

УДК 681.03

**РОЗРОБКА АГРЕГОВАНИХ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ СКЛАДНИХ
СОЦІАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ДЛЯ ПРОБЛЕМНО ОРІЄНТОВАНИХ СИСТЕМ
ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

О.М. Казачкова, В.Л. Косолапов, С.І. Суперсон

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

e-mail: kosol@immsp.kiev.ua

1. Вступ до проблеми

Дослідження особливостей поведінки різних складних систем, особливо – соціально небезпечних, важливі для систематизації знань спеціалістів та осіб, що приймають відповідальні політичні, економічні, соціальні рішення. Відомості про критичні ситуації та специфіку взаємодії параметрів складної соціальної системи і оточуючого середовища, що можуть призвести до небажаних соціальних явищ та наслідків, особливо цікаві для систем прийняття рішень, в тому числі для електронних автоматичних чи автоматизованих систем управління, які все більше поширюються у суспільстві на всіх рівнях до систем типу e-government включно. Ці ідеї базуються на класичних працях академіка В.М. Глушкова [1, 2] та його учнів і численних послідовників.

В багатьох випадках складні системи не дозволяють побудувати їх точні детерміновані моделі внаслідок великої кількості параметрів та невідомих зв'язків між ними. Тому розробка та вивчення статистичних динамічних моделей можуть бути корисними в успішному вирішенні цієї проблеми. Математичні моделі динамічних систем будуються на основі вивчення статистичних даних про них, за допомогою методів статистики, факторного аналізу, теорії нечітких множин, ентропійних залежностей рядів статистичних даних, кореляційних функцій, тощо. Моделювання (у широкому сенсі) є основним методом досліджень у всіх галузях знань і науково обґрунтованим методом оцінок характеристик складних систем, використовуваним для прийняття рішень у різних сферах державного управління. Існуючі й проєктовані системи можна ефективно досліджувати за допомогою математичних моделей (аналітичних і імітаційних), реалізованих на сучасних ЕОМ, які в цьому випадку виступають у якості інструмента експериментатора з моделлю системи. У наш час не можна назвати область людської діяльності, у якій тією чи іншою мірою не використовувалися б методи моделювання. Особливо це стосується до сфери керування системами державного управління різного рівня, де основними є процеси прийняття рішень на основі одержуваної інформації.

Одна із проблем сучасної науки й техніки — розробка й впровадження в практику проєктування новітніх методів дослідження характеристик складних інформаційно-керуючих і інформаційно-обчислювальних систем різних рівнів (наприклад, автоматизованих систем наукових досліджень і комплексних випробувань, систем автоматизації проєктування, АСК технологічними процесами, а також інтегрованих АСК, обчислювальних систем, комплексів і мереж, інформаційних систем, цифрових мереж інтегрального обслуговування). При проєктуванні складних систем і їх підсистем виникають численні завдання, що вимагають оцінки кількісних і якісних закономірностей процесів функціонування таких систем, проведення структурного алгоритмічного й параметричного їхнього синтезу. Закономірності функціонування системи, одержані з обчислювального експерименту на ЕОМ, є базою для підтримки прийняття рішень.

2. Опис проблеми та постановка задачі досліджень

Методи опису випадкових процесів, що протікають у різних складних системах, за допомогою спеціального математичного апарата - теорії безперервних марковських ланцюгів дають можливість скласти систему лінійних чи нелінійних диференціальних

рівнянь для ймовірностей станів, а також лінійні алгебраїчні рівняння для граничних ймовірностей станів, що відбивають відносний час перебування системи в кожному із цих станів для граничного режиму, що встановився. Ці методи являють собою зручний математичний апарат тільки в тому випадку, коли число можливих станів системи порівняно невелике. Однак у випадку, коли станів занадто багато, такий спосіб стає неприйнятним.

Виникає питання: а чи можна скласти й розв'язати рівняння безпосередньо для середніх характеристик, що цікавлять нас, минаючи ймовірності станів? Виявляється, можна — іноді точно, іноді — приблизно, з деякою похибкою. Для цього доцільно застосовувати метод динаміки середніх. Проблема математичного моделювання складних соціальних об'єктів та динаміки їх розвитку - важлива проблема, що дозволяє оцінити рівень безпеки та стабільності соціальної ситуації і його динаміку розвитку, яка безпосередньо впливає на стабільність. Розв'язок цієї проблеми можливий на основі застосування теорії динамічних систем, побудованих на відомих статистичних даних про об'єкт.

