

УДК 681.3.049

М. Лобур, О. Матвійків

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра САПР

МЕТОДОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛІ ЧУТЛИВОСТІ В МОДЕЛЮВАННІ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

© Лобур М., Матвійків О., 2002

Розглянуто методику моделювання складних неформалізованих систем на основі моделі підвищеної чутливості Ф.Фестера, що використовує методи нечіткої логіки. Наведена методика дозволяє аналізувати та прогнозувати діючі системи та може бути використана в експертних системах автоматизованої підтримки прийняття рішень.

Methods of complex informal systems modeling based on Fester's sensitivity model using methods of fuzzy logic is considered. Brought methodology allows analyze and predict working systems and can be used in expert systems of automated support of decision making.

Соціальні, економічні, техногенні та екологічні проблеми починають відігравати все більш важливу роль в житті людства. Тому розробці комп'ютерних систем моделювання, аналізу, моніторингу та діагностики різноманітних процесів в таких соціально-економічних і екологічних системах (СЕЕС) сьогодні надають великого значення. Як правило, соціально-економічні та екологічні кризові процеси виникають на рівні регіону, що вимагає проведення полісистемного дослідження і моделювання регіональної СЕЕС, прогнозування подальшого розвитку поточної ситуації і прийняття оптимальних управлінських рішень. Все це вимагає розробки нових методологічних і технологічних підходів до побудови інформаційних систем підтримки прийняття рішень в нечітких ситуаціях.

Досвід показує, що такі системи характеризуються підвищеною складністю, інформаційною насиченістю, комплексним характером взаємовпливів між елементами системи. В звичайних умовах СЕЕС досить повільно накопичують впливи і характеризуються значною затримкою реакцій на ці впливи, однак в кризові періоди вони можуть дуже швидко і гнучко реагувати на зовнішні зміни. Це справедливо як для економічних систем (умови і терміни платежів, курси валют і цінних паперів), так і для екологічних систем в моменти природних чи техногенних криз і катастроф. Отже, динамічність даних, їх своєчасне оновлення потрібно розглядати як основний критерій моделювання СЕЕС.

Основними особливостями СЕЕС є:

- беззупинний характер розвитку систем (може бути і прогресивним, і регресивним);
- розмитість кордонів систем (в процесі розвитку склад елементів системи і характер їх взаємозв'язку між собою і з зовнішнім середовищем може істотно змінюватися);
- багатоканальність в реалізації зворотних зв'язків;
- тісний взаємозв'язок з іншими внутрішньорегіональними системами і з навколишнім середовищем;

- комплексний характер та велика інерційність об'єктів управління між різними ієрархічними рівнями;
- значні витрати ресурсів і часу на проектування і розвиток;
- грубість і стійкість в стабільних ситуаціях, тобто невеликі відхилення в параметрах функціонування окремих елементів і їх взаємозв'язок мало впливають на функціонування систем загалом;
- труднощі збирання достовірної інформації про стан об'єктів управління, затримка надходження її (інформації) до керуючого органу.

Шляхи та проблеми моделювання СЕЕС систем

Моделювання СЕЕС вимагає збирання, обробки й аналізу великих об'ємів різноманітної технічної, технологічної, економічної, соціальної та інших видів інформації. Однак відомо, що для цих систем практично нереально знаходити розв'язок на основі повної формалізації процесів, що в них проходять. Особливо це стосується систем, що мають невизначені (або не чітко визначені) впливи. В такому випадку немає сенсу точно фіксувати сам розв'язок, а потрібно лише говорити про тенденції в поведінці окремої системи чи об'єкта.

Методологічною основою моделювання регіональних СЕЕС є подання регіону у вигляді слабоструктурованої складної системи, яка може містити цілий ряд підсистем: населення, виробництво, невиробнича сфера, екологія, транспорт, фінанси, зовнішня економічна сфера. Така соціально-економічна система характеризується ієрархічністю управління і активністю окремих її підсистем. Вона має складну внутрішню структуру системи, а взаємодія між її елементами визначається: а) формально заданими зв'язками (наприклад, які склались внаслідок історичних і економічних передумов); б) неформально сформованими (в процедурах прийняття рішення при розробці прийнятих стратегій) і розглядається з урахуванням характеру впливів зовнішнього середовища на внутрішню структуру системи.

