утилизаторе газов в поверхностном теплообменнике и теплоизоляция корпуса дымовой трубы. Определены безопасные для эксплуатации дымовых труб разного типа режимы работы котельных и основные характеристики указанных систем защиты.

Ключевые слова: отопительные котельные установки, теплоутилизация, дымовые трубы разного типа, тепловая нагрузка, конденсатообразование, системы тепловой защиты.

Navrodska R.A. **Preventing Condensation in the Chimney by Reducing Heat Load Boiler Plants**

The analysis of thermal-humidity condition in municipal boiler chimneys when applying modern heat-utilization technologies with vapour corrosion protection systems tracts under conditions to reduce project's heat loads this boiler are conducted. The results of research of the use of heat-utilization circuits of such thermal methods to prevent condensation as channeling effect paths of exhaust gases by boiler out heat-utilizer, heating chilled exhaust gases in a surface heat-exchanger and heat insulation chimney of boiler plants are presented. Safe for exploitation of chimneys of various types of boiler modes of operation and the main characteristics of these protection systems are determined.

Keywords: heating boilers, heat recovery, chimneys of different types, thermal power, condensation, thermal protection system.

УДК 65.012.8:674.684.047

Доц. Т.В. Олянишен, канд. техн. наук; доц. Л.А. Яремчук, канд. техн. наук – НЛТУ України, м. Львів

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ЛАКОФАРБОВОГО МАТЕРІАЛУ ЗА ОСНОВНИМИ ВИРОБНИЧИМИ КРИТЕРІЯМИ

Досліджено можливість використання математичного апарату для розв'язання виробничих задач, пов'язаних із раціональним вибором за умовою існуючих альтернатив. Використано відомий метод аналізу ієрархій для визначення оптимального лакофарбового матеріалу (ЛФМ) з трьох альтернатив (алкідний органорозчинний лак, поліакриловий водоемульсійний лак та модифікована каніфоллю лляна олія) за технологічними, екологічними та економічними критеріями. Ступінь переваги одного критерію над іншим здійснено на основі експертного оцінювання з використанням шкали відносної важливості об'єктів Сааті. Досліджувані в роботі ЛФМ використовують підприємства галузі для опорядження столярно-будівельних виробів (вікна, двері, підлоги).

Ключові слова: лакофарбові матеріали; технологічні, екологічні, економічні критерії; метод аналізу ієрархій; матриця попарних порівнянь; шкала відносної важливості об'єктів Сааті.

Постановка проблеми. Для опорядження деревини у деревообробній промисловості використовують різні лакофарбові матеріали (ЛФМ), які відрізняються своїм хімічним складом і властивостями. У роботі досліджено три матеріали: алкідний органорозчинний лак, поліакриловий водоемульсійний лак та модифікована каніфоллю лляна олія (табл. 1). Порівняльний аналіз наведених вище матеріалів здійснюють за основними виробничими критеріями, серед яких важливими є технологічні, екологічні та економічні критерії (фактори).

Мета роботи. Визначення раціонального ЛФМ з трьох альтернатив, використовуючи метод аналізу ієрархій **[3]**, який дає змогу встановити ступінь переваги одного критерію (фактора) над іншим на основі експертного оцінювання з використанням шкали відносної важливості об'єктів Сааті.

Методика виконання роботи. У цьому дослідженні запропоновано трьохетапне вирішення задачі. Перший етап – вибір раціонального ЛФМ за основними технологічними критеріями. Наступні другий і третій – за основними екологічними та економічними факторами.

Табл. 1. Позначення лакофарбових матеріалів

Альтернативи ЛФМ	Позначення
Алкідний органорозчинний лак	*K*
Поліакриловий водоемульсійний лак	*M*
Модифікована каніфоллю лляна олія	*N*

Перший етап. ***Вибір ЛФМ за основними технологічними критеріями***. Для розв'язання цієї задачі визначаємо основні технологічні критерії (табл. 2) та ідентифікуємо числовими ваговими значеннями $d_1,\ldots, d_n$ їх ймовірного впливу на вибір раціонального ЛФМ.

