

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 004.942

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ (СППР) НА БАЗІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ СОЦІОДИНАМІКИ

Правда А.А., Селівострова Т.В.

Національна металургійна академія України

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2018-12-64-130>

Розробка СППР, що відтворює прийняття рішення про міграцію українського громадянина за кордон. Розв'язує проблему вибору мігрантом між декількома країнами за допомогою математичної моделі багатокритеріального вибору. Модель базується на алгоритмі методу аналізу ієрархій. СППР прогнозує об'єм міграції та надає моніторинг об'єму наявних трудових ресурсів України. Результати роботи СППР надаються в аналітичній та графічних формах.

Ключові слова: міграція, моделювання, програмний продукт, соціодинаміка, дослідження.

Постановка проблеми. До моменту виникнення та покращення обчислювальної техніки та створення можливості її використання для самих різноманітних завдань, дослідження соціодинамічних процесів відбувалося за допомогою спостережень та розмірковувань. Ключові дані, висновки, розрахунки такої діяльності фіксувалися на папері або в людській пам'яті, а подальше оперування ними здійснювалося, безпосередньо, самими спостерігачами чи особами, які мали доступ до цих даних. Відсутність сучасних прогресивних технологій для таких дослідників оберталася простими розрахунками, без можливості моделювання, безперервного стеження в часі. Щоб проводити точні розрахунки та прогнозування на майбутнє постала необхідність моделювання (а її відсутність ускладнювала та унеможлиблювала їх) [1; 3].

Реальні соціальні експерименти використовувати недоцільно, бо вони мають певні обмеження:

- неможливо впливати на досліджувані об'єкти, наприклад в історичних дослідженнях – події безповоротно пішли в минуле;

- необхідно рахуватися з можливими негативними наслідками, навіть за допустимого експериментального впливу на досліджуваний об'єкт;

- реальне втручання може порушити функціонування об'єкта дослідження;

- неможливо надовго і повністю "відгородити" будь-яку соціальну групу від громадських зв'язків, поставивши людей в особливі умови життя;

- важко піддаються експериментальному вивченню почуття, настрої, дії особистостей.

Наявність розвиненої техніки дозволяє передати їй для обчислення будь-які математичні чи умовно-абстрактні дані, побудувати математичну модель, проводячи симуляції, за яких на комп'ютерну модель реальної соціальної системи можна впливати різними факторами та прослідкувати її поведінку. Таким чином заздалегідь отримуючи прогнози реакції соціальної системи на речі, яких навіть могло ще і не відбутися, здійснюючи прогнозування [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Модель динаміки міграції [4] розглядає n кількість регіонів, що мають власну економіку і основні виробничі ресурси, які вільно переміщуються між

ними. Вважають, що чисельність населення регіону є істотним показником, що характеризує значущість його економіки. Позначаючи через $x_i(k)$ кількість трудового населення в i -му регіоні на k -му часовому кроці користуються розрахунком (1):

$$x_i(k+1) = x_i(k) + W_i(k) - Y_i(k), i = 1, \dots, n, k = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

де $W_i(k)$ – кількість населення, що прибуло в i -регіон, а Y_i – кількість населення, що вибуло із нього.

В моделі опущена природна зміна (приріст або спад) населення, загальна кількість населення в усіх регіонах на кожному часовому кроці залишається постійною. Оскільки має виконуватися умова $0 \leq Y_i(k) \leq x_i(k)$ то:

$$Y_i(k) = \sum_{j=1}^n z_{ij}(k) x_j(k) \leq x_i(k) \quad (2)$$

де $z_{ij}(k)$ – доля населення i -регіону, що прибуло до j -регіону

$$Y_i(k) = \sum_{j=1}^n z_{ij}(k) x_j(k) \quad (3)$$

Підставляючи (2) та (3) в (1) вирішують систему рівнянь. Коефіцієнт $z_{ij}(k)$ є коефіцієнтом міграції із i -регіону до j -регіону і визначається різними соціально-економічними факторами, що впливають на регіон.