До таких моделей слід віднести агреговані динамічні моделі складних систем [3], побудовані з урахуванням запізнюючих та випереджуючих аргументів системи. Вони можуть враховувати негативні та позитивні впливи об'єкта на оточуюче соціальне та політичне середовище та можливі шляхи їх вирішення, динаміку розвитку небезпечного соціального актора та вплив на індикатори, включаючи рівень безпеки. Така інформація служить основою при прийнятті обґрунтованих відповідальних політичних рішень.

Описана динамічна модель також важлива для стратегічного і тактичного планування розвитку об'єктів різного рівня: соціальних груп, політичних партій й рухів та ін. На основі результатів ситуаційного моделювання у широкому діапазоні варіюємих параметрів для всіх можливих сценаріїв можливо одержати цінну інформацію для побудови системи підтримки прийняття рішень. При цьому виявлені критичні режими та соціальні катастрофи мають бути вивчені особливо уважно з метою їх не допущення в реальному житті країни. Для цього необхідно приймати такі рішення, які дозволять запобігти критичних умов, що знайдені шляхом моделювання.

3. Розробка математичної моделі

В загальному випадку агреговану динамічну модель можна представити таким чином:

$$\frac{dx_i}{dt} = (N_i - x_i) \cdot (a_{i0} + \sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot (N_j - x_j)), \quad (1)$$

де: x_i - параметри моделі, N_i - граничні можливі значення i -го параметра, a_{ij} - коефіцієнти, які визначаються із статистичних даних про об'єкт, n - кількість параметрів, $i=1,2...n$. Строго кажучи, в загальному випадку a_{ij} можуть бути деякими функціями часу; N_i можуть варіюватися відповідно до досліджуваної проблеми (тактичне чи стратегічне планування, дослідження критичних ситуацій, прогнозування певних рівнів розвитку, наприклад, бажаних якихось рівнів, параметрів, індикаторів тощо).

Системи нелінійних диференціальних рівнянь типу (1) будуються евристично, на основі експертного вивчення властивостей динамічного об'єкта, що моделюється. Для цього спочатку будують граф станів системи, визначаються всі можливі зв'язки різних станів системи та особливості функціонування системи. Такий опис носить якісний характер, тобто мова йде лише про особливості системи, без характеристики конкретних чисельних значень параметрів.

Так, наприклад, при вирішенні економічних проблем, відомо, що при збільшенні об'ємів виробництва падає темп приросту виробництва, оскільки з різних причин завжди є границя користування і надвиробництво не планується як непотрібне та шкідливе явище.

Тому модель системи повинна мати член, який відображає пропорційність темпу приросту продукту за цим параметром величині різниці між границею за даним параметром та його поточним значенням (можна назвати цю величину запасом до насичення по даному параметру).

4. Параметри моделі та їх границі

Враховуючи все вище викладене, будемо говорити, що границі зміни параметрів системи (1) визначаються взаємним впливом всіх параметрів системи та їх близькістю до гранично можливих значень (властивість насичення) [4]. Система нелінійних диференціальних рівнянь (1) з відповідними початковими даними надає можливість моделювання динаміки розвитку складних соціальних об'єктів у часі до моменту досягнення ними запланованих показників або режимів, наприклад, режимів насичення, критичних моментів у розвитку об'єкта, катастрофічних ситуацій, тощо. Надалі такі параметри надають можливість встановити основні особливості системи та розрахувати характерні чисельні показники, за якими особа, що приймає рішення, може правильно співставити різні можливі варіанти та за результатами проведеного аналізу прийняти оптимальне у певному сенсі рішення з точки зору поставлених критеріїв управління системою.

Параметри x_i можуть описувати, наприклад, чисельність соціальної групи, що вивчається, їх інтереси, соціальні індикатори. Змінні, що фігурують у системі диференціальних рівнянь (1), можуть змінюватись в діапазоні від 0 до N_i (можна обрати $N_0=1$ для спрощення розгляду задачі, оскільки систему завжди можна нормувати за обраним масштабом). За величини N_i маємо відповідні граничні значення кожного з індикаторів.

Перший етап в моделюванні складного соціального об'єкта полягає в обчисленні констант системи рівнянь (1), базуючись на відомих статистичних даних про об'єкт, що вивчають. Також корисно перевірити точність одержаної моделі на інших статистичних даних, щоб впевнитись в адекватності побудованої моделі реальному об'єкту. На жаль, для багатьох складних о соціальних об'єктів таких даних недостатньо, тому їх моделювання є досить тривалим процесом, у ході якого відбувається експертна перевірка та вдосконалення розробленої моделі. Наприклад, константи в рівнянні (1) можна визначити різними підходами: методом найменших квадратів, різними регресійними підходами, тощо. Потрібно визначити константи моделі, виходячи з вимоги максимального погодження моделі наявним статистичним даним про об'єкт.