Отже, проблематика моделювання складних СЕЕС пов'язана з тим, що ці задачі важко формалізуються. Для побудови універсальної інформаційної системи і застосування математичних методів її аналізу необхідно сформулювати адекватний математичний опис елементів системи. А розробка математичних моделей не завжди можлива внаслідок складності і невизначеності поведінки об'єктів системи, розмитості границь системи, неповноти та нечіткості вхідних даних. В реальних умовах функціонування зовнішнє середовище таких систем змінюється випадково.

Сьогодні існує декілька підходів до моделювання складних СЕЕС.

Один з них – декомпозиція системи на страти, рівні тощо і розробка окремих моделей на кожному ієрархічному рівні. Елементи такої системи характеризуються іменем і рівнем ієрархії системи. Для їх опису використовується мова теорії множин. При цьому стандартні елементи опису об'єднують риси всіх елементів відповідного класу, чим досягається інваріантність математичного опису до найменування і рівня елемента, що відповідає вимозі універсальності. Елементи одного класу можна об'єднувати, створюючи новий стандартний елемент. Елементи різних класів також можна об'єднувати, однак, тоді, створюється уже якісно новий елемент з іншою множиною характеристик. Основна проблема цього підходу полягає в тому, що при спрощенні систем і розбитті їх на рівні досить часто втрачається корисна інформація, яка характеризує систему.

Інший підхід – спрощення системи і побудова узагальненої математичної моделі за допомогою методів ідентифікації, математичної статистики, теорії масового обслуговування тощо. В цьому випадку математична модель може базуватися на підході теорії множин, і в ній проектувальники намагаються врахувати сукупність соціальних, економічних, технологічних і функціональних обмежень шляхом представлення стану системи у векторному просторі великої розмірності. При таких підходах можливі конструктивні методи розв'язання для однорідних задач великої розмірності при досить примітивних і простих критеріях оптимальності, таких як максимізація простого функціонала з однорідною фізичною розмірністю. Це істотно обмежує клас задач, для яких можна знайти конструктивні алгоритми і процедури оптимізації. Іншим принциповим недоліком таких моделей є смислова незв'язність між моделлю системи і критерієм оптимальності, оскільки критерій за визначенням не пов'язаний і не впливає з природи процесу, що оптимізується.

Останнім часом все більшого поширення набуває побудова різноманітних експертних систем для моделювання поведінки СЕЕС. Основою для побудови експертної системи, яка працює на основі нечіткої логіки, є використання біокібернетичної моделі чутливості, яку запропонував проф. Ф.Фестер [1].

Біокібернетична модель підвищеної чутливості

Запропонований Ф.Фестером підхід до моделювання покликаний сприяти виявленню найважливіших механізмів циклічних зворотних зв'язків, які характеризують поведінку діючих комплексних систем. За допомогою звичайної мови створюється опис системи, що аналізується, а за допомогою ряду методологічних кроків проводять аналітичний та синтетичний аналізи. У кінцевій стадії моделювання визначають повну придатність системи для виживання або оптимальне функціонування в заданих умовах. Подальший аналіз результатів моделювання з метою прийняття оптимальних рішень здійснюють шляхом розміщення знань, які були отримані в процесі тестування, згідно з набором універсальних "біокібернетичних" правил.

В основі запропонованого підходу лежить завдання змінити існуючу систему з метою покращання окремих її характеристик. На рис. 1 зображено ітераційний процес модифікації системи за схемою "об'єкт" – "діагноз" – "терапія".

Основою системного підходу і одночасно *першим етапом* застосування методики моделі чутливості є опис системи та, при можливості – зменшення її складності. Для цього застосовують методи "мозкової атаки", в результаті чого створюють найбільш різнопланове зображення системи, що вивчається, і щоби з'ясувати всі тенденції і аспекти, які є потенційно можливими, відбирають раціональну кількість ключових факторів, які достатньою мірою описують систему. Особливість даної системної моделі полягає в тому, що вона базується на рекурсивній структурі і залишається відкритою до кінця аналізу так, що загальна модель може бути уточненою на будь-якому етапі аналізу.

На *другому етапі* досліджують внутрішні взаємодії змінних і будують графову модель системи. Далі встановлюють ролі всіх змінних системи і величини впливу окремих змінних на поведінку системи. Цей підхід повністю базується на використанні правил нечіткої логіки і дозволяє створити модель системи, придатну як для управління, так і для аналізу ризиків і шансів на її модифікацію.

