

Як тестовий приклад використано модель тепломасообмінних процесів у висушуванні деревини [9]. Використано вхідні дані, що наведені у роботі [9]. На основі дослідних даних побудоване навчання вибірки та проведено процес навчання ШНМ. Навчання проводилось у межах 10 тис. ітерацій (кроків алгоритму). Експериментальні дані зіставлялися з розрахунковими значеннями і з отриманими значеннями за допомогою ШНМ. Результати наведені на рис. 4. Загалом результати досліджень підтверджують адекватність запропонованого підходу ідентифікації нестационарних полів вологовмісту пиломатеріалів у процесі сушіння.

Запропонований підхід, що базується на використанні штучних нейронних мереж, дає можливість як функції мети (виходів системи) визначати і входи системи. Це дає змогу прогнозувати невідомі параметри з використанням ітераційних процедур визначення міри довіри у випадку недостатньої інформації про вхідні та вихідні дані. Також важливим є те, що вектори вхідних і вихідних сигналів можуть містити компоненти, виражені логічними функціями або текстовими даними, які можуть виражати суб'єктивні оцінки об'єкта досліджень.

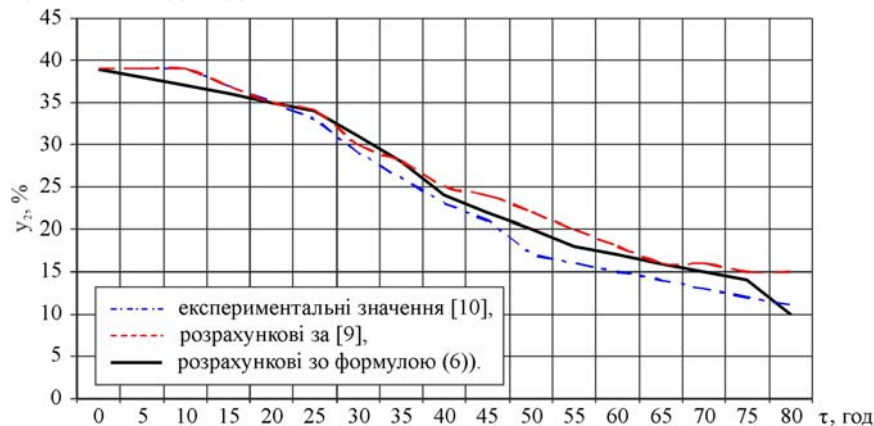


Рис. 4. Залежності зміни вологості u_2 у часі τ (..... експериментальні значення [10], ... розрахункові за [9], — розрахункові за формулою (6))

Література

1. Круглов В.В. Нечетная логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли. — М.: Изд-во "Физ-мат. лит.", 2009. — 224 с.
2. Chen C.R. Prediction of quality changes during osmo-convective drying of blueberries using neural network models for process optimization / C.R. Chen, H.S. Ramaswamy and I. Alli // Drying Technology. — 2001. — Vol. 19, No. 3-4. — Pp. 507-523.
3. Wu H.W. Prediction of timber kiln drying rates by neural networks / H.W. Wu and S. Avramidis // Drying Technology. — 2006. — Vol. 24, No. 12. — Pp. 1541-1545.
4. Cao J. Variation law of anatomical shape characteristic during wood across-compression based on neural network recognition / J. Cao and D.Y. Zhang // Proceedings of the Second International Symposium on Instrumentation Science and Technology. — 2002. — Vol. 3. — Pp. 857-861.
5. Zhang D.Y. Modelling of temperature-humidity for wood drying based on time-delay neural network / D.Y. Zhang, Y.Q. Liu and J. Cao // Journal of Forestry Research. — 2006. — Vol. 17, No. 2. — Pp. 141-144.

