, а на нижніх – як “білий ящик” з цілями

заданими зсередини. З ієрархічністю тісно пов'язана закономірність комунікативності – з'єднання системи з середовищем множиною комунікацій.

Закономірності розвитку систем ще не достатньо вивчені сьогодні, але закони діалектики можуть бути філософською базою для таких досліджень. Кожна система та її елемент володіє “життєвим циклом” – періодом часу від їх зародження до смерті. Система невіддільна від свого ЖЦ, тому допустимо говорити про єдність системи і її ЖЦ. Очевидно, що в будь-якому циклі можна виділити протилежні в часі етапи. ЖЦ системи можна розглядати як систему з елементами (етапи, стани) і відношеннями між ними. Багатьом складним системам властива закономірність історичності, яка не тільки вказує на наявність характерних етапів ЖЦ їх елементів, але й циклічних повторів цих етапів з переходом на рівень вищої якості. Такі коливальні явища часто спостерігаються в економічних, соціальних чи екологічних системах.

Попри надзвичайну розповсюдженість коливальних явищ в природі небагато з них вивчені і ще немає переконливої відповіді про глибинні причини цієї розповсюдженості [22]. Зокрема Блехман [22] вважає, що коливальні системи і процеси характеризуються певною оптимальністю. Богданов вважає, що цикл коливання можна розглядати як тектологічний акт, фази якого відповідають діалектичній тріаді [13]. З теорії коливань відомо, що коливання майже завжди пов'язані з поперемінним перетворенням енергії з однієї форми в іншу. Аналіз основних моделей життєвого циклу складних систем [14] показує, що їх можна наближено описати графіком косинусоїди на одному періоді.

В простих системах простіше виявити причини коливань. Розглянемо найпростішу модель осцилятора з двома змінними – логічний осцилятор (рис. 1). Очевидно, що причиною коливань є наявність протилежних позитивного та негативного зв'язків зі скінченною швидкістю. Ефект “запізнення” сигналу В пояснюється скінченною швидкістю зв'язку. Можна зробити індуктивний висновок, що наявність протилежних елементів в складних системах є причиною коливань.

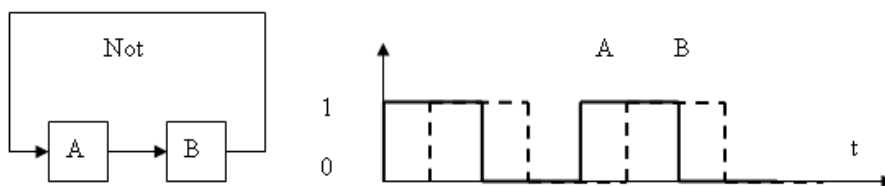


Рис. 1. Логічний осцилятор

Економічні цикли вивчає еволюційна економіка. Тут ідеї прогресу протиставляється теорія циклізму. Виділяють різні за тривалістю види циклів, наприклад, цикли Кузнеця (періодом 15-25 років) чи цикли Кондратьєва (періодом 45-60 років) [23]. Модель Турчина-Корогаєва

демонструє періодичне чергування фаз економічного росту, росту населення і війни [24, 25]. Існують дослідження, які свідчать про не стохастичну природу цих циклів [23]. Зокрема С. Кузнець пов'язав цикли Кузнеця з процесами інвестування і демографічними змінами. Йозеф Шумпетер вважав, що економічні цикли є факторами прискорення прогресу.

В соціальних системах відома теорія поколінь Штрауса и Хоува, згідно якої існує 4 типи поколінь, які послідовно змінюють одне одного [26]. Кожне покоління триває 20-22 років.

На основі теорії психологічних типів [18, 19] та аналізу ряду етапів науково-технічного і соціально-історичного розвитку людства В.В. Гуленко і О.В. Букалов [27] сформулювати гіпотезу про “змінність квадр”, яка полягає в чергуванні активності чотирьох груп психологічних типів. Ця гіпотеза перетинається з гіпотезою чотирьох поколінь Штрауса и Хоува і є проявом закономірності історичності складної системи.

В теорії коливачь відомі такі явища взаємодії коливальних систем як резонанс (зростання амплітуди), биття (періодичне зростання амплітуди), синхронізація коливачь та захоплення частоти [22]. Їх можна розглядати як емерджентні ефекти, які можуть підвищити ефективність системи.

Фундаментальною передумовою тектології О.О. Богданова [13] є принципи емерджентності і історичності. Тектологія вивчає динаміку організаційних форм, розкриває і систематизує всі основні принципи, відповідно до яких відбувається світовий організаційний метаморфоз. Її можна розглядати також як є універсальну методологію рішення задач [28]. Важливим її поняттям є тектологічний акт – елемент будь-якого процесу, який складається з трьох фаз: кон'югації (з'єднання в одну систему), диференціації (розходження частин системи) та консолідації (перехід до стійких співвідношень в результаті утворення додаткових зв'язків). Ці фази відповідають діалектичній тріаді (тезис, антитезис, синтез). Початок тектологічного акту – це завжди криза – криза з циклом її наслідків [13]. Наприклад, механізм еволюції – це тріада “мутації” – “природній добір” – “адаптація”.

За Т. Куном розвиток науки включає послідовну зміну парадигм: існуюча парадигма, криза в науці, наукова революція – формування нової парадигми [29]. К. Хюбнер стверджує, що протиріччя всередині “історичних системних ансамблів” є рушійною силою розвитку наук [30]. Згідно еволюційної епістемології К. Поппера ріст знання подібний на біологічну еволюцію: проблема → пробні теорії → усунення помилок → нова проблема.

Теорія пізнання виділяє взаємодоповнюючі рівні пізнання (теоретичний і емпіричний) та форми пізнання (раціональне пізнання, чуттєве

та надчуттєве). Ці рівні і форми є несумісними в один момент часу і повинні послідовно змінювати один одного.

Закономірність історичності і ієрархічності помітна в структурі діяльності суб'єкта. Діяльність – це активна взаємодія з навколишньою дійсністю суб'єкта, в ході якої він цілеспрямовано впливає на об'єкт і задовольняє, таким чином, свої потреби [16]. С.Л. Рубінштейн сформулював основний теоретичний принцип діяльнісного підходу в психології – принцип єдності свідомості і діяльності. Цей принцип відповідає загальносистемному принципу єдності системи і її ЖЦ. Психологами запропоновано багато концептуальних схем діяльності, які відображають її ЖЦ. Наприклад класична структура – ціль, засіб, результат. Або структура, запропонована С.Л. Рубінштейном – мотив, мета, засіб, соціальна ситуація, результат, оцінка. Діяльність також має ієрархічну структуру – складається з дій (процесів, підпорядкованих усвідомленій меті), а дії складаються з автоматизованих операцій [16]. Структура дії надзвичайно складна, але в ній виділяють три основні компоненти (етапи ЖЦ): прийняття рішення, реалізацію, контроль і корекцію. Усі макро- і мікрокомпоненти дії пронизані мережею прямих і зворотних зв'язків [16]. В методології діяльність також розглядається як система [31].

Процеси розв'язання творчих задач і проблемних ситуацій можна розглядати як складні системи, які мають закономірність історичності. Вони залежить від багатьох психологічних факторів: мотиваційний стан, знання, інтелект, тип особистості. Існують різні взаємодоповнюючі стратегії розв'язання задач: абстракція, аналогія, мозкова атака, аналіз, перевірка гіпотез, нестандартне мислення, аналіз засобів і цілей, метод фокальних об'єктів, морфологічний аналіз, доведення неможливості вирішити проблему, зведення до іншої задачі, дослідження, аналіз причин, метод спроб і помилок. Можна виділити таку загальну послідовність розв'язання задачі (цикл розв'язання задачі): проблемна ситуація – постановка задачі – рішення, або таку: пошук – мобілізація - застосування засобів [16].

Емерджентні стадії творчого мислення описували: Г. Уоллес, А. Пуанкаре, Г. Гельмгольц, Б. А. Лезин, К. Дункер, П.К. Енгельмейер, П.М. Якобсон, Я.О. Пономарьов, Ж. Адамар, Дж. Гіксон, А.Т. Шумілін. Наприклад, у Уоллеса це підготовка, інкубація, інсайт, перевірка. Адамар рекомендує почергову зміну образного і формального мислення [32]. Досліджуючи мислення шахматистів, А. де Гроот виявив чотири його стадії [33]: орієнтування, обслідування, дослідження, доведення. Г.С. Альтшуллер виділяв три стадії процесу творчого розв'язання нової технічної задачі: аналітичну, оперативну та синтетичну [34]. В праці [14] проаналізовані деякі когнітивні стилі вирішення проблем, з яких можна виділити дихотомії: імпульсивність-рефлексивність, ригідність-гнучкість, направленість на майбутнє – направленість на минуле, поле-

залежність-поленезалежність, знання-спостереження, розсудок-інтуїція. Відповідно до тектології Богданова процес рішення задачі можна зводити до послідовності “абстрактне рішення”-“конкретне рішення” [13].