На *третьому етапі* процесу проводиться біокібернетична оцінка проаналізованої системи з точки зору оптимізації її життєздатності, в тому числі відносно саморегулювання, гнучкості і керованості. Використання методів нечіткої логіки дозволяє виявити приховані або неявні впливи в системі, отже, перетворити систему "пацієнт" в "діагноз – модель". Далі за допомогою оїсьми біокібернетичних правил визначають і формулюють стратегію вирішення задачі.

У наведеній схемі ця фаза моделювання відповідає "терапії" і може реагувати на такі різні втручання в систему, як соціальні заходи, технічні впливи, управлінські рішення або політичні впливи на систему. Вибрана схема терапії залишається в моделі і використовується при імітації змін в системі.

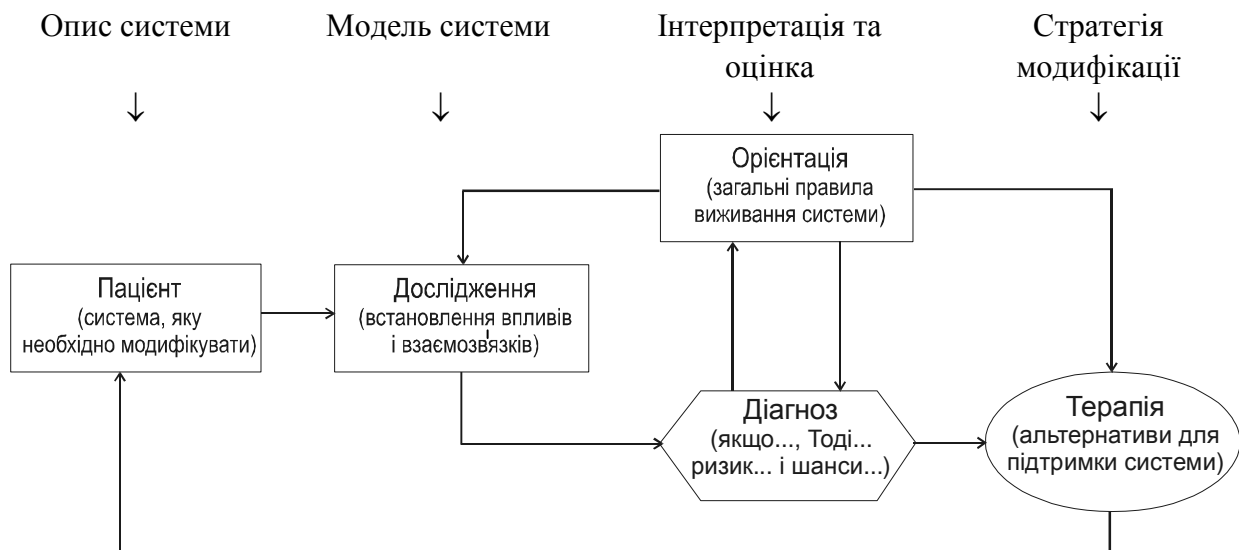


Рис. 1. Узагальнена схема аналізу складної системи

Модель чутливості містить структурний набір з дев'яти методичних кроків для всебічного тлумачення і аналізу моделей, оснований на круговій причинній логіці. З методологічної точки зору вона являє собою інтеграцію різних методів (інтелектуальна картографія, діаграми зворотного зв'язку, аналіз перехресних взаємовпливів, симуляція динаміки системи та ін.), технічні елементи яких відомі і використовуються в інших методиках і підходах.

Тлумачення складових етапів моделі підвищеної чутливості

Основною метою моделі чутливості є опис будь-якої комплексної системи загалом так, щоби мати можливість згодом розробляти довгострокові плани та приймати рішення для вибору стратегії модифікації системи. Оскільки всі комплексні системи характеризуються багатоваріантністю та багатокритеріальністю, для орієнтації моделі, без якої неможливо було б визначити правильну стратегію модифікації, використовують оцінку на основі біокібернетичних правил.

З практичної точки зору структуру системної моделі підвищеної чутливості можна подати у вигляді таких 9 блоків (рис. 2):

- ◆ Системний опис об'єкта чи системи.
- ◆ Виділення факторів і об'єктів впливу.