6. Otto P. Adaptive controller for nonlinear dynamic non-stationary stochastic plant based on real time neo-fuzzy-model / P. Otto, Ye. Bodyanskiy, O. Vynokurova, J. Sokolowsky, O. Petryanych // Proc. 48. Int. Wiss. Koll. Tagungsband. — TU Ilmenau (Thuer), 2003. — S. 255-260.

7. Bodyanskiy Ye. Adaptive intelligent controller for nonlinear dynamic non-stationary stochastic plant based on real time neo-fuzzy-model / Ye. Bodyanskiy, O. Vynokurova, J. Sokolowsky, O. Petryanych // Proc. 3rd Int. Conf. on Inductive Modelling. — May 16-22. — 2010. — Yevpatoriya. — Pp. 92-99.

8. Руденко О.Г. Искусственные нейронные сети / О.Г. Руденко, С.В. Бодянский. — Харьков: Изд-во СМИТ, 2006. — 406 с.

9. Соколовський Я.І. Моделювання нелінійних тепломасообмінних процесів у висушуванні деревини методом скінченного елемента / Я.І. Соколовський, А.В. Бакалець // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". — Сер.: Економіка. — Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка". — 2005. — № 543. — С. 58-63.

10. Шубин Г.С. Сушка и тепловая обработка древесины / Г.С. Шубин. — М.: Изд-во "Лесн. пром-сть". — 1990. — 236 с.

Соколовський Я.І., Капран І.Д. Применение нейронных сетей для идентификации процесса сушки древесины

Предложен подход относительно идентификации процесса сушки древесины, который базируется на использовании искусственных нейронных сетей. Разработана математическая модель и алгоритм метода учебы нейронных сетей для определения влажности материала с учетом допустимых значений входных факторов.

Sokolovskiy I.I., Kapran I.D. Application of neuron networks for authentication of process of drying of wood

In-process offered approach in relation to authentication of process of drying of wood, which is based on used artificial neuron networks. A mathematical model and algorithm of method of studies of neuron networks is developed for determination of humidity of material taking into account the legitimate values of revolving entrance factors.

УДК 330.567.2/4:[581.526.42:504] Аспір. Т.Б. Бас¹ – НЛТУ України, м. Львів

АНАЛІЗ УПОДОБАНЬ СТЕЙКХОЛДЕРІВ ЩОДО ПОСЛУГ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕПАРАМЕТРИЧНОГО СТАТИСТИЧНОГО АПАРАТУ

Досліджено уподобання стейкхолдерів щодо послуг лісових екосистем (ПЛЕ), опрацьовано отриману інформацію за допомогою непараметричного статистичного апарату. Доведено статистичну значущість відмінностей в уподобаннях різних соціальних груп (стейкхолдерів) щодо ПЛЕ із використанням тестової статистики Фрідмана.

Ключові слова: послуги лісових екосистем, непараметрична статистика, тест Фрідмана.

Вступ. Рациональне споживання природних ресурсів, зокрема і ПЛЕ, потребує знань стосовно цінності і вартості цих ресурсів. Існує багато методів для визначення грошової оцінки природних благ як на реальних, так і на гіпотетичних ринках [1, 2, 8, 13,16], але часто грошова оцінка є неадекватною для визначення цінності ресурсу, оскільки не може відобразити його справжньої важливості, вартості. Мова йде про товари і послуги, які продаються на ринку, проте для багатьох природних благ ринку не існує взагалі. Із ПЛЕ ситуація складається так, що багато з них ринком регулятивні неефек-

¹ Наук. керівник: доц. Л.Д. Загвойська, канд. екон. наук

тивно, а частина цих послуг, таких як регулюючі чи підтримувальні [9, 10], на ринку не продаються, принаймні поки що. На противагу ринковим механізмам, для регулювання та правильного розміщення певного роду послуг (ПЛЕ) використовують інший підхід – підхід суспільного вибору (social choice approach) [11, 12, 2]. Цей підхід дає змогу ширше оцінити вартість довкілля, врахувати цінності, які виходять за межі фінансових розрахунків. Як стверджує S. Kant [11], підхід суспільного вибору актуальний тим, що:

- багато ПЛЕ ми можемо розглядати на ринку лише як зовнішні ефекти;
- перевага однієї цінності (послуги) над іншою свідчить про її важливість для певних соціальних груп, а не вказує на вади інших;
- є можливість не вибирати одну із двох можливих цінностей, а присвоїти певну вагу всім цінностям;
- можливість залучити у процес прийняття рішення різні групи зацікавлених сторін та різні покоління.