Процеси і цикли прийняття рішень відомі в теорії прийняття рішень, теорії управління (цикл управління-виконання), системному аналізі, методах управління проектами. Розроблено цикли прийняття рішення для різноманітних задач: цикл спотереження–гіпотеза–екперимент–оцінка в науковому методі; цикл Демінга PDCA (plan–do–check–act) в системі управління якістю; підхід DMAIC (define, measure, analyze, improve, control) в методології “шість сігм” для управління виробництвом; метод “Шість Капельоків Мислення” Едварда де Боно; метод “DO IT!” Р. Олсона; метод “How to Solve It” Джорджа Пойа; метод Eight Disciplines Problem Solving (Вісім дисциплін рішення проблем), розробленого в Ford Motor Company; метод OODA loop Джона Бойда (observe, orient, decide, act) в військовій справі; метод Intelligence–Design–Choice Герберта Саймона; методика Getting Things Done Девіда Алана (Collect–Process–Organize–Do–Review); метод АЗ, розроблений в Toyota. В праці [8] наведено порівняльний аналіз трактувань ЖЦ штучних і технічних систем – методики “ПАТТЕРН”, методик Г.С. Поспелова, С.А. Саркіяна, М.М. Четвертакова, Е.Г. Яковенка, В.Н. Спицнадея. Там же вказані приклади ЖЦ для різних видів продукції або послуг. Поняття ЖЦ штучних систем висвітлено в деяких стандартах [35-38]. У багатьох цих циклах спостерігається чергування двох протилежних емерджентних етапів (наприклад безсвідомого-свідомого, раціонального-ірраціонального, теоретичного-практичного).

В праці [39] детально описані моделі ЖЦ сучасної системної інженерії. В табл. 1 показані основні етапи такої моделі ЖЦ з входами і виходами. Кожний етап може розбиватись на три підетапи за такою ж схемою.

Таблиця 1. Головні етапи в ЖЦ системи в системній інженерії

↓ функціональна недостатність	↓ технічні можливості
Етап 1 Розробка концепції	
↑ специфікація функціоналу	↓ визначається концепція
Етап 2 Технічна розробка	
↑ специфікація виробництва	↓ виробництво системи
Етап 3 Пост-розробка	
↓ робоча документація	↓ установлена система

В програмній та системній інженерії відомі наступні моделі ЖЦ систем: [40, 38] каскадна, ітеративна, гнучка, V-модель, Dual Vee модель, спіральна модель.

*Закономірність самоорганізації* – здатність систем виходити на якісно новий рівень розвитку, адаптуватись до зовнішніх умов. Цю за-

кономірність вивчає синергетика – теорія складних нерівноважних систем з метастабільними станами і самоорганізацією (просторовим, часовим чи просторово-часовим впорядкуванням). Синергетику часто позиціонують як універсальну теорію еволюції. Згідно синергетики нерівноважність системи є необхідною умовою її розвитку. Процеси самоорганізації відбуваються поряд з процесами протилежної направленості і можуть переважати над ними (прогрес) або уступати їм (регрес) [41].

Розглянемо приклади прояву *закономірності адитивності*. В психології відомі такі порушення цілісності психічних процесів як когнітивний дисонанс (конфлікт ідей, цінностей, емоцій), когнітивне упередження (порушення прийняття правильних рішень), психастенія (порушення рішучості), резонерство (порушення ціленаправленості мислення), інерція мислення (порушення уяви) [15, 16]. З точки зору теорії систем допустимо вважати, що ці порушення викликані адитивністю компонентів психіки – їх роздільністю, односторонністю, нецілісністю. Глибинна психологія вивчає два протилежні несвідомі потяги: потяг до життя (“інстинкт життя”) і потяг до смерті (“інстинкт смерті”) [17]. Їм можна поставити у відповідність дві протилежні загальносистемні закономірності – “прогресуюча систематизація” і “прогресуюча факторизація”. В теорії прийняття рішень відомі фактори, які не сумісні з певними етапами творчого мислення. Наприклад конформізм, ригідність, цензура та критика неприпустимі на етапі генерації ідей. Але, все ж, вони потрібні для цілісного мислення і повинні існувати в наступних етапах прийняття рішення. В практиці проектування систем відомі випадки, коли надмірна “зацикленість” на одному етапі проектування призводила по повної зупинки робіт [8]. Або навпаки – коли незавершеність кожного етапу призводила до помилкових проектних рішень.

*Еквіфінальність* – це динамічна властивість системи здійснювати рух різними шляхами з різних початкових станів в один кінцевий стан, який визначається тільки параметрами системи. Будь-яка система має граничні можливості. Для їх подолання система повинна об’єднуватись з іншими системами. В.Ф. Турчин вважає, що еволюція пояснюється метасистемними переходами – інтеграцією систем в одне ціле з виникненням нового рівня управління [42].

*Закономірність “необхідної різноманітності”* говорить про необхідність різноманітності елементів системи. Наприклад, відповідно до різних психологічних типологій можна пояснити ефективність методу експертних оцінок, коли для вирішення проблеми залучаються багато спеціалістів навіть однієї спеціальності. Внаслідок різних типів вони мають різні погляди на проблему, збільшується “різноманітність” поглядів та методів і зростає імовірність емерджентності. А.І. Уемов [43] наголосив на необхідності “різноманітності” під час вирішення творчих проблем, чергування етапів виникнення ідей, їх розробки, конкретизації і втілення. У.Р. Ешбі довів, що різноманітність системи, яка управ-



ляє, повинна бути більшою різноманітності системи, яка управляється [44]. Потрібно збільшувати різноманітність елементів системи, яка управляє, (збільшувати кількість методів, залучати до роботи різних спеціалістів) і зменшувати різноманітність системи, що управляється (зменшувати невизначеність, уніфікувати, стандартизувати). Тоді зростає імовірність синергії елементів управляючої системи. Але, разом з тим, може зрости і диссинергія внаслідок неузгодження певних елементів. Різноманітність є необхідною умовою, але не достатньою. Тому ці елементи повинні бути організовані у систему з максимальним синергетичним ефектом, відповідно організовані в просторі і часі.

Системний аналіз (СА) – один з найбільш конструктивних напрямків системних досліджень і застосовується тоді, коли проблема стає дуже складною, є велика невизначеність проблемної ситуації і багатокритеріальність задачі [8]. СА спирається на теорію систем та використовує мультидисциплінарний підхід. Основним методом СА є розчленування великої невизначеності на малі, зі збереженням цілісного уявлення про об'єкт дослідження і проблемну ситуацію [8]. Тому СА вимагає розробки методики системного аналізу, яка визначає впорядковані етапи і методи розв'язування задачі. Аналіз таких методик [8] дозволяє виділити в багатьох з них етапи виявлення проблеми і постановки цілей, етап розробки варіантів і моделей прийняття рішення, етап оцінки альтернатив і пошуку рішення, етап прийняття рішення, етап реалізації і оцінки реалізації. Відповідно до принципу абстрагованого відображення системи Ю.І. Черняк [45] пропонує виділяти наступні рівні (страти) відображення системи: концептуальний, науково-дослідницький, проектний, інженерно-конструкторський, технологічний і рівень реалізації. Кожний з цих рівнів теж поділяється на етапи, на яких застосовуються відповідні методи.

За рівнем формалізації методи СА можна поділити на методи активізації інтуїції спеціалістів (МАІС) і методи формального представлення систем (МФПС) [8]. МАІС – це, в основному, якісні методи, такі як морфологічні, “мозкової атаки”, експертних оцінок, дерева цілей, сценаріїв. МФПС – це, в основному, кількісні методи, такі як логічні, аналітичні, теоретико-множинні, статистичні. Ці методи можуть поєднуватись, на основі чого в праці [46] розвинутий метод СА під назвою “поступова формалізація моделі прийняття рішення”. Цей підхід базується на ідеї поступової формалізації задач (проблемних ситуацій) з невизначеністю шляхом почергового використання засобів МАІС і МФПС. Автори методу відмічають, що більшість реальних ситуацій проектування складних систем потрібно відображати класом самоорганізуючих систем, моделі яких повинні постійно коректуватись і розвиватись. Рекомендують спочатку поділяти весь цикл на два великі етапи: формування моделі прийняття рішення і її оцінка та аналіз. На першому етапі ча-

сто спочатку застосовують МАІС, а потім – МФПС. На другому нерідко застосовують експертне оцінювання [8].

Проведений аналіз показує, що багато складних систем володіють вказаними закономірностями, зокрема їх ЖЦ мають подібну структуру та зміст етапів. Результати аналізу дозволяють побудувати абстрактну модель ІС шляхом синтезу цих закономірностей.