Переміщення населення вираховується згідно з гіпотезою Тібу [6] – із регіонів із низькою сумарною привабливістю в регіони із високою, причому пропорційно різниці між ними, що виражається математично як:

$$z_{ij}(k) = b_{ij}(k) \sigma \{h_j(k) - h_i(k)\} \quad (4)$$

де

$$\sigma(x) = \begin{cases} x \text{ при } x > 0 \\ 0 \text{ при } x \leq 0 \end{cases}$$

b_{ij} – коефіцієнт активності намірів жителів i -регіону перебраться до j -регіону.

Динаміка моделі підтримується через рівні капіталовкладень в регіони, відповідно той чи інший регіон може стати привабливішим для міграції в нього. Тобто привабливість регіону пропорційна рівню капіталовкладень у нього і потенційний мігрант порівнює ситуацію зі своїм регіоном та приймає позитивне або негативне рішення стосовно переміщення.

Модель відтворення трудової міграції [5] схожа із попередньою [4], але вихідним значенням для прийняття рішення про переїзд є різниця заробітних плат потенційного мігранта в його рідному регіоні та в інших, бо, згідно із положенням неокласичної економічної теорії [7; 8], раціональний індивід порівнює заробітну плату своєї країни (w_i) із регіоном притягнення (w_j). Якщо ($w_i < w_j$), то приймається негативне рішення стосовно міграції, якщо ($w_i > w_j$) – позитивне. Загальний вигляд динамічного рівняння моделі, що описує кількість мігрантів із країни i в регіоні j :

$$x_{ij}(t_{p+1}) = x_{ij}(t_p) * \frac{44}{45} + \sigma_j \frac{x_{ij}(t_p)}{d_{ij}} \left(M_i(t_p) - \sum_{j=1}^n x_{ij}(t_p) \right) * (w_j(t_p) - w_i(t_0)) \quad (5)$$

де t – часовий інтервал

M_i – чисельність потенційних мігрантів, що психічно готові до міграції

σ_j – калібрувальний коефіцієнт регіону j (містить різні фактори регіону)

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Аналіз наукових публікацій [4; 5] показує, що їх моделі зображають міграційну ситуацію по регіонах Російської Федерації і акцентуються саме на ній, як на центрі накопичення міграції. Програмні продукти цих моделей займаються моніторингом внутрішньої міграційно-економічної ситуації регіонів-суб'єктів Російської Федерації та оперують стартовими соціально-економічними параметрами саме цієї держави.

Моделі базуються на модифікованій гравітаційній моделі розрахунку об'єму міграції, яка стверджує, що потік міграції прямо пропорційний рівню заробітних плат та зворотньопропорційний відстані між рідним регіоном та регіоном потенційної міграції.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Оскільки масштаби міграції громадян України активізувалися за останні роки, постало завдання по оціненню та дослідженню цього процесу шляхом створення СППР із соціодинамічною моделлю, що зображає поточний стан, для аналізу ситуації в цілому та конкретно по регіонах держави, моделювання вибору мігрантом потенційної країни для переміщення, винесення висновків та збереження отриманої інформації у вигляді БД, графічному та аналітичному вигляді.

Викладення основного матеріалу. Вибір потенційним мігрантом країни для переміщення залежить не тільки від різниць рівнів заробітних плат, але й від інших факторів – розвиненості інфраструктур, політичної та економічної стабільності в країнах для потенційної міграції. Тож модель СППР повинна містити моделювання вибору потенційного мігранта. Доцільно використати модель багатокритеріального вибору [8].

Питаннями вибору займається теорія прийняття рішень, частина системного аналізу. Доцільно скористатися методом аналізу ієрархій – який, на відміну від деяких інших методів, не звужує поле альтернатив, а формує значення глобального пріоритету, згідно з величиною якого приймаються відповідні рішення [9].