Для виявлення уподобань населення, пов'язаних з лісами, ми провели опитування методом концептуально-змістовного когнітивного картування (Conceptual Content Cognitive Mapping або 3CM) [3, 14]. Суть методу полягає у тому, що респонденту пропонують висловити особисту позицію щодо досліджуваного об'єкта, розставити пріоритети у власних уподобаннях та зробити аналогічні висновки про інших стейкхолдерів. Ідентифікація уподобань стейкхолдерів щодо ПЛЕ дає нам релевантну інформацію про те, що насправді цінує населення, яким послугам надає перевагу, а не про ринкову вартість.

Аналіз результатів опитування ми проводили з використанням непараметричного статистичного апарату [4], оскільки дані про уподобання та їх пріоритети є порядковими, а не кількісними і застосування математичної статистики є неможливим. Дослідження проведено серед чотирьох груп стейкхолдерів. Стейкхолдерами прийнято називати зацікавлених осіб – тих, які мають вплив на досліджуваний об'єкт, або залежать певним чином від нього. Ознаки, за якими виділяють стейкхолдерів [5]: відповідальність, вплив, партнерство, залежність, представництво, спрямованість. Згідно із зазначеними критеріями, ми виокремили такі групи осіб за ставленням до ПЛЕ:

- державні установи, які розробляють лісову політику;
- державні підприємства лісового господарства;
- громадські організації екологічного спрямування;
- місцеве населення.

Учасників дослідження просили висловити власні, особисті уподобання стосовно ПЛЕ, потім згрупувати їх, а відтак присвоїти кожній групі назву і пріоритет. Після цього респонденти описували уподобання власної групи і те, якими вони бачать цінності інших зацікавлених груп. Тривалість інтерв'ю – від 20 до 50 хвилин. Досліджувана територія – Західний регіон України: Львівська, Івано-Франківська, Тернопільська області. Для отримання повної інформації про переваги місцевого населення було охоплено як гірські, так і рівнинні регіони. Респонденти представляли різні вікові категорії, освітньо-кваліфікаційний рівень та організації відповідно до поділу за групами, для того, щоб якомога ширше охопити систему цінностей. У процесі дослідження було опитано 30 членів із кожної групи.

За результатами ідентифікації та групування відповідей респондентів побудовано систему цінностей щодо ПЛЕ – універсум уподобань. Весь спектр уподобань, який учасники дослідження пов'язують із лісовими екосистемами, включає 7 головних тем та 32 підтеми. Подані нижче теми висловлені самими учасниками опитування і свідчать про їхнє розуміння та сприйняття ПЛЕ. Далі представлено універсум цінностей і вартостей, пов'язаних з лісовими екосистемами:

- довкілля: • регулювання клімату; • підтримання гідрологічного режиму, очищення води; • збереження біорізноманіття, формування середовища проживання та ареалів поширення; • захист ґрунтів від ерозії; • продукування кисню, очищення повітря, зв'язування вуглецю;
- економічні: • деревина; • туристичний бізнес; • місце праці; • декоративні матеріали для продажу; • нові можливості для ведення бізнесу;
- рекреаційно-туристичні: • відпочинок; • туризм; • полювання, як спосіб відпочинку; • пікніки;
- оздоровчі: • покращення здоров'я, відновлення сил; • оздоровлення свіжим повітрям; • лікарські рослини; • вітаміни, фітонциди;
- місцеві вартості: • недревні ресурси; • дрова; • декоративна сировина; • випасання худоби;
- духовні, культурні, емоційні: • духовне збагачення; • культурні та історичні цінності; • емоції від спілкування з природою; • натхнення, позитивний настрій; • затишок, своєрідність; • естетика, краса, пейзажі;
- освітньо-наукові: • навчання; • проведення досліджень; • науково-дослідні роботи; • спостереження за рослинним і тваринним світом, навчальні екскурсії.