**Побудова абстрактної моделі ІС.** *Абстрактна модель ІС* відображає тільки найбільш загальні її характеристики, шляхом дихотомічного ділення ЖЦ виробу виділяє класи функціональних елементів ІС та їх ієрархію, а також володіє основними закономірностями складних систем. Кожний функціональний елемент ІС можна віднести до певного класу. *Клас елемента ІС* описує множину однотипних спеціалізованих елементів ІС, які призначені для досягнення певних цілей ІС та можуть взаємодіяти з іншими елементами для досягнення заданого рівня синергії. В основу класифікації елементів ІС покладемо ізоморфізм структур ЖЦ виробу і ІС, який кожному класу ЖЦ виробу ставить у відповідність один і тільки один клас ІС. Виконаємо класифікацію ЖЦ виробу методом дихотомії. Дихотомічне ділення понять доволі просте і ефективне – два класи завжди виключають одне одного. Ігнорування дихотомією під час класифікації може призвести до виділення тільки деяких найбільш очевидних елементів, тоді як менш очевидні ігноруються. Кожний клас володіє унікальною *множиною ознак* – множиною індексів класів на нижчому рівні ієрархії. Якщо розрізняти  $n$  рівнів ієрархії, то на нижньому її рівні отримаємо  $2^n$  класів. Відповідно до закону формальної логіки про обернене співвідношення змісту і обсягу поняття підкласи будуть мати менший обсяг (кількість ознак) і більший зміст у порівнянні з надкласами. *Біполярними множинами ознак* назвемо дві множини ознак, які ділять множину усіх ознак на дві рівні частини. Поділимо класи ЖЦ на *етапи ЖЦ* і *потоки ЖЦ*. Відповідні класи ІС будемо називати *етапи ІС* та *потоки ІС*. Етап ЖЦ існує в часі послідовно з іншими етапами ЖЦ.

Потік ЖЦ існує в часі паралельно з іншими потоками. Для прикладу розглянемо модель з  $n=3$  (рис. 2), у якої останній рівень 3.1 містить 8 етапів. Розділимо весь ЖЦ на два нерозривні в часі етапи користуючись біполярними множинами ознак  $\{1, 2, 3, 4\}$ ,  $\{5, 6, 7, 8\}$  і отримаємо рівень 1.1. Не важко переконатися, що тут існує чотири способи поділу ЖЦ на два нерозривні в часі етапи (рівні 1.1, 1.2, 1.3, 1.4). Знову розділимо кожний з цих етапів на два і отримаємо рівні 2.1 і 2.2. Таким чином, перший рівень можна класифікувати чотирма різними способами (1.1, 1.2, 1.3, 1.4), другий – двома (2.1, 2.2), третій – одним (3.1). Існує рекомендація не дуже подрібнювати ЖЦ на етапи [46]. Кількість етапів повинна бути оптимальною з точки зору ефективності управління ЖЦ. Зі збільшенням кількості етапів зростає проблема їх інтерпретації. Можна обмежитись розглядом восьми етапів ЖЦ з поділом кож-

ного етапу на два паралельні потоки – **а** та **б**. Внаслідок наявності двох потоків етапи 1-8 володіють множинами ознак з двох елементів, наприклад етап 1 володіє множиною ознак  $\{1a, 1б\}$ . Таку модель назовемо 8.2, де 8 – кількість етапів, 2 – кількість потоків.

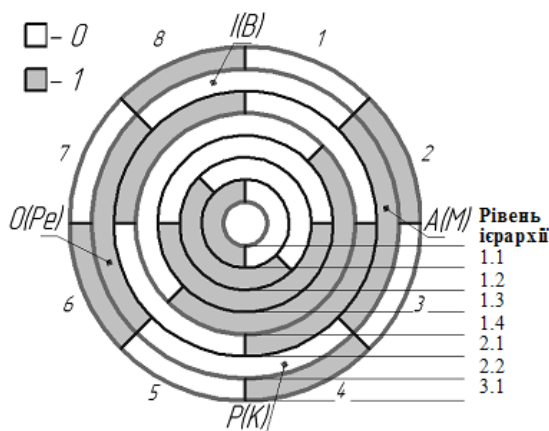


Рис. 2. Ієрархія етапів для моделі 8.2 (0,1 – біполярні множини ознак)

В табл. 2, 3 наведені орієнтовні змістові інтерпретації деяких класів ІС, які були отримані шляхом аналізу закономірностей складних систем, прикладів ЖЦ різних природних та штучних систем та методик системного аналізу. Детальніша інтерпретація повинна бути предметом подальших таких міждисциплінарних досліджень. Зауважимо, що існує 6435 способів поділу 16 елементів на дві частини та 35 способів такого поділу 8 елементів. Тому існують і інші біполярні множини ознак, наприклад  $\{1, 4, 6, 7\}$ ,  $\{2, 3, 5, 8\}$  або  $\{1, 3, 6, 8\}$ ,  $\{2, 4, 5, 7\}$ , але їх зміст є предметом подальших досліджень.

Розглянемо рівень ієрархії 2.2, який поділяє ЖЦ на 4 етапи з поділом кожного етапу на два потоки. Тут існує вісім класів елементів ІС. Перелічимо їх за множинами ознак:  $\{8a, 1a\}$ ,  $\{8б, 1б\}$ ,  $\{2a, 3a\}$ ,  $\{2б, 3б\}$ ,  $\{4a, 5a\}$ ,  $\{4б, 5б\}$ ,  $\{6a, 7a\}$ ,  $\{6б, 7б\}$ . Для зручності надамо їм імена: *I* (ідея), *B* (вимога), *A* (аналіз), *M* (мотив), *P* (рішення), *K* (контроль), *O* (оцінка), *Pe* (реалізація). Опис цих класів з прикладами елементів ІС подано в табл. 2. Опис деяких інших класів на інших рівнях ієрархії подано в табл. 3.

Проаналізуємо наскільки повно ця модель відповідає основним загальносистемним закономірностям.

*Закономірність емерджентності.* ІС повинна містити функціональні елементи, взаємодія яких повинна давати позитивний ефект, якого немає у цих елементів. Цей ефект є ціллю такої взаємодії. Кожний клас ІС має свої цілі, тому у складних ІС важко визначити цілі. Цілі елементів можуть мати протилежну направленість, що призводить до конфлі-

кtnих ситуацій під час спроби їх неправильно поєднати. Наприклад, на етапах рівня ієрархії 3.1 з ознаками 0 цілі ставляться більш загальні, ніж на етапах з ознаками 1. Їх паралельна робота неможлива. Але елементи різних класів мають спільні цілі, якщо на вищих рівнях ієрархії (рис. 2) вони утворюють цілісність – мають спільні етапи. Аналіз більшості описаних стадій творчого мислення, методик прийняття рішення та системного аналізу дозволяє виділити в них перший етап генерації ідей (етап пошуку, інсайт, “абстрактне рішення”, розробка концепції, МАІС) і наступний за ним етап аналізу цих ідей (етап аналізу, перевірка, “конкретне рішення”, технічна розробка, МФПС).

Таблиця 2. Опис класів елементів ІС на рівні ієрархії 2.2

<b>Клас, ознаки</b>	<b>Назва класу, приклади елементів (методи, засоби, моделі) та їх інформаційної продукції</b>
<i>I</i> {8a,1a}	<i>Ідея</i> . Генерація ідей відповідно вимог. Формулювання гіпотез, концепції, інформаційний пошук, пошук знань, виділення перспектив, розробка варіантів і моделей прийняття рішення, шляхи модернізації продукції, концептуальні моделі, МАІС
<i>B</i> {8б,1б}	<i>Вимога</i> . Формулювання вимог відповідно перспектив. Технічне завдання, технічна діагностика, збір даних про експлуатацію, спостереження, споживання, визначення актуальності проблем, виявлення проблеми, маркетингові дослідження
<i>A</i> {2a,3a}	<i>Аналіз</i> . Аналіз ідей відповідно мотивів. Побудова математичних моделей, формально-логічні методи, узагальнення, класифікація, системний аналіз, інтелектуальний аналіз даних, технічна концепція, МФПС
<i>M</i> {2б,3б}	<i>Мотив</i> . Вироблення мотивів відповідно аналізу. Постановка цілей на об'єктах, які відповідають вимогам. Співставлення вимог з об'єктами, обґрунтування прийняття рішення, методи експертного оцінювання альтернатив і пошуку рішення
<i>P</i> {4a,5a}	<i>Рішення</i> . Прийняття рішень відповідно прогнозів. Впровадження у виробництво, виділення ресурсів для виробництва, залучення інвестицій, технологічна підготовка, організація виробн., освоєння, виготовлення дослідного зразка, випробовування, експеримент. методи
<i>K</i> {4б,5б}	<i>Контроль</i> . Контроль прийняття рішень. Критичний огляд проаналізованих ідей, методи прогнозування, розрахунок надійності, оптимізація параметрів, планування виробництва, управління часом, контроль якості, експертиза і коригування технічної документації, модифікація продукції, доопрацювання дослідного зразка
<i>O</i> {6a,7a}	<i>Оцінка</i> . Оцінка рішень відповідно реалізацій. Порівняння з традиційними рішеннями, використання уніфікованих та стандартизованих технологій, стабілізація виробничих процесів, уніфікація продукції, сертифікація продукції
<i>Pe</i> {6б,7б}	<i>Реалізація</i> . Реалізація рішень відповідно оцінок. Накопичення фактів, міркування на основі прецедентів, методи синтезу, серійне і освоєне в-во, програми оптимізації в-во і експлуатації, управління витратами, постачання і реалізація продукції, технічне обслуговування і ремонт