Етап перевірки даних вимагає розрахунку параметрів системи для різних ситуацій, для котрих наявні статистичні дані, базуючись на розробленій моделі з визначеними коефіцієнтами. Потім отримані результати знову співставляються з реальними даними для інших відомих випадків. Цей процес носить назву відпрацювання та уточнення моделі і може бути досить довготривалим та складним.

Одержана система диференціальних рівнянь (1) з відповідними початковими умовами носить назву задачі Коші. Задача, як правило, може бути розглянута також при деяких обмеженнях на систему, що виникають з різних причин, соціальних, політичних, економічних, або ще якихось. То ж подальший розгляд моделі може проводитись з позицій побудови теорії керування об'єктом, що вивчається. При цьому керівні параметри $a_{ij}(t)$ можемо обирати оптимальними, виходячи з якихось обраних критеріїв керування та оптимізації системи. Об'єкт може по-різному вісти себе у різних ситуаціях за виходячи з власних інтересів та потенціалу і т. ін.

5. Аналіз можливих станів системи

Якщо проаналізувати систему (1), можна встановити, що можливі такі типи стаціонарних розв'язків рівнянь (1):

$$x_i = N_i, \quad x_i = x_i^*, \quad (2)$$

де x_i^* - розв'язки наступної системи алгебраїчних рівнянь:

$$a_{i0} + \sum_{j=0}^n a_{ij} \cdot (N_j - x_j) = 0. \quad (3)$$

Очевидно, стаціонарні розв'язки (3) відповідають випадку, коли в системі диференціальних рівнянь (1) покласти всі ліві частини рівними нулю, що означає встановлений, стабільний стан системи, коли параметри не залежать від часу.

Стаціонарний розв'язок (2), (3) системи диференціальних рівнянь (1) значно простіший розв'язку задачі Коші для рівнянь (1) з відповідними початковими умовами для загального випадку. Стаціонарний розв'язок описує вихід системи на задані показники за кожним з її параметрів. Згідно до відомих положень алгебри, якщо визначник системи (3) відмінний від нуля, то буде єдиний розв'язок $x_i = x_i^*$. А якщо детермінант дорівнює нулю, можливі наступні випадки:

- ненульові мінори (n-1)- го порядку і отже буде $x_i = x_i^*$ - (n-1) пряма, що залежить від одного параметра (одна із змінних x_i).

- мінори (n-k)- го порядку ненульові, тоді існує поверхня k- го порядку $x_i = x_i^*$ в n- вимірному просторі параметрів.

Коефіцієнти a_{ij} системи (1) необхідно обчислювати на основі реальних даних про функціонування моделюемого об'єкта. Це є проблема регресійного аналізу. Можливо, наприклад, визначити a_{ij} з умови мінімуму середньоквадратичного відхилення розв'язку $x_i(t)$ від реальних даних об'єкта $\tilde{x}_i(t)$, як описано вище.

6. Узагальнена агрегована модель складного соціального об'єкта

Побудову моделі слід починати з аналізу особливих точок системи диференціальних рівнянь (1), який є важливим також для рішення проблеми управління об'єктом, що розглядається окремо в іншій статті. Розглянемо узагальнену агреговану модель складного соціального об'єкта, задавши такі визначаючі параметри системи:

- x_1, x_2 - чисельність соціальної групи та її лідерів, відповідно;
- x_3 - кількісне проявлення інтересів акторів;
- x_4 - соціальний потенціал соціальної групи;
- x_5 - витрати на попередження можливих соціальних вибухів;
- x_6 - індикатор рівня стабільності складного соціального об'єкта.

Таким чином, узагальнена агрегована модель враховує найбільш значущі показники, за якими і будується модель. Така модель не відображає усієї складної поведінки системи з урахуванням усіх її особливостей, не описує всіх важливих параметрів системи, але вона повинна правильно відображати динаміку об'єкта за обраними узагальнюючими параметрами системи. Тобто це модель верхнього рівня.