Інформація, отримана внаслідок дослідження, має якісний, а не кількісний характер. Для опрацювання таких даних стандартні статистичні методи є неприйнятні, оскільки йдеться про пріоритети, – порядкові, а не кількісні величини. Якісний аналіз даних здійснювався методами непараметричної статистики. За допомогою критерію Фрідмана ми перевірили нульову гіпотезу про те, що серед висловлених різними групами уподобань щодо послуг лісових екосистем немає пріоритетів, тобто між ними немає статистично значущих відмінностей. Процедура перевірки за критерієм Фрідмана полягає у побудові матриці уподобань та впорядкуванні (ранжуванні) значень у кожному рядку і підсумовуванні отриманих рангів за кожним стовпчиком та обчислення тестової статистики.

Далі наведено приклад визначення розрахункового значення критерію Фрідмана для групи "Державні підприємства лісового господарства", для визначення індивідуальних уподобань із використанням результатів, отриманих у табл. 1:

$$Fr = \frac{12}{bk(k+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 - 3b(k+1) = \frac{12}{30 \times 7(7+1)} \sum_{i=1}^k R_i^2 - 3b(k+1)$$

де: k – кількість тем, виділених учасниками опитування, $k=7$; b – кількість спостережень, $b=30$; i – індекс теми, $i=1, k$; R_i – сума рангів для теми i (табл. 1); $Fr = 12(30 \times 7 \times (7+1)) \times (51,5^2 + 87,5^2 + 174^2 + 119^2 + 97,7^2 + 123^2 + 188^2) - 3 \times 30 \times (7+1) = 98,65$.

Табл. 1. Розрахунок рангів для визначення критерію Фрідмана для групи "Державні підприємства лісового господарства"

№ з/п	Теми													
	довкільні		економічні		духовні, культурні, емоційні		оздоровчі		рекреаційно-туристичні		місцеві вартості		освітньо-наукові	
	місце	ранг	місце	ранг	місце	ранг	місце	ранг	місце	ранг	місце	ранг	місце	ранг
1	1	1	2	2	-	6,34	3	3	3	3	-	6,33	-	6,33
2	1	1	2	2	-	5,5	-	5,5	-	5,5	3	3	-	5,5
3	1	1	2	2	-	5,5	-	5,5	-	5,5	3	3	-	5,5
4	1	1	2	2	3	3	-	6,5	4	4	5	5	-	6,5
5	3	3	-	5,5	-	5,5	2	2	1	1	-	5,5	-	5,5
6	-	7,5	1	1	4	4	3	3	3	3	2	2	-	7,5
7	1	1	-	8,5	2	2	3	3	2	2	3	3	-	8,5
8	1	1	2	2	-	6,34	3	3	3	3	-	6,33	-	6,33
9	1	1	2	2	3	3	-	6,5	4	4	5	5	-	6,5
10	1	1	2	2	3	3	-	6,5	4	4	5	5	-	6,5
11	1	1	2	2	3	3	-	6,5	4	4	5	5	-	6,5
12	3	3	-	5,5	-	5,5	2	2	1	1	-	5,5	-	5,5
13	-	8	1	1	4	4	3	3	2	2	2	2	-	8
14	1	1	-	9,5	2	2	3	3	2	2	3	3	-	9,5
15	1	1	2	2	-	6	4	4	3	3	-	6	-	6
16	1	1	4	4	-	11	2	2	2	2	5	5	3	3
17	1	1	2	2	-	6	-	6	4	4	3	3	-	6
18	1	1	2	2	-	8,5	1	1	4	4	3	3	-	8,5
19	1	1	2	2	-	6,34	3	3	-	6,33	3	3	-	6,33
20	1	1	2	2	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
21	3	3	1	1	-	6	-	6	2	2	4	4	-	6
22	1	1	-	5,5	-	5,5	-	5,5	2	2	3	3	-	5,5
23	1	1	4	4	-	11	2	2	2	2	5	5	3	3
24	1	1	2	2	-	9,5	3	3	-	-	3	3	-	9,5
25	1	1	4	4	-	11	2	2	2	2	5	5	3	3
26	1	1	2	2	-	6	-	6	4	4	3	3	-	6
27	1	1	2	2	-	8,5	1	1	4	4	3	3	-	8,5
28	1	1	3	3	-	6,34	2	2	-	6,33	3	3	-	6,33
29	1	1	2	2	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
30	3	3	1	1	-	6	-	6	2	2	4	4	-	6
Сума рангів	51,5		87,5			174		119		97,7		123		188