Таблиця 3. Опис класів елементів ІС на інших рівнях ієрархії

Рівень, біполярні множини ознак	Назва класу, приклади елементів та їх інформаційної продукції
1	2
<p><i>Рівень 1.1</i> 0: {1, 2, 3, 4}  1: {5, 6, 7, 8}</p>	<p><i>Етап проектів.</i> Центр етапу відповідає максимуму <i>A, M</i>. Підтримка проектування виробу. Дослідно-конструкторська та дослідно-технологічна робота. Системи підтримки прийняття проектних рішень. Системи автоматизованого проектування (системи CAD і CAE).</p> <p><i>Етап реалізації.</i> Центр етапу відповідає максимуму <i>O, Pe</i>. Підтримка виробн. і експлуатації. Управління ланцюгом постачань (SCM-системи). Створення супроводжуючої документації (IETM-системи), навчання персоналу.</p>
<p><i>Рівень 1.2</i> 0: {8, 1, 2, 3} 1: {4, 5, 6, 7}</p>	<p><i>Теоретичний етап.</i> Теоретичні методи. Науково дослідна робота над створенням продукції.</p> <p><i>Практичний етап.</i> Емпіричні методи. Застосування результатів науково-дослідної роботи.</p>
<p><i>Рівень 1.3</i> 0: {7, 8, 1, 2} 1: {3, 4, 5, 6}</p>	<p><i>Етап концепцій.</i> Центр етапу відповідає максимуму <i>I, B</i>. Абстрактні моделі, гіпотези, пошук рішень.</p> <p><i>Етап технологічний.</i> Центр етапу відповідає максимуму <i>P, K</i>. Конкретні рішення. Інтегровані автоматизовані системи управління виробництвом. Управління ресурсами підприємства (ERP-системи).</p>
<p><i>Рівень 1.4</i> 0: {6, 7, 8, 1}  1: {2, 3, 4, 5}</p>	<p><i>Етап експлуатації і вимог.</i> Експлуатаційні моделі виробу. Інтегровані автоматизовані системи управління експлуатацією. Дослідження експлуатації. Експлуатаційна документація. Управління відносинами з клієнтами (CRM-системи).</p> <p><i>Етап конструкторсько-технологічний.</i> Конструкторсько-технологічні моделі. Конструкторсько-технологічна документація. Технологічна підготовка (системи CAD і CAM). Поставлення продукції на виробництво (підготовка виробництва, освоєння виробництва).</p>
<p><i>Рівень 2.1</i> 0: {1, 2, 5, 6}  1: {3, 4, 7, 8}</p>	<p><i>Класи.</i> Подання об'єктів абстрактно, як їх класи. {1, 2} – <i>етап науково-дослідницький</i> (пошуково-аналітичний, дослідження та обґрунтування розроблення). {5, 6} – <i>етап серійного виробництва і дослідження збуту</i>.</p> <p><i>Об'єкти.</i> Подання об'єктів конкретно, як екземпляри класів. {3, 4} – <i>етап підготовки виробництва</i> (швидке прототипування, дослідне виробництво, САМ-системи). {7, 8} – <i>етап збуту і експлуатації</i>.</p>
<p><i>Рівень 2.2</i> 0: {8, 1, 4, 5}</p>	<p><i>Іраціональні етапи.</i> Стохастичні, евристичні методи, еволюційні алгоритми, нейронні мережі, когнітивне моделювання, МАІС. {8, 1} – <i>етап генерації ідей і вимог</i> (виявлення проблеми, розробки варіантів і моделей прийняття рішення, ескізний проект).</p>

Продовження табл. 3

1	2
1: {2, 3, 6, 7}	{4, 5} – <i>етап прийняття рішення і контролю</i> (організаційно-планова підготовка виробництва). <i>Раціональні етапи.</i> Детерміновані методи, МФПС, експертні системи логічного виведення. {2, 3} – <i>етап аналізів і мотивів</i> (пошук рішення і оцінка альтернатив, технічний проект). {6, 7} – <i>етап реалізації та її оцінки</i> (експлуатація, економічні методи оцінювання, аналіз витрат і вигод).
<i>Рівень 3.1</i> 0: {1, 3, 5, 7} 1: {2, 4, 6, 8}	<i>Процеси.</i> Орієнтація на процеси в ІС. Цілі нечіткі. Каузальний підхід. <i>Цілі.</i> Орієнтація на цілі в ІС. Процес не важливий. Аксіологічний підхід. Початок ЖЦ завжди має ознаку 0, а кінець – 1 (рис. 2).
0: {1а, 2а, 3а, 4а, 5а, 6а, 7а, 8а} 1: {1б, 2б, 3б, 4б, 5б, 6б, 7б, 8б}	<i>Потік 1.</i> Загальні перспективи. Проект першої черги. Статичні властивості об'єктів. Статичні моделі або дискретні динамічні моделі. Зосередження на цілях. <i>Потік 2.</i> Точні прогнози. Проект другої черги. Динамічні властивості об'єктів. Динамічні неперервні моделі. Зосередження на методах досягнення цілей.
0: {1а, 2б, 3б, 4а, 5а, 6б, 7б, 8а} 1: {1б, 2а, 3а, 4б, 5б, 6а, 7а, 8б}	<i>Властивості.</i> Опис і моделі властивостей об'єктів. <i>Відношення.</i> Опис і моделі відношень між об'єктами.
0: {1а, 2а, 3б, 4б, 5б, 6б, 7а, 8а} 1: {1б, 2б, 3а, 4а, 5а, 6а, 7б, 8б}	<i>Зміст.</i> Евристичні методи оцінки перспектив або прогнозів. Зміст понять. Абстрактні поняття. <i>Обсяг.</i> Евристичні методи висування вимоги і прийняття рішення. Обсяг понять. Конкретні поняття.
0: {1а, 2а, 3а, 4а, 5б, 6б, 7б, 8б} 1: {1б, 2б, 3б, 4б, 5а, 6а, 7а, 8а}	<i>Кількість.</i> Детерміновані методи аналізу і синтезу. Формально-логічні методи. Кількісні методи. Об'єктивні оцінки. <i>Якість.</i> Детерміновані методи постановки цілей або оцінки результатів. Методи експертного оцінювання. Якісні методи. Суб'єктивні оцінки.

*Закономірність інтегративності.* Відповідно до діалектичного закону єдності і боротьби протилежностей елементи ІС повинні бути протилежними. Наприклад, елементи *I* можна вважати ірраціональними так як вони переважно містять методи, точність яких раціонально не доведена (наприклад евристичні алгоритми), але які часто дають прийнятний результат. Елементи *A* містять гарантовано точні і оптимальні методи (наприклад методи математичної логіки), тому є раціональними. У системі ці елементи працюють послідовно, тобто розділені у часі і є протилежними відносно певного моменту часу. З цих точок зору елементи *I* та *A* можна вважати протилежними.

Якщо елементи *I* і *A* працюють послідовно, то відповідно закономірності інтегративності повинна існувати протилежність до них, яка

працює з ними паралельно. Під паралельною роботою елементів слід розуміти їх обмін інформацією з набагато вищою швидкістю ніж при послідовній роботі. Елементи, які працюють послідовно, розділені в часі. Елементи, які працюють паралельно, розділені в просторі. Паралельна протилежність елемента  $I$  повинна його синхронно (або майже синхронно) доповнювати до цілісності. Аналіз прикладів ЖЦ показує, що на першому етапі поряд з генерацією ідей нерідко існує етап висування вимог (проблемна ситуація, інкубація, орієнтування, формулювання потреб, вимірювання, спостереження, виявлення проблеми, функціональна недостатність). Назвемо його просто “вимоги” ( $B$ ). Може скластись враження, що спочатку повинні висуватись вимоги, а потім генеруватись ідеї. Однак висування великої кількості вимог не можливе без їх одночасного обстеження на перспективність. Недосяжні вимоги повинні відразу відкидатись елементами  $I$ . Інакше кажучи, елементи  $I$ ,  $B$  майже синхронно продукують ті ідеї, які відповідають вимогам, і висують ті вимоги, які перспективні. Це помітно на першому етапі ЖЦ системи “розробка концепції” в системній інженерії (табл. 1) [39], який на вході одночасно отримує інформацію “функціональна недостатність” (вимоги) та “технічні можливості” (перспективи). В методиках системного аналізу їм відповідає етап виявлення проблеми і постановки цілей.