Табл. 2. Перелік технологічних критеріїв

Технологічний критерій	Позначення
Фізико-хімічні властивості (здатність змочувати деревну підкладку, розтікання, просочування)	d_1
Швидкість твердіння плівки	d_2
Фізико-механічні властивості плівок (твердість, еластичність, стійкість до стирання, ударостійкість)	d_3
Експлуатаційні властивості покриття (адгезія, стійкість до температурних змін, вологостійкість)	d_4
Декоративні властивості покриття (блиск, матовість, світлостійкість)	d_5

Нехай a_{ij} – число, що визначає перевагу одного критерію (фактора) відносно до іншого. Числа a_{ij} називають рангами елементів **[4]**. Чим більший ранг фактора, тим значніша міра його належності до множини істинних значень елемента. Оскільки досліджувані фактори мають певне функціональне навантаження, можна стверджувати, що міра її значущості є функцією ваги фактора, тобто $M(z_i)=F(z_i(d_i))$. Помістимо сукупність вагових значень факторів у матрицю A, тобто $A=(a_{ij})$. Ця матриця обернено-симетрична, що тотожно відношенню $A_{ij}=1/a_{ji}$.

Якщо остання рівність справедлива для всіх порівнянь, то матрицю A називають узгодженою. У задачах, де ваги можна виміряти точно, для узгодженої матриці очевидним є співвідношення

$$a_{ij} = d_i/d_j;\ i, j = 1, 2, \ldots, n. \quad (1)$$

Відомо, що матричне рівняння $Ax=y$ є аналогом системи рівнянь

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_i = y_i;\ i = 1, 2, \ldots, n,$$

яке з урахуванням відношення (1) можна приведена до виразу

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}d_i = nd_i;\ i = 1, 2, \ldots, n,$$

що відповідає скороченому векторному запису

$$Ad = nd. \quad (2)$$

У виразі (2) d – власний вектор матриці A з власним значенням n.

Для досліджуваної задачі взаємні впливи факторів вибору ЛФМ визначають на основі експертних оцінок, тому величину a_{ij} не завжди можна обчислити точно на основі рівняння (1). Виходом із ситуації може стати використання наступних тверджень теорії матриць [3].

Якщо числа $\lambda_1,\ldots,\lambda_n$ задовольняють рівняння $Ax=\lambda x$, тобто є власними значеннями матриці A, причому $a_{ii}=1$ для всіх і, то

$$\sum_{i=1}^{n}\lambda_i = n. \qquad (3)$$

Рівність (3) з додатковим урахуванням (2) означає, що тільки одне значення власного вектора матриці A дорівнює n, усі решта – нулі; тобто у випадку узгодженості експертних суджень максимальне власне значення матриці A дорівнюватиме n. Частка від ділення суми компонент власного вектора на кількість компонент (середнє арифметичне) визначить наближення до числа $\lambda_{\max}$, котре називають максимальним або головним власним значенням. Ця величина стає основною характеристикою, що використовується для встановлення міри узгодженості експертних суджень стосовно попарних порівнянь факторів ефективності роботи у задачах з лінгвістично невизначеними критеріями, для розв'язання яких використовують теорію нечітких множин [4].

Крім того, стверджуємо, що за незначної зміни елементів a_{ij} оберненосиметричної матриці A власне значення її вектора також зміниться неістотно, тобто власне значення $\lambda_{\max}$ буде близьким до n, а інші власні значення – незначно відрізнятимуться від нуля. Звідси випливає, що величина відхилення $\lambda_{\max}$ від n може слугувати мірою узгодженості або адекватності експертних суджень стосовно ваг факторів залежно від рівня їх важливості. Відхилення від узгодженості називають індексом узгодженості і виражається величиною

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}. \qquad (4)$$

При цьому значення індексу узгодженості не повинно перевищувати 10 % його еталонної величини. Для визначення шкали пріоритетів будуємо квадратну обернено-симетричну матрицю попарних порівнянь, порядок якої визначається числом аналізованих факторів [3]. Експертна оцінка здійснюється на основі шкали відносної важливості об'єктів Сааті [3] (табл. 3).