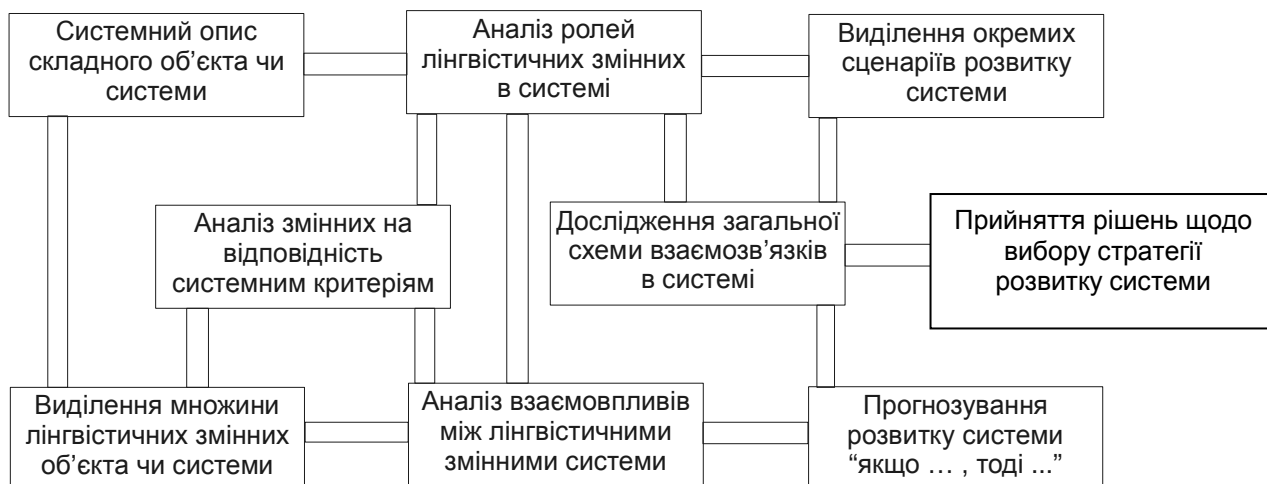


Рис. 2. Структура системної моделі чутливості Фестера

- ◆ Перевірка змінних на системну орієнтацію.
- ◆ Оцінка взаємовпливів.
- ◆ Визначення ролі змінних в системі.
- ◆ Дослідження взаємозв'язків в системі.
- ◆ Виділення окремих сценаріїв системи.
- ◆ Моделювання та прогнозування за правилами "якщо ..., тоді ..."
- ◆ Системна оцінка та прийняття рішень щодо вибору стратегії розвитку.

1. Системний опис об'єкта чи системи

На цьому етапі описується цей складний об'єкт (чи система), які досліджуються згідно з визначеною метою, зокрема – підвищення його життєздатності. Для цього визначають границі системи та її другорядні цілі. Щоб отримати найбільш повну системну картину, в описі мають брати участь всі сторони, зацікавлені в подальших рішеннях. Так зменшується ймовірність внесення помилок, прийняття авторитарних однобоких рішень тощо. Ця стадія залишається відкритою до повного закінчення аналізу системи, тобто з будь-якої стадії аналізу можна повернутись на цю першу стадію і змінити початковий опис.

2. Виділення факторів і об'єктів впливу

Із системного опису виділяють внутрішні системні об'єкти та фактори впливу, які відіграють в системі головну роль. Ці фактори приймають за лінгвістичні змінні системи. При цьому мова йде не про фіксовані фактори, а про ті з них, які можуть змінюватись і впливати на систему. Для формування банку лінгвістичних змінних системи часто застосовують методи "мозкового штурму" або "експертних оцінок". Паралельно учасники цього процесу описують виділені ними змінні для їх адекватного сприйняття іншими експертами та формується загальна документація.