Аналогічно елемент  $A$  повинен мати паралельну протилежність, яка його синхронно доповнює до цілісності, підтримує, запобігає надлишковому і непродуктивному аналізу. Назвемо її “мотив” ( $M$ ). В психології мотивація визначає спрямованість, організованість, активність і стійкість поведінки людини. В психологічній теорії діяльності С.Л. Рубінштейна та О.М. Леонтьєва мотив – це усвідомлена (раціональна) потреба, яка втілена в предмет. Мотив конкретно вказує на ресурс, за допомогою якого забезпечуються вимоги. Елементи  $A$  паралельно допомагають у виборі цього ресурсу шляхом аналізу перспектив. Елементи  $A$ ,  $M$  використовують більш раціональні методи ніж  $I$ ,  $B$ .

*Закономірність ієрархічності.* Відповідно до закономірності ієрархічності елементи  $I$ ,  $B$ ,  $A$ ,  $M$  утворюють цілісність, яка є частиною ІС і виконує функції проектування виробу або управління реалізацією. Очевидно, що вона не включає функціональні елементи для реалізації і супроводження системи. Теорія управління стверджує, що етап управління повинен бути послідовно доповнений етапом виконання. Більшість ЖЦ прийняття рішення містять тільки етап проектування. Центральним в них є етап аналізу ( $A$ ). Але коли іде мова про розробку ІС підтримки ЖЦ продукту, повинні розглядатись також етапи реалізації. Етап реалізації теж повинен складатись з послідовних етапів – ірраціонального і раціонального. Як правило етап реалізації починається з прийняття рішення ( $P$ ) і ним же і закінчується етап проектування. Синхронно з прийняттям рішення виконується прогнозування та критичний огляд ре-

зультатів проектування ( $K$ ). Закінчується етап реалізації власне реалізацією ( $Pe$ ) з синхронною оцінкою результатів ( $O$ ). Таким чином, існує чергування ірраціонального (образного) і раціонального (формального) етапів в ЖЦ (табл. 2). На такому чергуванні основана методика поступової формалізації моделей прийняття рішень [46].

Відповідно до закономірності цілісності множина елементів  $\{I, B, A, M\}$  повинна бути доповнена множиною з чотирма елементами, які забезпечують реалізацію і супроводження виробу –  $\{P, K, O, Pe\}$ . Множину елементів  $I, A, P, O$  назвемо “потік  $a$ ”, а множину елементів  $K, Pe, B, M$  – “потік  $b$ ”. Відомою є практика приблизно в середині періоду проектування (або ЖЦ) системи починати проектування системи наступної черги [47]. Тут системі першої черги відповідає “потік  $a$ ” ( $I, A, P, O, I$ ), а системі другої черги – “потік  $b$ ” ( $K, Pe, B, M, K$ ), який починається з етапу  $K$ . Елементи  $K$ , на відміну від  $I$ , не генерують щось принципово нове, а критично оглядають попередні досягнення. Таким чином, “потік  $b$ ” доповнює “потік  $a$ ”.

Ці вісім елементів утворюють ієрархічні структури в часі та просторі. Прикладом ієрархічної структури в часі є послідовність двох підсистем  $(I, A), (P, O)$ . Прикладом ієрархічної структури в просторі і часі є множина  $\{(I, A), (B, M)\}$ . Помітно, що протилежні класи на одному рівні мають спільні риси з протилежними класами на іншому рівні. Так на кожному рівні виконується перехід від загального етапу до конкретного. Разом з тим, класи на різних рівнях відрізняються. Тобто помітний ізоморфізм і поліморфізм класів та фрактальна структура ієрархії.

Багато чого спільного ця модель має з інформаційною моделлю психіки А. Аугустиновичюте [19] та моделлю ЖЦ суспільства В.В. Гуленка і О.В. Букалова [27], які теж побудовані шляхом дихотомічного ділення. Так на рівні 2.1 чотирьом етапам відповідають чотири “квадри”. На рівні 3.1 восьми етапам відповідають вісім “діад”, кожна з яких складається з двох типів особистості – “статик” і “динамік”. Для 16 типів А. Аугустиновичюте та Г. Рейнін виділили 15 пар біполярних ознак [48]. Для виявлення змісту деяких класів (табл. 2, 3) автор використовував ці дослідження.

*Закономірності розвитку.* У діалектичній логіці під логічною категорією розуміється поняття, що відображає послідовну стадію становлення будь-якого конкретного цілого. Такими категоріями є класи ІС, а послідовна робота елементів класів  $\{I, B\}, \{A, M\}, \{P, K\}, \{O, Pe\}$  утворює робочий цикл ІС. Цій абстрактній моделі ІС є ізоморфною динамічна математична модель ІС “гармонічний осцилятор” (1) з початковими умовами  $x(0)=1, y(0)=0$ . Графік функцій  $x=x_2, y=y_2$  показано на рис. 3. Кількісно охарактеризувати рівень елемента  $I$  можна змінною  $x$ , а рівень елемента  $Pe$  (або  $O$ ) – змінною  $y$ . Нехай  $x$  – це кількість ідей, а  $y$  – кількість реалізацій. Тоді кількість реалізацій  $y$  пропорційна швидкості збільшення кількості ідей  $x$ , а кількість ідей  $x$  пропорційна швид-



кості зменшення кількості реалізацій  $y$ . Від'ємні значення  $x$  (або  $y$ ) слід інтерпретувати як її протилежність. Наприклад,  $x > 0$  відповідає ідеї,  $x < 0$  – рішенню,  $y > 0$  – реалізації,  $y < 0$  – аналізу. Коливання осцилятора спричинені наявністю в системі протилежностей  $x$  і  $y$ . Спочатку кількість ідей найбільша, а реалізацій немає ( $x(0)=1$ ,  $y(0)=0$ ). З часом кількість ідей зменшується і зростає рівень проаналізованих ідей. Завершення етапу аналізу ( $y(\pi)=0$ ) збігається з моментом прийняття найбільшої кількості рішень ( $x(\pi)=-1$ ). Після цього починається етап реалізацій, завершення якого збігається з завершенням циклу ( $t=2\pi$ ). В середині етапу реалізації починає зростати кількість ідей, наприклад, внаслідок проблем експлуатації виробу. Ця модель може використовуватись для опису ЖЦ на обмежених проміжках часу (в межах періоду).

$$\begin{cases} dx/dt = y, \\ dy/dt = -x. \end{cases} \quad (1) \quad \begin{cases} dx/dt = 0.1x + y, \\ dy/dt = 0.1y - x. \end{cases} \quad (2) \quad \begin{cases} dy_1/dt = x_2, \\ dx_2/dt = y_2, \\ dy_2/dt = x_1, \\ dx_1/dt = y_1. \end{cases} \quad (3)$$

Закономірність історичності вказує на те, що завершення одного ЖЦ продовжується наступним з виходом функціональних елементів на новий рівень розвитку. Для цього архітектура ІС повинна мати можливості розширення: нарощування кількості функцій, компонентів, даних та знань. Найпростіше таку ІС можна змоделювати системою рівнянь (2), фазова траєкторія якої являє собою спіраль. Тут загальний рівень розвитку може бути визначений як радіус-вектор спіралі  $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ . Якщо величина  $R$  не суттєво зростає на сусідніх циклах, то можна перейти до простішої моделі (1).

Врахувати елементи  $B$ ,  $M$ ,  $K$ ,  $O$  можна в моделі гармонічного осцилятора з чотирма змінними (3) з початковими умовами  $x_1(0)=-1$ ,  $x_2(0)=1$ ,  $y_1(0)=0$ ,  $y_2(0)=0$ . Тут позитивні значення змінних  $x_1$ ,  $y_1$ ,  $x_2$ ,  $y_2$  відповідають елементам  $P$ ,  $A$ ,  $I$ ,  $O$ , а негативні – елементам  $B$ ,  $Pe$ ,  $K$ ,  $M$  (рис. 3). За потреби цю модель можна легко модифікувати в осцилятор з прогресуючими коливаннями.