Табл. 3. Шкала відносної важливості об'єктів

Оцінка важливості	Критерій порівняння	Пояснення щодо вибору критерію
1	Об'єкти рівноцінні	Відсутність переваги k_1 над k_2
3	Один об'єкт дещо переважає інший	Існує підстава наявності слабкої переваги k_1 над k_2
5	Один об'єкт переважає інший	Існує підстава наявності істотної переваги k_1 над k_2
7	Один об'єкт значно переважає інший	Існує підстава присутності явної переваги k_1 над k_2
9	Один об'єкт абсолютно переважає інший	Абсолютна перевага k_1 над k_2 не викликає сумніву
2, 4, 6, 8	Проміжні значення	Допоміжні порівняльні оцінки

Для побудови матриці попарних порівнянь технологічні фактори порівнюються попарно відповідно до основної мети, тобто вибору ЛФМ.

Помістимо сукупність оцінок важливості як результат порівняння технологічних факторів у матрицю, оформлену у вигляді таблиці. Згідно із заданими умовами [3], діагональні елементи матриці дорівнюють одиниці (табл. 4).

Табл. 4. Матриця попарних порівнянь технологічних факторів

	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5
d_1	1	3	1/3	1/5	3
d_2	1/3	1	1/5	1/6	1/3
d_3	3	5	1	1/5	3
d_4	5	6	5	1	5
d_5	1/3	3	1/3	1/5	1

Для встановлення міри узгодженості числових значень попарних порівнянь технологічних факторів, заданих наведеною вище матрицею, слугує вектор пріоритетів матриці, для знаходження якого обчислимо спочатку головний власний вектор, після чого нормалізуємо його. Отже, знаходимо добуток елементів кожного рядка і вираховуємо корінь 3-го степеня.

Отримаємо вектор E = (0,902; 0,326; 1,551; 3,758; 0,581).

Нормалізуємо вектор E, для чого його компоненти поділимо на суму значень усіх компонент, що приведе до такого вектора: E_n = (0,126; 0,045; 0,217; 0,527; 0,081). Нормалізований вектор E_n визначає уточнені числові пріоритети факторів і встановлює попередній формальний результат розв'язання поставленої задачі.

Обчислимо оцінку узгодженості вагових значень факторів [3]. Помножимо матрицю попарних порівнянь справа на вектор E_n.

Отримаємо E_{n1} = (0,687; 0,246; 1,178; 2,934; 0,439).

Знайдемо компоненти власного вектора $\lambda_{\max}$. Складові вектора E_{n1} поділимо на відповідні складові вектора E_n.

Отримаємо E_{n2} = (5,423; 5,386; 5,406; 5,560; 5,381).

Наближене значення для $\lambda_{\max}$ = 5,432, де $\lambda_{\max}$ – середнє арифметичне компонент вектора E_{n2}.

Оцінка отриманого рішення визначається індексом узгодженості, який вираховують за формулою (4). У нашому випадку IU=0,108.

Значення індексу узгодженості зазвичай порівнюють з еталонними величинами показника узгодженості [2], т. зв. випадковим індексом узгодженості WI, який залежить від кількості об'єктів, що порівнюються [4].

Випадковим індексом узгодженості називають індекс узгодженості, отриманий для згенерованої випадковим способом за шкалою від одного до дев'яти обернено-симетричної матриці з відповідними оберненими величинами. При цьому результати вважаються задовільними, якщо порахована величина індексу не перевищує 10 % еталонного значення для відповідної кількості аналізованих об'єктів, як уже зазначалося вище.

Для нашого випадку WI=1,12. Додатково результати оцінюють відношенням узгодженості, величину якої отримують з виразу

$$WU=IU/WI. \qquad (5)$$

Оскільки IU=0,108 то, відповідно, WU=0,096. Результати парних порівнянь можна вважати задовільними, якщо $WU \leq 0{,}1$. Отже, маємо достатній рівень збіжності процесу та належну узгодженість експертних суджень відносно вагових значень технологічних факторів.