Все починається із побудови ієрархічної структури (приклад на рисунку 1), яка включає мету, критерії (реальні соціально-економічні дані держав потенційної міграції), альтернативи (держави, між

якими обирає потенційний мігрант) та розглядає фактори, що впливають на вибір. Кожен елемент ієрархії представляє різні аспекти розв'язуваної задачі, причому до уваги приймаються як матеріальні, так і нематеріальні фактори, вимірювані кількісні параметри і якісні характеристики, об'єктивні дані й суб'єктивні експертні оцінки. Іншими словами, аналіз ситуації вибору рішення в МАІ нагадує процедури та методи аргументації, які використовуються на інтуїтивному рівні.

Наступним етапом аналізу є визначення пріоритетів, які представляють відносну важливість або перевагу елементів побудованої ієрархічної структури, за допомогою процедури парних порівнянь. Безрозмірні пріоритети дозволяють обґрунтовано порівнювати різномірні фактори, що є відмінною рисою МАІ. На кінцевому етапі аналізу виконується синтез (лінійна згортка) пріоритетів на ієрархії, в результаті якої обчислюються пріоритети альтернативних рішень щодо головної мети. Кращою вважається альтернатива з максимальним значенням пріоритету.

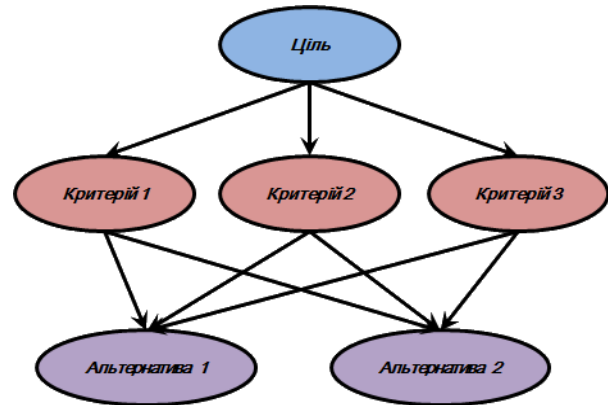


Рис. 1. Трирівнева повна домінантна ієрархія «мета – критерії – альтернативи»

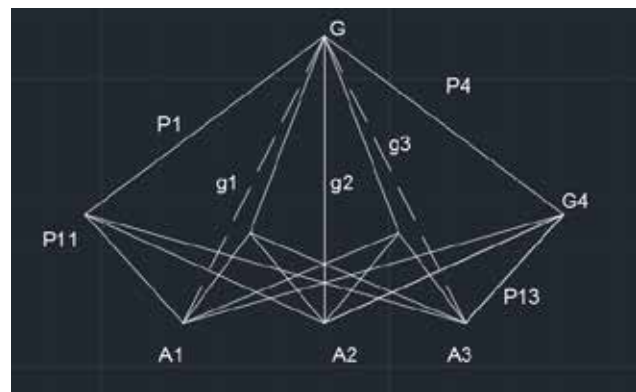


Рис. 2. Трирівнева повна домінантна ієрархія

На рис. 2 число критеріїв $m = 4$, число альтернатив $n = 3$

i – номер критерію $i = (1, 2, \dots, m)$

j – номер альтернативи $j = (1, 2, \dots, n)$

p_i – локальний пріоритет (ЛП) i – критерію C_i відносно цілі G

p_{ij} – локальний пріоритет (ЛП) j – альтернативи A_j відносно i – критерію C_i

g_j – глобальний пріоритет (ГП) j – альтернативи A_j відносно цілі G

Вектор $g = (g_1, g_2, \dots, g_n)$ – це рішення математичної задачі

Алгоритм вирахування ЛП та ГП дескриптивного варіанту МАІ (експертні оцінки повинні бути виконані у шкалі Саати або в шкалі відношень):

1) Знаходження головного власного вектора \bar{x} критеріїв відносно цілі $\|CR\| = CR$. Вирішується задача

$$CR * \bar{X} = \lambda_{max} * \bar{X} \gg \bar{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (6)$$

де λ_{max} – головне (максимальне) власне число МПС CR

x_n – компоненти вектора \bar{X} , головного (відповідного λ_{max}) власного вектора МПС CR, якщо $x_n > 0$