*Закономірність самоорганізації* в ІС можна спостерігати, якщо перейти до дещо складнішої динамічної моделі, наприклад рівняння Релея. Майже незалежно від початкових умов модель показує часову самоорганізацію – автоколивання. В цій же моделі проявляється і *закономірність еквіфінальності* – фазова крива прямує до граничного циклу, що означає наявність границі розвитку ІС ( $R \rightarrow \text{const}$ ). Для подолання границі система повинна об'єднуватись з протилежною до неї відповідно закономірності емерджентності. Для такого об'єднання система повинна володіти множиною входів і виходів, як це вимагає *закономірність комунікативності*. Функціональна недостатність системи може

також призводить до її розвитку шляхом дихомічного ділення її з часом  $t$  на дві протилежні спеціалізовані підсистеми за законом  $2^t$ .

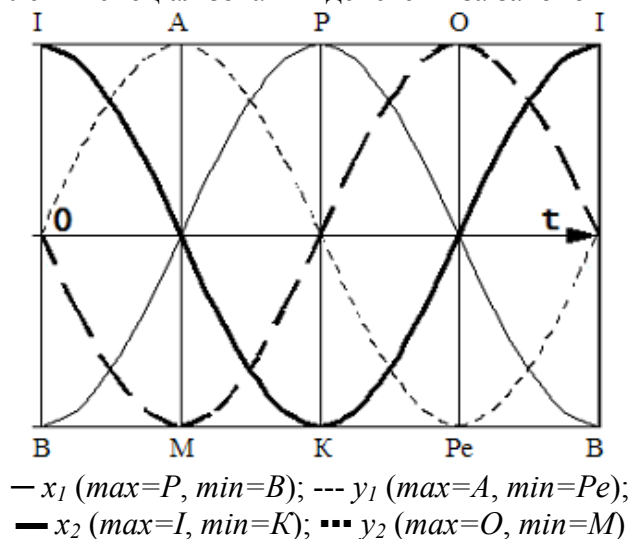


Рис. 3. Динамічна модель ІС за рівнянням (3)

*Закономірності здійсненності систем.* Відповідно до закономірності “необхідної різноманітності” “різноманітність” ІС повинна бути більшою “різноманітності” системи, якою вона управляє – технічної системи. Наприклад, різноманітність забезпечують методи “мозкової атаки” або колективної генерації ідей і інші методи вироблення колективних рішень. Різноманітність також може бути забезпечена утворенням конструкцій з елементів за допомогою різних комбінаторних конфігурацій (перестановок, розміщень, комбінацій, розбиття), як це робиться в морфологічному підході. Перший закон перетворення композицій системи [49] стверджує, що в системі можуть змінюватись: елементи (E), кількість елементів (K), відношення між елементами (R), та поєднання KR, RE, KE, KRE. Таким чином, є 7 способів змінити систему. Для прикладу, кількість різнотипних елементів (K) можна збільшити шляхом збільшення рівнів ієрархії (рис. 2).

Множина класів ІС повинна забезпечити цілісний і різноманітний погляд на ЖЦ виробу. Такі множини можна отримувати шляхом дихотомічного ділення системи за різними її ознаками так, щоб вони були ізоморфні до абстрактної моделі ІС. Для прикладу, відповідно до визначення системи, можна розглядати дихотомію елемент-відношення (рис. 4). Якщо система елементи-відношення 1 переходить з часом у інший стан 2, то утворюється система 3, де можна виділити дихотомію стан-перехід. Якщо і система 3 змінює з часом свій стан на стан 6, то утворюється система 7, де виділяється дихотомія процес-зміна процесу. Таким чином, маємо три незалежні біполярні ознаки: *елемент-відношення, стан-перехід, процес-зміна процесу*. Тоді цілісний погляд

на таку систему можливий за допомогою відповідних класів функціональних елементів ІС (табл. 4).

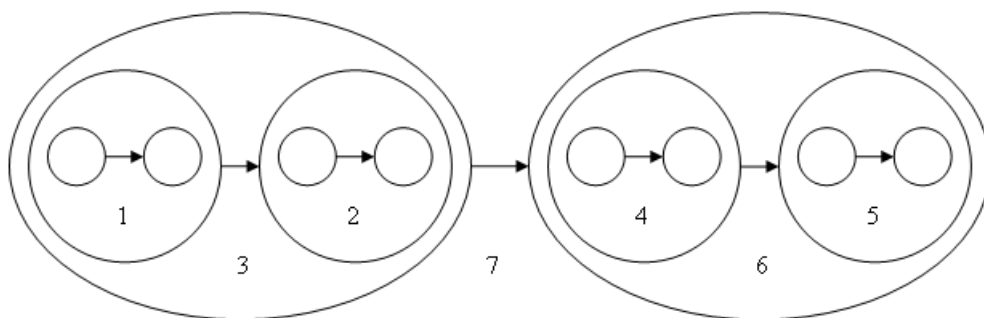


Рис. 4. Фрактальна структура динамічних систем

Таблиця 4. Класифікація ознак динамічних систем

процес (0)				зміна процесу (1)			
стан (0)		перехід (1)		стан (0)		перехід (1)	
елемент (0)	відношення (1)	елемент (0)	відношення (1)	елемент (0)	відношення (1)	елемент (0)	відношення (1)

Послідовність класів на нижньому рівні відповідає послідовності етапів ЖЦ системи. Фрактальна структура тут проявляється в тому, що класи *елемент, стан, процес* (0) розглядають систему з певної “статичної” на всіх рівнях ієрархії точки зору, а класи *відношення, перехід, зміна процесу* (1) – з “динамічної”. Якщо ж розглядати систему (рис. 4) як статичну, то будемо мати такі незалежні біполярні ознаки: елемент-відношення, “система рівня 2” – “відношення систем рівня 2”, “система рівня 3” – “відношення систем рівня 3”.

В багатьох моделях динамічних систем, описаних за допомогою диференціальних рівнянь, класифікацію ознак можна виконати за порядком похідної диференційованої функції (табл. 5). Наприклад, в механічних системах можна виділити поняття переміщення ( $x$ ), швидкості ( $v=dx/dt$ ), прискорення ( $a=dv/dt$ ), ривка ( $j=da/dt$ ).

Таблиця 5. Класифікація ознак динамічних систем за порядком похідної

$x$ та перша похідна		друга та третя похідні	
переміщення $x$	швидкість $dx/dt$	прискорення $d^2x/dt^2$	ривок $d^3x/dt^3$

В моделі гармонічного осцилятора поняття переміщення можна поділити на поняття “переміщення більше 0” та “переміщення менше 0” (табл. 6). Так само і поняття швидкість. Поняття потенціальної ( $E_p=x^2/2$ ) та кінетичної ( $E_k=v^2/2$ ) енергій можна поділити на поняття “енергія більше  $1/4$ ” та “енергія менше  $1/4$ ”. В табл. 6 показано класифі-

кацію ознак, нижній рівень якої утворює послідовність етапів ЖЦ осцилятора. Її фрактальна структура утворюється за допомогою протилежних ознак “>const”-“<const”.

Таблиця 6. Класифікація ознак гармонічного осцилятора

$x > 0$				$x < 0$			
$v > 0$		$v < 0$		$v > 0$		$v < 0$	
$Ep > 1/4$	$Ep < 1/4$	$Ep > 1/4$	$Ep < 1/4$	$Ep > 1/4$	$Ep < 1/4$	$Ep > 1/4$	$Ep < 1/4$

Різноманітність також забезпечується множиною відношень між класами ІС. Функціональні елементи ІС взаємодіють шляхом обміну інформацією. Для дослідження таких взаємодій виконаємо аналіз *бінарних відношень* між функціональними елементами ІС різних класів. Множину бінарних відношень  $Y$  можна отримати шляхом прямого (декартового) добутку множини класів  $X$  з собою  $Y = X \times X$ , який ще називається декартів квадрат. Для прикладу розглянемо відношення між етапами ІС за ознаками 2.1 (*класи – об’єкти*), або відношення між етапами ІС за ознаками 2.2 (*ірраціональність – раціональність*). Множина  $Y$  бінарних відношень 4 етапів буде містити 16 відношень (впорядкованих пар), з яких 4 рефлексивні, наприклад,  $(\{1,2\}, \{1,2\})$ . Можна виділити 4 типи відношень (табл. 7):

1. *Тотожність*. Синхронність, цілісність в просторі.
2. *Пряма послідовність*. Прямий зв’язок. Утворює цілісність в часі, синергію.
3. *Антипослідовність*. Максимальна розділеність в часі, асинхронність. Синхронна або послідовна взаємодія елементів цього відношення характеризуються певною диссинергією, конфліктністю, призводить до зниження ефективності функціонування системи та зростання адитивності елементів.
4. *Обернена послідовність*. Зворотний зв’язок. Утворює з прямою послідовністю цілісність.