При порівнянні альтернатив ЛФМ (див. табл. 1) формується вже не одна, а п'ять таблиць, тому що ЛФМ порівнюються за кожним з п'яти технологічних факторів. Узгодженість результатів здійснимо за векторами пріоритетів λ_{max}, індексом узгодженості IU та відношенням узгодженості WU. Одержимо результати після обчислення даних, наведених у матрицях (табл. 5-9).

Табл. 5. Матриця попарних порівнянь альтернатив по d_1

d_1	K	M	N
K	1	5	1/3
M	1/5	1	1/7
N	3	7	1

E_n = (0,278; 0,071; 0,649); E_{n1} = (0,854; 0,220; 1,989); E_{n2} = (3,064; 3,064; 3,064).
λ_{max} = 3,064; IU = 0,032; WU = 0,055.

Табл. 6. Матриця попарних порівнянь альтернатив по d_2

d_2	K	M	N
K	1	1/5	3
M	5	1	7
N	1/3	1/7	1

E_n = (0,188; 0,730; 0,080); E_{n1} = (0,577; 2,239; 0,248); E_{n2} = (3,064; 3,064; 3,064).
λ_{max} = 3,064; IU = 0,032; WU = 0,056.

Табл. 7. Матриця попарних порівнянь альтернатив по d_3

d_3	K	M	N
K	1	1/3	3
M	3	1	3
N	1/3	1/3	1

E_n = (0,280; 0,584; 0,135); E_{n1} = (0,880; 1,831; 0,423); E_{n2} = (3,135; 3,135; 3,135).
λ_{max} = 3,135; IU = 0,067; WU = 0,1.

Табл. 8. Матриця попарних порівнянь альтернатив по d_4

d_4	K	M	N
K	1	1	1/3
M	1	1	1/5
N	3	5	1

E_n = (0,185; 0,156; 0,658); E_{n1} = (0,560; 0,473; 1,995); E_{n2} = (3,029; 3,029; 3,029).
λ_{max} = 3,029; IU = 0,014; WU = 0,025.

Табл. 9. Матриця попарних порівнянь альтернатив по d_5

d_5	K	M	N
K	1	1	5
M	1	1	5
N	1/5	1/5	1

E_n = (0,454; 0,454; 0,090); E_{n1} = (1,363; 1,363; 0,272); E_{n2} = (3; 3; 3).
λ_{max} = 3; IU = 0; WU = 0.

Обчислення, проведені згідно з виразом (5), виконані коректно, оскільки значення вектора пріоритетів λ_{max}, індексу узгодженості IU та відношення узгодженості WU для кожної з матриць знаходяться в межах норми.

Останній крок – синтез пріоритетів. Глобальний пріоритет (табл. 10) при виборі ЛФМ за технологічними критеріями розраховують для кожної альтернативи окремо.

Для альтернативи K:

$$0{,}126\times0{,}278 + 0{,}045\times0{,}188 + 0{,}217\times0{,}280 + 0{,}527\times0{,}185 + 0{,}081\times0{,}454 = 0{,}238.$$

Для альтернативи M:

$$0{,}126\times0{,}071 + 0{,}045\times0{,}730 + 0{,}217\times0{,}584 + 0{,}527\times0{,}156 + 0{,}081\times0{,}454 = 0{,}288.$$

Для альтернативи N:

$$0{,}126\times0{,}649 + 0{,}045\times0{,}080 + 0{,}217\times0{,}135 + 0{,}527\times0{,}658 + 0{,}081\times0{,}090 = 0{,}469.$$

Табл. 10. Синтез пріоритетів для альтернатив за технологічними критеріями

Альтернатива	Технологічний критерій					
	$d_{1\,(0,126)}$	$d_{2\,(0,045)}$	$d_{3\,(0,217)}$	$d_{4\,(0,527)}$	$d_{5\,(0,081)}$	Глобальний пріоритет
K	0,278	0,188	0,280	0,185	0,454	0,238
M	0,071	0,730	0,584	0,156	0,454	0,288
N	0,649	0,080	0,135	0,658	0,090	0,469

Згідно з використаним методом **[1]**, раціональною з трьох альтернатив за технологічними критеріями для опорядження деревини є альтернатива N, тобто ЛФМ на олійній основі, для якої значення глобального пріоритету максимальне.