3. Перевірка змінних на системну орієнтацію

Поки ми знаходимось в середині структури системи, ми не можемо оцінювати її загалом. Тому наступним етапом повинен бути процес системної оцінки вибраних змінних, коли особливого значення набуває те, як і звідки відібрані ці змінні: систематично, з різних точок зору на систему чи однобоко. Також необхідно враховувати як суб'єкти системи, так і

сферу економічних та інших видів діяльності і відносин, а також розміщення системи в просторі і її звязки з навколишнім середовищем. Також оцінюють вплив на систему інфраструктури та шляхів комунікації, внутрішніх механізмів управління, законів, договорів тощо. В такому вигляді можна оцінити вибрані змінні: чи вони реально визначають систему з точки зору матерії, енергії та інформації та деяких інших критеріїв. Всі ці аспекти, в загальному випадку, правомірні для кожної системи і тому для проведення такого аналізу будують “матрицю критеріїв”. В результаті аналізу потрібно отримати множину змінних, яка всебічно описує систему. З практичного досвіду оцінюють, що реально можна моделювати системи, які містять до 20-30 лінгвістичних змінних.

4. Оцінка взаємовпливів

На цьому кроці задаються взаємні впливи кожної змінної системи та інших лінгвістичних змінних. Для задання такого впливу використовують 4-бальну систему оцінки – “0” – не впливає, “1” – слабо впливає, “2” – впливає, “3” – сильно впливає. В подальшому це дозволить відшукати та ідентифікувати скриті (чи приховані) взаємозв'язки і впливи в системі. В результаті формується матриця взаємовпливів. Для підвищення об'єктивності оцінки рекомендується розробляти такі матриці декількома паралельними групами експертів, а потім формувати одну консолідовану матрицю.

5. Визначення ролі змінних в системі

З матриці взаємовпливів після нескладних обчислень можна визначити ролі, які виконує кожна змінна в системі. Ці ролі класифікують з точки зору позиції змінних в системі чотирьох полюсів: “активна”, “пасивна”, “критична” і “буферна” змінні. Активні змінні – це такі, які активно впливають на інші змінні і систему загалом. Пасивні змінні сприймають вплив від інших змінних і, в свою чергу, не впливають на систему. Невелика зміна критичних змінних призводить до суттєвих змін в системі. Буферні змінні практично не впливають на систему. Встановлення ролей в системі дозволяє визначити, де система має критичні точки і які зі змінних можна використовувати як “важіль” для забезпечення ефективних трансформацій в системі. Тип переважної більшості змінних, по суті, визначає і тип самої системи. Тому аналіз ролей дозволяє визначити попередню стратегію модифікації системи, а також уточнити опис змінних, а іноді ввести і нові оригінальні змінні. Отже, особливістю даної системної моделі є її ітераційність, коли в будь-який момент можна повернутись на попередні кроки і внести необхідні зміни в модель.

6. Дослідження взаємозв'язків в системі

На цьому етапі на основі матриці взаємовпливів в графічному вигляді наводять взаємозв'язки в системі. При цьому рисунок має відображати “силу” зв'язку, його направленість та враховувати тип впливу (підсилення чи послаблення). Така схема дозволяє не тільки зобразити напрямки та типи впливів, а й визначити цикли зворотних зв'язків і ланцюги регулювання в системі. Для наведення таких взаємовпливів, як правило, використовують направлений граф. Аналіз такого графа дозволяє видавати попередження про циклічні впливи в системі, оцінювати ступінь впливу зовнішніх факторів та можливі часові затримки.

7. Виділення окремих сценаріїв системи

Як правило, повний граф взаємовпливів в системі є надто складним для всебічного аналізу і моделювання. Тому основна мета даного етапу полягає в виділенні окремих підобластей, які в подальшому можна досліджувати окремо від усієї системи. Такі під-

області в даній моделі називають “частковими сценаріями”. При цьому необхідно, щоби при виділенні таких сценаріїв не втрачався б їх зв'язок із загальною системою, бо вони повинні стати основою для моделювання системи та прогнозування її реакції на можливі втручання. Методів відбору таких “часткових” сценаріїв може бути декілька: 1) на основі відібраних користувачем змінних (з врахуванням існуючих між ними зв'язків); 2) на основі відібраних користувачем циклів відбираються відповідні змінні. Обидва ці підходи можуть враховувати тільки сильні зв'язки, або сильні і середні, або сильні, середні і слабкі. Врахування цих зв'язків відображає ступінь точності моделі – чим слабший зв'язок враховується, тим точнішою буде модель.

8. Моделювання та прогнозування за правилами “якщо ..., тоді ...”