Таблиця 7. Бінарні відношення між елементами класів рівня 2.1

$\{1,2\}, \{1,2\}$	$\{3,4\}, \{3,4\}$	$\{5,6\}, \{5,6\}$	$\{7,8\}, \{7,8\}$	1.Тотожність
$\{1,2\}, \{3,4\}$	$\{3,4\}, \{5,6\}$	$\{5,6\}, \{7,8\}$	$\{7,8\}, \{1,2\}$	2.Пряма послідовність
$\{1,2\}, \{5,6\}$	$\{3,4\}, \{7,8\}$	$\{5,6\}, \{1,2\}$	$\{7,8\}, \{3,4\}$	3.Антипослідовність
$\{1,2\}, \{7,8\}$	$\{3,4\}, \{1,2\}$	$\{5,6\}, \{3,4\}$	$\{7,8\}, \{5,6\}$	4.Обернена послідовн.

Множина бінарних відношень восьми класів ( $I, B, \dots, Pe$ ) буде містити 64 відношення, з яких 8 рефлексивні. Можна виділити 8 типів відношень за ознакою часової віддаленості етапів ІС (табл. 8). Цифрою 1 позначені типи відношень між елементами з однаковою ознакою “*потік а*”-“*потік б*”, а цифрою 2 – з різними ознаками.

Таблиця 8. Бінарні відношення між елементами класів  $I, B, \dots, Pe$ 

I,I	B,B	A,A	M,M	P,P	K,K	O,O	Pe,Pe	Тотожність 1
I,B	B,I	A,M	M,A	P,K	K,P	O,Pe	Pe,O	Синхронність 2
I,A	B,M	A,P	M,K	P,O	K,Pe	O,I	Pe,B	Пряма послідовність 1
I,M	B,A	A,K	M,P	P,Pe	K,O	O,B	Pe,I	Пряма послідовність 2
I,P	B,K	A,O	M,Pe	P,I	K,B	O,A	Pe,M	Антипослідовність 1
I,K	B,P	A,Pe	M,O	P,B	K,I	O,M	Pe,A	Антипослідовність 2
I,O	B,Pe	A,I	M,B	P,A	K,M	O,P	Pe,K	Обернена послідовність 1
I,Pe	B,O	A,B	M,I	P,M	K,A	O,K	Pe,P	Обернена послідовність 2

Аналіз відношень дозволить підвищити ефективність інформаційних взаємодій функціональних елементів ІС, збільшити синергію і зменшити диссинергію. Наприклад, класи ідея-вимога  $\{I, B\}$  не можуть функціонувати паралельно з рішенням-критика  $\{P, K\}$ , переважання в ІС відношення  $(I, P)$  призводить до ефекту “необдумані рішення”, а  $(I, K)$  – до ефекту “надлишкова критика ідей”, відношення  $(A, A)$  – до ефекту “надлишковий аналіз”,  $(O, O)$  – до ефекту “інерція мислення” і т.д. Методи МАІС, які основані на елементі  $(I)$ , будуть працювати ефективніше під час синхронності  $(I, B)$ , прямої послідовності  $(I, A)$ ,  $(I, M)$ , антипослідовності  $(I, P)$ ,  $(I, K)$  та оберненої послідовності  $(I, O)$ ,  $(I, Pe)$ . Наприклад, метод “мозкової атаки” [8], який відноситься до МАІС, найефективніший тоді, коли у великій кількості висувуються будь-які, навіть абсурдні, ідеї, на етапі генерації повністю відсутня критика  $\{I, K\}$ , інерція мислення, обмеження та оцінювання ідей  $(I, O)$ , генератори ідей отримують позитивну підтримку, комфорт і заохочення  $(\{I, B\}, (I, M))$ , після етапу генерації відбувається аналіз усіх висунутих ідей  $(I, A)$ . Засобами підвищення ефективності методу експертного оцінювання “Дельфі” [8], який також відноситься до МАІС, є: подолання конформізму  $\{K, I\}, \{P, I\}$  і підвищення мотивації експертів  $(I, M)$ , організація зворотного зв’язку експертів з результатами  $(A, I)$ , удосконалення методів аналізу  $(I, A)$ .

*Синергія* елементів ІС полягає у тому, що результат взаємодії двох або більше елементів різних класів є ефективнішим за їх сумарний результат без взаємодії. *Рівень синергії* підсистеми ІС можна розглядати як ступінь її цілісності та орієнтовно визначати як значення функцій  $SR(x)$ , яке залежить від множини елементів підсистеми  $x$  ІС з заданою ієрархічною схемою (рис. 2). В залежності від виду ІС можна запропонувати різні такі функції і схеми.

Наприклад, розглянемо систему з 4 класами. Булеаном множини  $\{1, 2, 3, 4\}$  є множина з  $2^4=16$  елементами:  $\{\{\}, \{1\}, \{2\}, \{3\}, \{4\}, \{1, 2\}, \{1, 3\}, \{1, 4\}, \{2, 3\}, \{2, 4\}, \{3, 4\}, \{1, 2, 3\}, \{1, 2, 4\}, \{2, 3, 4\}, \{1, 3, 4\}, \{1, 2, 3, 4\}\}$ . В цьому випадку рівень синергії найпростіше визначити як кількість елементів підсистеми  $x$  мінус 1:

$$SR(1,2)=SR(1,3)=SR(1,4)=SR(2,3)=SR(2,4)=SR(3,4)=1,$$

$$SR(1,2,3)=SR(1,2,4)=SR(2,3,4)=SR(1,3,4)=2, SR(1,2,3,4)=3.$$

За схемою з 8 класами (рис. 2) булеан множини буде містити 256 елементів. В цьому випадку значення функції  $SR$  можна визначити як підсумовану для усіх можливих пар елементів підсистеми кількість кільцевих секторів круга спільних для пари елементів. Наприклад:

$$SR(1)=0; SR(1,5)=1; SR(1,4)=2; SR(2,3)=5; SR(1,2)=5,$$

$$SR(1,2,5)=SR(1,2)+SR(2,5)+SR(1,5)=5+2+1=8,$$

$$SR(1,2,3,4)=SR(1,2)+SR(2,3)+SR(3,4)+SR(1,4)+SR(1,3)+SR(2,4)=$$

$$=5+5+5+2+3+3=23.$$

У випадку застосування різних схем функцію  $SR$  бажано нормувати так щоб  $0 \leq SR_{норм}(x) \leq 1$ . Наприклад,  $SR_{норм}(x) = SR_{max} / SR(x)$ , де  $SR_{max}$  – максимальний рівень синергії для даної схеми. Низький рівень синергії слід називати диссинергією.

*Закономірність адитивності.* Елементи системи повинні бути незалежними. У випадку розпаду системи вони повинні виконувати свою функцію, але без системного ефекту. Незалежність елементів ІС необхідна для спрощення її розробки та супроводження. Відповідно до *закономірності прогресуючої систематизації* ІС система повинна постійно збільшувати свій системний ефект. Наприклад, в моделі за рівнянням 2 в якості величини системного ефекту можна взяти сумарний рівень рішення задачі  $R$ , який постійно зростає. Відповідно до *закономірності прогресуючої факторизації* елементи системи повинні постійно підвищувати свій рівень незалежності. Таким чином, розвиток ІС передбачає постійне підвищення величин системного ефекту і незалежності елементів.

Парадоксально, але відповідно до закономірності інтегративності процеси прогресу повинні доповнюватись процесами регресу. Це ж вимагає закономірність “необхідної різноманітності”. В складних системах процеси регресу неминучі. Це дозволяє долати граничні можливості системи і виходити на новий рівень розвитку. Чергування етапів прогресу і регресу помітно в моделях биття – взаємодії двох коливальних систем з близькими частотами. Тут амплітуда коливань змінюється синусоїдально і характеризує рівень прогресу. В ІС можна штучно чергувати фази систематизації і факторизації, або прогресу і регресу (табл. 9). Наприклад, умови адитивності і регресу можна створити шляхом взаємодії функціональних елементів класів  $I, P$  або  $A, Pe$ .

Таблиця 9. Чергування фаз прогресу і регресу на різних рівнях розвитку ІС

Систематизація			
Систематизація		Факторизація	
Систематизація	Факторизація	Систематизація	Факторизація

**Висновки.** Принцип ізоморфізму закономірностей складних систем та їх міждисциплінарний аналіз дозволив розробити абстрактну модель ІС, яка володіє цими закономірностями. Ця модель є якісною і може бути основою для розробки більш складних кількісних математичних моделей ІС. Модель має фрактальну структуру і тому може описувати не тільки ІС підтримки всього ЖЦ виробу, але й будь-якого його етапу: проектування, виробництва, експлуатації. Модель також є ізоморфною до інших складних інформаційних систем. Зокрема її можна використовувати як методіку системного аналізу. Наступним етапом таких міждисциплінарних досліджень є інтерпретація інших класів ІС та їх бінарних відношень.