Другий етап. ***Вибір ЛФМ за основними екологічними критеріями***. За аналогією з першим етапом, визначаємо основні екологічні критерії (табл. 11), які впливають на вибір ЛФМ з трьох альтернатив (див. табл. 1).

Табл. 11. Перелік екологічних критеріїв

Екологічний критерій	Позначення
Походження компонентів (природні, синтетичні)	b_1
Можливості поновлення сировинних ресурсів	b_2
Використання (екологічні платежі)	b_3
Експлуатація опоряджених виробів	b_4
Утилізація відходів (клас безпеки)	b_5

Для побудови матриці попарних порівнянь екологічні фактори порівнюються попарно відповідно до основної мети, тобто вибору ЛФМ (табл. 12).

Табл. 12. Матриця попарних порівнянь екологічних факторів

	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
b_1	1	1/3	1/3	5	1/7
b_2	3	1	1	3	1/5
b_3	3	1	1	5	1/5
b_4	1/5	1/3	1/5	1	1/7
b_5	7	5	5	7	1

E_n = (0,081; 0,151; 0,168; 0,038; 0,559); E_{n1} =(0,461; 0,791; 0,869; 0,219; 3,000); E_{n2} =(5,665; 5,213; 5,166; 5,678; 5,358). λ_{max} = 5,416; IU = 0,104; WU = 0,092.

При порівнянні альтернатив ЛФМ (див. табл. 1) формуються п'ять таблиць, де альтернативи порівнюються за кожним з п'яти екологічних факторів (табл. 13-17).

Табл. 13. Матриця попарних порівнянь альтернатив по b_1

b_1	K	M	N
K	1	1	1/9
M	1	1	1/9
N	9	9	1

E_n = (0,090; 0,090; 0,818); E_{n1} = (0,272; 0,272; 2,454); E_{n2} = (3; 3; 3). λ_{max} = 3; IU = 0; WU = 0.

Табл. 14. Матриця попарних порівнянь альтернатив по b_2

b_2	K	M	N
K	1	1	1/9
M	1	1	1/9
N	9	9	1

E_n = (0,090; 0,090; 0,818); E_{n1} = (0,272; 0,272; 2,454); E_{n2} = (3; 3; 3). λ_{max} = 3; IU = 0; WU = 0.

Табл. 15. Матриця попарних порівнянь альтернатив по b_3

b_3	K	M	N
K	1	1/5	1/7
M	5	1	1/3
N	7	3	1

E_n = (0,071; 0,278; 0,649); E_{n1} = (0,220; 0,854; 1,989); E_{n2} = (3,064; 3,064; 3,064). λ_{max} = 3,064; IU = 0,032; WU = 0,055.

Табл. 16. Матриця попарних порівнянь альтернатив по b_4

b_4	K	M	N
K	1	1	1/3
M	1	1	1/3
N	3	3	1

E_n = (0,2; 0,2; 0,6); E_{n1} = (0,6; 0,6; 1,8); E_{n2} = (3; 3; 3). λ_{max} = 3; IU = 0; WU = 0.

Табл. 17. Матриця попарних порівнянь альтернатив по b_5

b_5	K	M	N
K	1	2	1/7
M	1/2	1	1/5
N	7	5	1

E_n = (0,149; 0,105; 0,744); E_{n1} = (0,469; 0,329; 2,321); E_{n2} = (3,12; 3,12; 3,12). λ_{max} = 3,12; IU = 0,6; WU = 0,1.

Глобальний пріоритет (табл. 18) при виборі ЛФМ за екологічними критеріями розраховують, за аналогією з технологічними, для кожної альтернативи окремо.