У випадку, коли виділено та сформовано сценарій взаємовпливів змінних в системі, можна одній або декільком змінним надати певного поштовху і за допомогою імітаційного моделювання спрогнозувати характер і напрям змін у системі. Для цього необхідно задати: 1) початкові значення лінгвістичних змінних, дві внутрішні функції для кожної змінної, 3) правила впливу для кожного зв'язку. Технологія моделювання полягає в імітації циклічних впливів змінних за схемою вибраного часткового сценарію. Цикл починається з конкретної змінної і закінчується тоді, коли зімітовано всі впливи. Як і на попередніх етапах аналізу, процес моделювання базується на використанні методів нечіткої логіки. В результаті моделювання отримують прогноз змін та розвитку досліджуваної системи.

9. Системна оцінка та прийняття рішень щодо вибору стратегії розвитку

Результати моделювання лягають в основу підсистеми підтримки прийняття рішень. Аналіз дозволяє побачити, що рівноцінні змінні можуть відігравати різну роль в системі. Порівняння результатів моделювання різних часткових сценаріїв, які базуються на відповідних контурах регулювання, на основі біокібернетичних критеріїв, дозволяє приймати стратегічні рішення щодо вибору напрямку розвитку чи модифікації системи.

Структура програмної системи

Наведена блок-схема являє собою ітераційну послідовність кроків, яка дозволяє аналізувати складні соціально-економічні та екологічні системи та підготувати дані для прийняття рішень щодо управління системою.

Кроки “Системні критерії” і “Матриці взаємовпливів” фокусуються на оцінці доречності змінних системи, визначених раніше і, відповідно, на прямих взаємозалежностях між змінними. Результати аналізу взаємовпливів, наведені в “наборі змінних”, зрозумілі для інтерпретування кібернетичного характеру всіх змінних. Далі згідно з наведеною “блок-схемою” аналізують циклічні взаємовпливи і зворотні зв'язки, які визначають поведінку системи.

Разом з основними блоками, наведеними раніше у вигляді методики Фестера, в даній блок-схемі розвиваються допоміжні “підсистеми” для того, щоби більш докладно сфокусуватися на специфічних результатах та забезпечити об'єктивну оцінку і прийняття адекватних рішень в нечітких ситуаціях. Ці підсистеми симулюються, щоби пояснити динаміку структур зворотного зв'язку, які були визначені в попередніх кроках. На завершальному кроці для загальної оцінки життєздатності системи, що аналізується, застосовуються “біокібернетичні правила”.