### *Література*

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.
2. Информационно-вычислительные системы в машиностроении CALS-технологии / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов, В.В. Павлов, Л.В. Рыбаков. – М.: Наука, 2003. – 292 с.
3. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ИПИ: учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. / А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров, И.М. Ибрагимов, А.Д. Никифоров. – М.: Изд. центр «Академия», 2007. – 304 с.
4. NATO CALS Handbook. Version 2. June 2000. – Brussel: NATO CALS Office, 2000. – 342 p.
5. Судов Е.В. Концепция развития CALS-технологий в промышленности России / Е.В. Судов, А.И. Левин. – М: НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика», 2002. – 131с.
6. Stark, John. Product Lifecycle Management: in 2 volumes / John Stark. – Third Edition – Geneva: Springer, 2016.
7. Боулдинг К. Общая теория систем – скелет науки // Исследования по общей теории систем / К. Боулдинг. – М.: Прогресс, 1969. – С. 106-124.
8. Системный анализ и принятие решений: Словарь-справочник: Учеб. пособие для вузов / Под ред. В.Н. Волковой, В.Н. Козлова. – М.: Высш. шк., 2004. – 616 с.
9. Флейшман Б.С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем / Б.С. Флейшман. – М.: Советское радио, 1971. – 224 с.
10. Bertalanffy von L. General System theory: Foundations, Development, Applications / L. von Bertalanffy. – 1st ed. – N. Y.: George Braziller, Inc., 1968. – 289 p.
11. Берталанфи Л. Общая теория систем – критический обзор // Исследования по общей теории систем: Сборник переводов / Общ. ред. и вст. ст. В.Н. Садовского и Э.Г. Юдина. — М.: Прогресс, 1969. – С. 23-82.

12. Принципы материалистической диалектики как теории познания. / Ответственный редактор В.А. Лекторский. – М.: Наука, 1984. – 304 с.
13. Богданов А.А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн. / А.А. Богданов. – М.: Экономика, 1989.
14. Плотинский Ю.М. Модели социальных процессов: Учебное пособие для высших учебных заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Ю.М. Плотинский. – М.: Логос, 2001. – 296 с.
15. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bigenc.ru/>
16. Мещеряков Б. Большой психологический словарь / Сост. и общ. ред. Б. Мещеряков, В. Зинченко. – СПб.: прайм-ЕВРОЗНАК, 2004. – 672 с.
17. Фрейд З. По ту сторону принципа удовольствия / З.Фрейд // Психология бессознательного. Пер. с нем. А.М. Боковой. – М.: Просвещение, 2006. – 335 с.
18. Юнг К.Г. Психологические типы / К.Г. Юнг; под ред. В. Зеленского; пер. С. Лорие. – СПб.: Азбука, 2001. – 500 с.
19. Аугустинавичюте А. Соционика / А. Аугустинавичюте. – М.: Чёрная белка, 2008. – 568 с.
20. Ермак В.Д. Классическая соционика. Системная концепция теории информационного метаболизма психики / В.Д. Ермак. – М.: Чёрная белка, 2009. – 472 с.
21. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахака. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
22. Блехман И.И. Синхронизация в природе и технике / И.И. Блехман. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981. – 352 с.
23. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / В.А. Садовничий, А.А. Акаев, А.В. Коротаев, С.Ю. Малков. – М.: ИСПИ РАН, 2012. – 359 с.
24. Турчин П.В. Историческая динамика: На пути к теоретической истории / Пер. с англ. П.В. Турчин; Под общ. ред. Г.Г. Малинецкого, А.В. Подлазова, С.А. Боринской. Предисл. Г.Г. Малинецкого. Изд. 2-е. – М.: Издательство ЛКИ, 2010. – 368 с.
25. Коротаев А.В. Законы истории. Математическое моделирование исторических макропроцессов. Демография, экономика, войны / А.В. Коротаев, А.С. Малков, Д.А. Халтурина. – М.: КомКнига, 2005. – 344 с.
26. Howe, Neil. The Fourth Turning: What the Cycles of History Tell Us About America's Next Rendezvous with Destiny / Neil Howe, William Strauss. – New York: Broadway Books, 1997.
27. Букалов А.В. О четырех эволюционных стадиях развития и законе сменяемости квадр // СМиПЛ. – 1995. – N 1.
28. Костов С.В. Богданомика: микрокосм А.А. Богданова. 3-е изд., перераб. и доп. / С.В. Костов. – Новосибирск: Новосибирский издательский дом, 2015. – 784 с.



29. Кун Т. Структура наукових революцій / Т. Кун. – К.: Port-Royal, 2001. – 228 с.
30. Хьюбнер К. Критика научного разума / К. Хьюбнер; Пер. с нем. – М.: ИФРАН, 1994. – 326 с.
31. Щедровицкий Г.П. Избранные труды / Г.П. Щедровицкий. — М.: Шк. Культ. Полит., 1995. – 800 с.
32. Адамар Ж. Исследование психологии процесса изобретения в области математики / Ж. Адамар. – М.: Сов. радио, 1970. – 152 с.
33. Тихомиров О.К. Психология мышления / О.К. Тихомиров. – М.: Изд. центр “Академия”, 2008. – 288с.
34. Альтшуллер Г.С. О психологии изобретательского творчества / Г.С. Альтшуллер, Р.Б. Шапиро // Вопросы психологии. – 1956. – № 6. – С. 37-49.
35. ДСТУ 3278-95. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво. Основні терміни і визначення. [Текст]. – Введ. 1995-12-27. – К.: Держстандарт України, 1995. – 63 с.
36. Р 50.1.031-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Терминологический словарь. Часть 1. Стадии жизненного цикла продукции. Рекомендации по стандартизации [Текст]. – Введ. 2001-06-01. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 32 с.
37. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем [Текст]. – Введ. 2005-12-29. – М.: Стандартинформ, 2005. – 57 с.
38. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств [Текст]. – Введ. 2010-11-30. – М.: Стандартинформ, 2011. – 105 с.
39. Systems Engineering Principles and Practice / A. Kossiakoff, W.N. Sweet, S.J. Seymour, S.M. Viemer. – 2-е изд. – Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, 2011. – 599 с.
40. Батоврин В.К. Управление жизненным циклом технических систем: серия докладов (зеленых книг) в рамках проекта «Промышленный и технологический форсайт Рос. Федер.» / В.К. Батоврин, Д.А. Бахтурин; ред. И.С. Мацкевич, М.С. Липецкая; Фонд «Центр стратегических разработок «Северо-Запад». – Санкт-Петербург, 2012. – Вып. 1. – 59 с.
41. Огурцов А.Н. Введение в синергетику: учебное пособие / А.Н. Огурцов. – Х.: НТУ “ХПИ”, 2013. – 208 с.
42. Турчин В.Ф. Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. Изд. 2-е / В.Ф. Турчин. – М.: ЭТС. – 2000. – 368 с.
43. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем / А. И. Уемов. – М.: Мысль, 1978. – 272 с.
44. Эшби У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Издательство иностранной литературы, 1959. – 432 с.

45. Черняк Ю.И. Системный анализ в управлении экономикой / Ю.И. Черняк. – М.: Экономика, 1975. – 191 с.
46. Волкова В.Н. Теория систем: Учеб. пособие / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – М.: Высш. шк., 2006. – 511 с.
47. Организация систем управления созданием и развитием технической продукции: Методические рекомендации / М.М. Четвертаков и др. – Л.: ЦНИИ «Румб», 1981. – 96 с.
48. Рейнин Г. Тайны типа. Модели. Группы. Признаки / Г. Рейнин. – М.: Чёрная белка, 2009. – 304 с.
49. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии (Философские и естественнонаучные аспекты). – М.: Мысль, 1974. – 229 с.
- Стаття надійшла до редакційної колегії 24.10.2017 р.  
Рекомендували до друку к.т.н. Кім Г.В.,  
д.т.н., професор Панчук В.Г.*

## ABSTRACT MODEL OF PRODUCT LIFECYCLE MANAGEMENT SYSTEM

**V. B. Kopey**

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;  
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpats'ka str., 15;  
ph. (0342) 72-71-26; e-mail: vkopey@gmail.com*

*Based on the principle of isomorphism of the regularities of complex systems and the interdisciplinary analysis of these regularities in various natural and artificial systems, an abstract model of product lifecycle management system (plm-system) has been developed. Classification of the product life cycle by the dichotomy method allowed to describe the classes of functional elements of the model and their hierarchy. Approximate interpretations of classes are given. It is shown that this model has the basic regularities of complex systems. The dynamic mathematical models that are isomorphic to the abstract model and are described by a system of differential equations are described. In particular, the "harmonic oscillator" model with four variables. The analysis of binary relations between the classes of the model is performed and types of relations are revealed. Methods for calculating the synergy rate of model subsystems are proposed. The developed model is isomorphic to other complex information systems.*

**Key words:** *information system, life cycle, PLM, CALS, complex system, isomorphism, system theory, regularities of complex systems*