Для альтернативи A:

0,081×0,090 + 0,151×0,090 + 0,168×0,071 + 0,038×0,2 + 0,559×0,149 = 0,124.

Для альтернативи B:

0,081×0,090 + 0,151×0,090 + 0,168×0,278 + 0,038×0,2 + 0,559×0,105 = 0,135.

Для альтернативи C:

0,081×0,818 + 0,151×0,818 + 0,168×0,649 + 0,038×0,6 + 0,559×0,744 = 0,738.

Табл. 18. Синтез пріоритетів для альтернатив за екологічними критеріями

Альтернатива	Екологічний критерій					
	$b_{1\,(0,081)}$	$b_{2\,(0,151)}$	$b_{3\,(0,168)}$	$b_{4\,(0,038)}$	$b_{5\,(0,559)}$	Глобальний пріоритет
K	0,090	0,090	0,071	0,2	0,149	0,124
M	0,090	0,090	0,278	0,2	0,142	0,135
N	0,818	0,818	0,649	0,6	0,744	0,738

Згідно з використаним методом **[1]**, раціональною з трьох альтернатив за екологічними критеріями є альтернатива N, тобто ЛФМ, для якої значення глобального пріоритету максимальне.

Третій етап. ***Вибір ЛФМ за основними економічними критеріями***. Обираємо основні економічні критерії (табл. 19), які впливають на вибір ЛФМ з трьох альтернатив.

Табл. 19. Перелік економічних критеріїв

Економічний фактор	Позначення
Вартість матеріалів на 1 м² опорядження поверхні	p_1
Вартість енерговитрат на 1 м² опорядження поверхні	p_2
Витрати на утилізацію	p_3
Платежі за забруднення повітря	p_4
Додаткові витрати на оплату праці робітника за шкідливі умови	p_5

Для побудови матриці попарних порівнянь економічні фактори порівнюються попарно відповідно до основної мети, тобто вибору ЛФМ (табл. 20).

Табл. 20. Матриця попарних порівнянь економічних факторів

	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
p_1	1	1	5	6	7
p_2	1	1	5	5	7
p_3	1/5	1/5	1	3	3
p_4	1/6	1/5	1/3	1	3
p_5	1/7	1/7	1/3	1/3	1

E_n = (0,369; 0,382; 0,111; 0,068; 0,040); E_{n1} =(2,031; 1,962; 0,594; 0,369; 0,211); E_{n2} =(5,116; 5,126; 5,356; 5,357; 5,252). λ_{max} = 5,241; IU = 0,060; WU = 0,054.

При порівнянні альтернатив ЛФМ формуються п'ять таблиць, де альтернативи порівнюються за кожним із п'яти економічних факторів (табл. 21-25).

Табл. 21. Матриця попарних порівнянь альтернатив по p_1

p_1	K	M	N
K	1	5	3
M	1/5	1	1/5
N	1/3	5	1

E_n = (0,617; 0,085; 0,296); E_{n1} =(1,936; 0,268; 0,930); E_{n2} =(3,135; 3,135; 3,135).

λ_{max} = 3,135; IU = 0,067; WU = 0,1.

Табл. 22. Матриця попарних порівнянь альтернатив по p_2

p_2	K	M	N
K	1	1/5	3
M	5	1	5
N	1/3	1/5	1

E_n = (0,202; 0,700; 0,097); E_{n1} = (0,633; 2,197; 0,304); E_{n2} = (3,135; 3,135; 3,135).

λ_{max} = 3,135; IU = 0,067; WU = 0,1.

Табл. 23. Матриця попарних порівнянь альтернатив по p_3

p_3	K	M	N
K	1	3	1/7
M	1/3	1	1/9
N	7	9	1

E_n = (0,148; 0,065; 0,785); E_{n1} = (0,458; 0,202; 2,419); E_{n2} = (3,080; 3,080; 3,080).

λ_{max} = 3,080; IU = 0,04; WU = 0,07.