Розрахункове значення критерію Фрідмана $F_r=98,65$. Табличне значення критерію χ^2 для рівня статистичної значущості $\alpha \leq 0,05$ та кількості ступенів свободи 6 становить 12,592 [6, 7].

Якщо розраховане значення критерію Фрідмана F_r перевершує відповідне табличне для вибраного рівня значимості і відповідного числа ступенів свободи, то нульова гіпотеза відхиляється, а існування відмінностей в уподобаннях підтверджується. Результати дослідження виявились значущими, тобто відмінності між висловленими ціннісними пріоритетами є статистично значущими. Аналогічні розрахунки було виконано для трьох інших груп. У

табл. 2 показано значення F_r -статистики Фрідмана, які є значно вищими від критичного значення. Це дає підставу з імовірністю 95 % стверджувати: індивідуальні уподобання у групах є однорідними із чітко вираженою пріоритетністю [6, 15].

Табл. 2. Перевірка статистичної значущості критерієм Фрідмана для чотирьох стейкхолдерів

Групи стейкхолдерів, значення F_r -статистики	Державні підприємства лісового господарства	Державні установи, які формують лісову політику	Місцеве населення	Громадські організації екологічного спрямування
Значення тестової статистики Фрідмана (F_r), індивідуальні уподобання	98,65	102,18	146,93	88,21
Значення тестової статистики Фрідмана (F_r), групові уподобання	107,67	88,87	133,23	66,7

Критичне або табличне значення F -статистики Фрідмана з $K-1$ ступенями свободи (K – кількість тем) та імовірністю 95 % становить $\chi^2_{k=7} = 12,592$; Кількість спостережень (стейкхолдерів) $b = 30$; Число ступенів свободи, $DF = 6$

Існування статистично значущих відмінностей в уподобаннях стейкхолдерів щодо ПЛЕ дає нам змогу побудувати когнітивні карти цінностей, які є важливим інструментарієм на шляху досягнення збалансованого використання ресурсів, коли враховують потреби кожного. Розходження інтересів часто призводить до деструктивних процесів у системі прийняття управлінських рішень, тому виявлення та врахування думки всіх зацікавлених сторін є першим кроком на шляху мотивування до збалансованого споживання ПЛЕ.