2) Нормалізація компонентів x_n на їх суму (одиницю в «манхеттенській матриці») перетворює вектор \bar{X} на ЛП вектор критеріїв відносно цілі. В МАІ матриця МПС критеріїв CR єдина, бо ціль G лише одна.

$$\frac{x_n}{\sum_{i=1}^m x_n} = P_i \text{ для всіх } i = (1, \dots, m) = \{p_1, p_2, \dots, p_n\} \quad (7)$$

3) Обчислення головних власних векторів альтернатив A_j відносно кожного критерію Cr_i . Число МПС Al_i дорівнює числу критеріїв Cr_i , тобто для всіх $i = (1, 2, \dots, m)$ виконується:

$$Al_i * \bar{Y} = \lambda_{max} * \bar{Y}_i \Rightarrow \{y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im}\} \quad (8)$$

де Al_i – МПС альтернатив A_j відносно критеріїв Cr_i

λ_{max} та \bar{Y}_i – головні власні числа та головний власний вектор Al_i

Y_{ij} – компоненти вектора \bar{Y}_i

4) Проведення нормалізації на суму для кожного із n векторів \bar{Y}_i

$$P_{ij} = \frac{Y_{ij}}{\sum_{j=1}^n Y_{ij}} \quad (9)$$

5) Формування таблиці матриці синтезу глобальних пріоритетів

Таблиця 1

Матриця синтезу глобальних пріоритетів

Cr_1	Al_1	A_1	A_2	A_3
Cr_1	P_1	P_{11}	P_{12}	P_{13}
Cr_2	P_2	P_{21}	P_{22}	P_{23}
Cr_3	P_3	P_{31}	P_{32}	P_{33}
Cr_4	P_n	P_{n1}	P_{n2}	P_{n3}
		g_1	g_2	g_3

6) Формування векторів-профілів альтернатив

$$\bar{P}_j = \{P_{1j}, P_{2j}, \dots, P_{mj}\} \quad (10)$$

Вектор-профіль – це сукупність оцінок (у вигляді ЛП) альтернативи A_j по всім критеріям.

7) Обчислення глобальних пріоритетів. Глобальний пріоритет g_j альтернативи A_j – це скалярний добуток вектора ЛП критеріїв \bar{p} (перший стовпчик в матриці синтезу) на вектор-профіль цієї альтернативи \bar{P}_{rj} .

$$g_j = \bar{P} * \bar{P}_{rj} = p_1 * P_{1j} + p_2 * P_{2j} + \dots + p_m * P_{mj} \quad (11)$$

Вектор глобальних пріоритетів $g = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$ дозволяє лінійно впорядкувати (ранжувати) аль-

тернативи A_j за перевагою: чим більше g_j , тим важливіша альтернатива A_j в умовах даної задачі.

Таким чином можна скласти рейтинг альтернатив та обрати найкращу із них із найбільшим глобальним пріоритетом:

$$A_j^* = A_j | g_j(A_j^*) = \max(g_j) \text{ при } j = (1, 2, \dots, n) \quad (12)$$

Середовищем розробки СППР обрано мову програмування Python. Python дозволяє розбивати програми на модулі, що потім можуть бути використані в інших програмах. Python представляється з великою бібліотекою стандартних модулів, які можна використовувати як основу для нових програм або як приклади при вивченні мови. Стандартні модулі надають засоби для роботи з файлами, системними викликами, мережними з'єднаннями та навіть інтерфейсами до різних графічних бібліотек.

Для комфортної роботи із даними та математичними завданнями можна увімкнути пакети функцій, таких як:

1) Anaconda – freemium open source дистрибутив для Python та R з відкритим кодом для обробки даних великого об'єму, побудови аналітичних прогнозів і наукових обчислень,

2) Numerical Python – пакет розширених математичних можливостей (таких як маніпуляції з цілими векторами та матрицями),

3) Tkinter – побудова додатків з використанням графічного інтерфейсу користувача (GUI) на основі широко розповсюдженого на X-Windows Tk-інтерфейсу,

4) OpenGL – використання великої бібліотеки графічного моделювання дво- і тривимірних об'єктів Open Graphics Library фірми Silicon Graphics Inc [10].