Для моделі спочатку можна з досвіду експертних оцінок визначити деякі можливі зв'язки параметрів системи. Так, індикатор рівня стабільності складного соціального об'єкта може визначатися в діапазоні $[0, 1]$, де $x_6 = 0$ відповідає стабільному стану, а $x_6 = 1$ відповідає випадку кризової ситуації. Тоді надалі віднесемо всі параметри системи до їх граничних значень і представимо модель складного соціального об'єкта (1) у наступному безрозмірному вигляді:

$$\begin{aligned} \frac{dy_1}{dt} &= [b_{10} + b_{11}(1 - y_1) + b_{12}(1 - y_2) + b_{13}(1 - y_3)](1 - y_1), \\ \frac{dy_2}{dt} &= [b_{20} + b_{21}(1 - y_1) + b_{22}(1 - y_2) + b_{23}(1 - y_3)](1 - y_2), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dy_3}{dt} &= [b_{30} + b_{31}(1 - y_1) + b_{32}(1 - y_2) + b_{33}(1 - y_3) + b_{34}(1 - y_4) + b_{35}(1 - y_5) + b_{36}y_6](1 - y_3), \\ \frac{dy_4}{dt} &= [b_{40} + b_{43}(1 - y_3) + b_{44}(1 - y_4) + b_{45}(1 - y_5) + b_{46}y_6](1 - y_4), \\ \frac{dy_5}{dt} &= [b_{50} + b_{53}(1 - y_3) + b_{54}(1 - y_4) + b_{55}(1 - y_5) + b_{56}y_6](1 - y_5), \\ \frac{dy_6}{dt} &= [b_{60} + b_{61}(1 - y_1) + b_{62}(1 - y_2) + b_{63}(1 - y_3)](1 - y_6),\end{aligned}\quad (4)$$

де: $y_i = x_i / N_i$, $b_{ij} = a_{ij} \cdot N_j$, $b_{i0} = a_{i0}$, $y_6 = x_6$. Показники рівня стабільності ситуації та задоволення інтересів соціального об'єкта можна запропонувати у вигляді:

$$V = q \frac{1 + \alpha_1 y_1 + \beta_1 y_2}{1 + \alpha_2 y_1 + \beta_2 y_2} \cdot \frac{y_3 y_4 y_6}{y_5}, \quad (5)$$

де q - показник поточного наявного рівня суспільної ситуації, α_i, β_i - коефіцієнти. Рівень безпеки пропорційний рівню суспільної стабільності, оскільки чим вищий рівень суспільної стабільності, тим більше засобів контролю та діагностики стану складного соціального об'єкта, більше можливостей запобігти критичним ситуаціям і виходу ситуації з під контролю і т.д. Вираз (5) показує, що при $y_3, y_4, y_6 \rightarrow 0$ маємо $V \rightarrow 0$, а при $y_5 \rightarrow 0$ отримуємо $V \rightarrow \infty$. При $y_1, y_2 \rightarrow 0$ індикатор загального рівня безпеки визначається не тільки кількістю соціальної групи та її лідерів, але й рівнем як індивідуальних, так і соціальних інтересів. Таким чином, модель не протирічить відомим уявленням та фактам розвитку та життю складного соціального об'єкта, загалом правильно відображає його найбільш загальні риси.

7. Висновки

За розглянутою агрегованою моделлю складного соціального об'єкта можна провести комп'ютерне моделювання та отримати об'єктивні дані про його поведінку, необхідні для особи, що приймає рішення. Таки моделі можуть враховувати негативні та позитивні впливи об'єкта на оточуюче соціальне та політичне середовище та можливі шляхи їх вирішення, динаміку розвитку небезпечного соціального актора та вплив на соціальні індикатори, включаючи рівень стабільності та безпеки у суспільстві. Отримана інформація служить основою при прийнятті обґрунтованих відповідальних політичних та соціальних рішень. Комп'ютерне моделювання може також бути корисним при створенні автоматизованих систем аналізу та прийняття рішень і бути частиною відповідної системи електронного забезпечення державного рівня управління: e-government, e-learning, e-control systems тощо.

Література

1. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Изд. 2-е, испр.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.-552 с.
2. Глушков В.М. Проблемы и перспективы создания ОГАС. – М.: Вопр. Кибернетики, 1977, вып. 21, С. 3-12.
3. Kazachkov I.V., Chesnokov Ye.V. and Kazachkova O.M. Modelling of Potentially Hazardous Objects with Time Shifts/ Abstr. Of WSEAS Conf. on Business & Economics. 2004, Venice, Nov. 18-20, Italy.
4. Allen P.M. Evolution, Population Dynamics and Stability/ Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA.- 1976.- March.- Vol.73.- No.3.- P.665-668.