Література

1. Врублевська О.В. Конспект лекцій з економіки природокористування / О.В. Врублевська. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ, 2003. – 210 с.
2. Загвойська Л. Економічне підґрунтя менеджменту природних ресурсів на засадах сталого розвитку / Л. Загвойська, О. Лазор // Економіка України. – 2005. – № 8. – С. 75-80.
3. Загвойська Л.Д. Дослідження уподобань щодо послуг лісових екосистем із використанням когнітивних карт / Т.Б. Бас, Л.Д. Загвойська // Економіка природокористування і охорони довкілля: зб. Ін-ту економіки природокористування та сталого розвитку НАН України. – 2011. – Вип. 35. – С. 34-37.
4. Наследов А.Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных : учебн. пособ. / А.Д. Наследов. – СПб. : Изд-во "Речь", 2004. – 392 с.
5. Хотулева В. Стратегическая экологическая оценка для развития регионального и муниципального планирования : учебн. пособ. [для практиков] / В. Хотулева, Е. Пывцакина, В. Винниченко и др. – М. : ЦЭО "Еколайн", 2006. – 64 с.
6. Турчин В.М. Математична статистика : навч. посібн. / В.М. Турчин. – К. : Вид. центр "Академія", 1999. – 235 с. – С. 154.
7. Фещур Р.В. Статистика: теоретичні засади і прикладні аспекти : навч. посібн. / Р.В. Фещур, А.Ф. Барвінський, В.П. Кічор та ін. / за наук. ред. Р.В. Фещура. – Вид. 2-ге, [перероб. та доп.]. – Львів : Вид-во "Інтелект-Захід", 2003. – 576 с.
8. Arrow K. Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation / K. Arrow, R. Solow, P. Edward, L. Roy, R. Howar // 11 January 1993. – 62 p.
9. Daly H. Ecological Economics. Principles and applications / H. Daly and J. Farley. – Washington: Island Press, 2005. – 455 p.

10. Ecosystems and Human Wellbeing: Synthesis // Millennium Ecosystem Assessment. – Washington : Island Press, 2005. [Electronic resource]. – Mode of access <http://www.millenniumassessment.org/ru/Index.aspx>

11. Kant S. A social choice approach to sustainable forest management: an analysis of multiple forest values in Northwestern Ontario / S. Kant, S. Lee // Forest Policy and Economics. – 2004. – № 6 (3-4). – Pp. 215-227. [Electronic resource]. – Mode of access http://www.forestry.toronto.edu/people/shashi_site/Ref_05_01_files/Kant_2004_a.pdf

12. Kearney A. Stakeholder perspectives on appropriate forest management in the Pacific Northwest / A. Kearney, G. Bradley, R. Kaplan and S. Kaplan // Forest Science. – 1999. – № 45(1). – Pp. 62-73.

13. Layard R. Cost-Benefit Analysis / R. Layard, S. Glaister. – Cambridge : Cambridge University Press, 1996.

14. Lee S. Forest Values, Perceptions and Co-management in Northwestern Ontario / S. Lee, S. Kant. – Toronto : Toronto University, Sustainable Forest Management Network Research Communication, April, 2003. – 49 p.

15. Newbold P. Statistics for Business and Economics / P. Newbold // Fourth edition. New Jersey: Prentice Hall, 1995. – 876 p.

16. Rozen S. Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition / S. Rozen // Journal of Political Economy. – 1974. – № 82. – Pp. 34-55.

Бас Т.Б. Анализ предпочтений стейкхолдеров относительно услуг лесных экосистем с использованием непараметрического статистического аппарата

Исследованы предпочтения стейкхолдеров относительно услуг лесных экосистем (УЛЭ), обработана полученная информация с помощью непараметрического статистического аппарата. Доказана статистическая значимость различий в предпочтениях разных социальных групп (стейкхолдеров) относительно УЛЭ с использованием тестовой статистики Фридмана.

Ключевые слова: услуги лесных экосистем, непараметрическая статистика, тест Фридмана.

Bas T.B. Analysis of stakeholder's preferences regarding forest ecosystem services using non-parametric statistical methods.

Stakeholder's preferences regarding forest ecosystems services (FES) have been investigated. The information received by non-parametric statistical methods was processed. Statistical significance of differences in preferences of different social groups (stakeholders) regarding FES was proved using the Friedman test.

Keywords: forest ecosystem services, non-parametric statistics, Friedman test.