Висновки. Згідно з описаною моделлю соціодинамічної системи та вимог до розробки, СППР має, безпосередньо, відтворювати заявлену модель. Побудова моделі на базі багатокритеріального вибору методом аналізу ієрархій є цікавим та гнучким кроком, оскільки, на відміну від проаналізованих попередніх робіт та публікацій, дозволяє симулювати процес вибору мігрантом між державами. Тобто відбувається симуляція досить суб'єктивних речей, що є можливим завдяки методу аналізу ієрархій, який дозволяє оперувати точними даними, експертними оцінками та суб'єктивними оцінками (приведеними до необхідного виду).

Також СППР має оперувати чинними даними по міграції українських громадян для моніторингу їх відтоку у аналітичному та графічному вигляді. Результати такого моделювання можуть служити для передання компетентним особам, які можуть згенерувати на їх основі рекомендації по збалансуванню соціально-економічних процесів в країні. Сама модель є гнучкою, тож залучення компетентних експертів із більш точними вхідними даними покращує точність результатів.

Список літератури:

1. Генісаретський О.І. Моделювання соціальних процесів. Москва, 1970. С. 48-64.
2. Сорокин П.А. Социокультурная динамика и эволюционизм. Американская социологическая мысль. М., 1996. С. 372-392.
3. Моль А. Социодинамика культуры. Москва, 1973. С. 18-20.
4. Параев Ю.І., Рюмкін А.І., Цветніцька С.А. Математическая модель трудовой миграции населения. Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника, информатика. № 1(30). 2015. С. 21-25.

5. Васильева А.В. Программное моделирование трудовой миграции, воспроизводства населения и экономического развития регионов России. Государственное управление. Электронный вестник. Выпуск № 64. Октябрь, 2017. С. 389-394.
6. Tiebout C. A Pure Theory of Local Expenditures. The Journal of Political Economy. 1956. V. 64. Issue 5. P. 416-424.
7. Borjas G.J. Economic Theory and International Migration. International Migration Review. 1989. No 23. P. 457-485.
8. Borjas G.J. Friends or Strangers. The Impact of Immigrants in the US Economy. New York: Basic Books, 1990. P. 231-242.
9. Кузнецов В.И. Основы принятия решений. Конспект по дисциплине. Методичний посібник, НметАУ. 2017-2018. С. 7-23.
10. Метиз Э. Изучаем Python. Программирование игр, визуализация данных, веб-приложения. Питер, 2016. С. 508-534.

Правда А.А., Селивёстрова Т.В.

Национальная металлургическая академия Украины

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ (СППР) НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СОЦИОДИНАМИКИ

Аннотация

Разработка СППР, воспроизводящего принятие решения о миграции украинского гражданина за границу. Решает проблему выбора мигранта между несколькими странами с помощью математической модели многокритериального выбора. Модель базируется на алгоритме метода анализа иерархий. СППР прогнозирует объем миграции, и предоставляет мониторинг объема имеющихся трудовых ресурсов Украины. Результаты работы СППР предоставляются в аналитической и графических формах. **Ключевые слова:** миграция, моделирование, программный продукт, социодинамика, исследование.

Pravda A.A., Selivyostrova T.V.

National Metallurgical Academy of Ukraine

DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM (DSS) BASED ON MATHEMATICAL MODELS OF SOCIODYNAMICS

Summary

Development of DSS that reproduces the decision on the migration of the Ukrainian citizen abroad. Solves the problem of choosing a migrant between several countries with the help of a mathematical model of multi-criteria choice. The model is based on the algorithm of the hierarchy analysis method. The DSS forecasts the volume of migration, and provides monitoring of the volume of labor resources in Ukraine. The results of the DSS are provided in analytical and graphical forms.

Keywords: migration, modeling, software, sociodynamics, research.