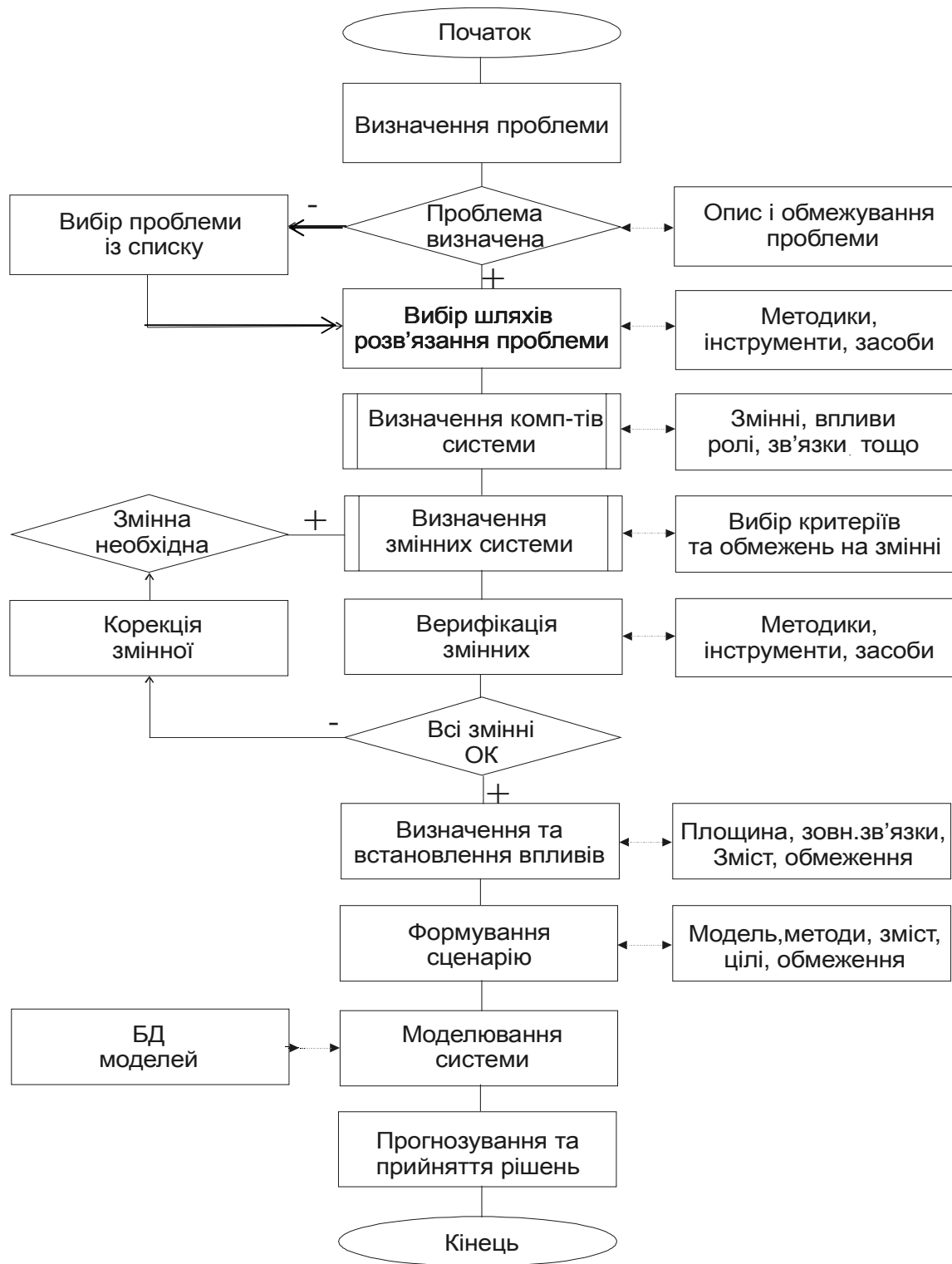


Рис. 3. Блок-схема процедури аналізу ССЕС за допомогою моделі чутливості

Результати і висновки

Система показників соціально-економічного розвитку регіону являє собою складну ієрархічну структуру з великою кількістю часткових показників, яка залежно від задачі управління може містити критерії, що відображають соціальний, економічний, містобудівний і інші ефекти варіанта розвитку. У загальному випадку система показників повинна формувати інтегрований критерій, що відображає життєвий рівень населення в регіоні; давати узагальнюючу оцінку соціальних параметрів регіону (включаючи демографічні, соціально-професійні, трудові і суспільно-політичні параметри, що відображають умови життя, праці і побуту населення регіону); характеризувати загалом об'єктивні економічні (виробничі) умови регіону, а також відображати соціальні характеристики невикористаної сфери, що залежать від розвитку виробництва.

Модель чутливості Фестера застосовувалась в таких областях, як міське і регіональне планування, корпоративна стратегія, системи охорони здоров'я, технології оподаткування, довготривале планування і дослідження майбутнього розвитку, державна безпека, проектування систем руху, структурний розвиток, постачання енергії, пустинні стратегії розташування і оцінка ризику.

Подяка

Стаття написана за результатами роботи, виконаної згідно з угодою між Національним університетом “Львівська політехніка” (Львів, Україна) та фірмою Allied Media Production Ltd. (Ерфурт, ФРН) у 2000 році. В роботі брали участь доц. кафедри ПЗ О.Фелиштин, доц. кафедри ІВС А.Кузій, доц. кафедри САПР О.Матвійків. Відповідальний керівник проекту від НУ “Львівська політехніка” – доц. кафедри САПР М.Лобур.

Автори висловлюють щире подяку керівникам німецької фірми пані Габріелі Лау та пану Едвіну Граму за створення належних умов праці та сприянню в проведенні наукових досліджень.

1. Federic Vester. The Biocybernetic Approach as a Basis for Planning our Environment, Systems Pr, 1988, Pp. 399 – 413. 2. Lutz E.Schlange, Linking Futures Research Methodologies – An application of systems thinking and analysis to nuclear energy policy issues, Futures, Vol. 27, № 8, 1995, Pp. 823 – 838.