УДК 004.942

*Доц. П.Ю. Денисюк, канд. техн. наук;
проф. В.М. Теслюк, д-р техн. наук; здобувач М.Є. Перейма;
студ. Т.В. Теслюк – НУ "Львівська політехніка"*

ВИКОРИСТАННЯ ІЄРАРХІЧНИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ МЕМС¹

Розроблено модель для аналізу МЕМС з використанням ієрархічних мереж Петрі та реалізовано програмні засоби, як дають змогу автоматизувати побудову моделі на основі МП і аналіз динаміки.

Ключові слова: мережа Петрі, мікроелектромеханічні системи (МЕМС).

¹ Матеріали підготовлені за підтримки гранту Президента України докторам наук для здійснення наукових досліджень на 2011 рік. Тема: "Розроблення інформаційних технологій автоматизації структурного синтезу та аналізу мікроелектромеханічних систем" (Ф35/541-2011, №0111U009116)

Вступ. Мережі Петрі є популярним сучасним формалізмом для моделювання й аналізу розподілених, паралельних та складних об'єктів і систем [1-3]. Компоненти довільної системи та їхні дії зручно представляти абстрактними подіями. Подія може відбутися один раз, повторитися багаторазово, породжуючи конкретні інші дії, чи не відбутися жодного разу. Сукупність дій, що виникають як реалізації подій, утворює процес. У загальному випадку, одна і та сама система може функціонувати в одних і тих самих умовах по-різному, породжуючи деяку множину процесів. Складні системи, в яких однаковий набір вхідних параметрів може викликати деяку множину вихідних параметрів, зручно описувати термінами мереж Петрі.

Ієрархічні мережі Петрі (МП) – це розширення стандартного формалізму мереж Петрі [1], за якого маркери, що визначають розмітку мережі, самі є маркованими мережами. Назва "ієрархічні" тут вказує на те, що елементи мереж самі є мережами, подібно до того, як у системі ієрархічних множин елементами деякої множини можуть бути множини.

Під час моделювання систем оброблення та передачі інформації на системному рівні проектування мікроелектромеханічних систем (МЕМС) [1] використання ієрархічного підходу дає змогу значно спростити структурну схему системи. Крім того, це дасть змогу розробнику складних мікроелектромеханічних систем використовувати бібліотеку вже розроблених проектних рішень, що зменшить загальний час та ефективність автоматизованого проектування на системному рівні.

1. Побудова моделі на основі ієрархічної мережі Петрі. На системному рівні проектування МЕМС для аналізу структурних рішень використовуються моделі на основі мереж Петрі [3-8]. Розширити можливості аналізу структур МЕМС можна за допомогою ієрархічних мереж Петрі, які дають змогу використовувати як елементи – мережі Петрі. Математична модель МЕМС на основі ієрархічних мереж Петрі має такий вигляд:

$$N_h = \{S, T, F, M_0, A, A_{in}, A_{out}\},$$

де: $S = \{S_1, S_2, \dots, S_g\}$ – множина позицій (стани); $T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$ – множина переходів; F – множина дуг, яка включає дві підмножини вхідних та вихідних дуг по відношенню до переходу; M_0 – множина, яка задає початкове маркування мережі Петрі; g, v – кількість позицій та переходів, відповідно; A – множина вкладених мереж Петрі в S_i позицій; A_{in} – множина, яка відображає доступну множину вхідних позицій вкладених мереж Петрі; A_{out} – множина маркерів вихідних позицій вкладених мереж Петрі.

Розроблена модель системного рівня проектування дає змогу провести аналіз динаміки МЕМС.

2. Програмне забезпечення системи для моделювання МЕМС. Мова програмування Java обрана як програмний засіб реалізації підсистеми. Це дало можливість створити незалежну від архітектурної платформи комп'ютера підсистему аналізу моделей на основі ієрархічних мереж Петрі. Окрім того, використання об'єктно-орієнтованого підходу під час програмної реалізації, дало змогу користувачу в подальшій роботі підключати зовнішні програмні модулі та системи. Головною перевагою підсистеми аналізу ієрархіч-