Табл. 24. Матриця попарних порівнянь альтернатив по p_4

p_4	K	M	N
K	1	1/3	1/7
M	3	1	1/5
N	7	5	1

E_n = (0,080; 0,188; 0,730); E_{n1} = (0,248; 0,577; 2,239); E_{n2} = (3,064; 3,064; 3,064).

λ_{max} = 3,064; IU = 0,032; WU = 0,06.

Табл. 25. Матриця попарних порівнянь альтернатив по p_5

p_5	K	M	N
K	1	1/3	1/5
M	3	1	1/3
N	5	3	1

E_n = (0,104; 0,258; 0,636); E_{n1} = (0,318; 0,784; 1,935); E_{n2} = (3,038; 3,038; 3,038).

λ_{max} = 3,038; IU = 0,02; WU = 0,03.

Глобальний пріоритет (табл. 26) при виборі ЛФМ за економічними критеріями розраховують, за аналогією з технологічними та екологічними, для кожної альтернативи окремо.

Для альтернативи K:

$$0{,}369\times0{,}617+ 0{,}382\times0{,}202+ 0{,}111\times0{,}148+ 0{,}068\times0{,}080+ 0{,}040\times0{,}104 = 0{,}33.$$

Для альтернативи M:

$$0{,}369\times0{,}085+ 0{,}382\times0{,}700+ 0{,}111\times0{,}065+ 0{,}068\times0{,}188+ 0{,}040\times0{,}258 = 0{,}328.$$

Для альтернативи N:

$$0{,}369\times0{,}296+ 0{,}382\times0{,}097+ 0{,}111\times0{,}785+ 0{,}068\times0{,}730+ 0{,}040\times0{,}636 = 0{,}307.$$

Табл. 26. Синтез пріоритетів для альтернатив за економічними критеріями

Альтернативи	Економічні критерії					
	$p_{1\,(0,396)}$	$p_{2\,(0,382)}$	$p_{3\,(0,111)}$	$p_{4\,(0,068)}$	$p_{5\,(0,040)}$	Глобальний пріоритет
K	0,617	0,202	0,148	0,080	0,104	0,33
M	0,085	0,700	0,065	0,188	0,258	0,328
N	0,296	0,097	0,785	0,730	0,636	0,307

Згідно з використаним методом [1], раціональною з трьох альтернатив за економічними критеріями є альтернатива K, тобто ЛФМ, для якої значення глобального пріоритету максимальне.

Висновки. У зв'язку з енергетичною кризою питання економії енергоресурсів *у* нашій державі і надалі буде однією з найгостріших проблем. Основними напрямками розвитку сучасної технології опорядження є створення високоякісних плівок на основі екологічно безпечних матеріалів, при цьому підвищуючи естетичний вигляд деревинної підкладки і зменшуючи витрату лакофарбових матеріалів.

За результатами дослідження, раціональною за основними технологічними та екологічними критеріями визначено модифіковану каніфоллю лляну олію. Щодо економічних критеріїв, алкідний органорозчинний лак дещо переважає над поліакриловим водорозчинним лаком та модифіковоною лляною олією. Це можна пояснити тим, що алкідний лак випускається вітчизняною промисловістю і має відносно низьку ціну для споживачів.

Таким чином, метод аналізу ієрархій дає змогу вирішувати виробничі питання вибору раціонального матеріалу з існуючих альтернатив наведеним вище шляхом, виключаючи випадковість вибору.

Література

1. Бартіш М.Я. Дослідження операцій : підручник. – У 3-х ч. / М.Я. Бартіш, І.М. Дудзяний. – Ч. 3: Ухвалення рішення і теорія ігор. – Львів : Вид-во Львів. НУ ім. Івана Франка, 2009. – 278 с.
2. Лямец В.И. Системный анализ. Вводный курс : учебн. пособ. / В.И. Лямец, А.Д. Тевяшев. – Изд. 2-ое, [перераб. и доп.]. – Х. : Изд-во Харьков. НУ радиоэлектроники, 2004. – 448 с. – (Сер.: Прикладная математика).
3. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий : пер. с англ. / Т. Саати. – М. : Изд-во "Радио и связь", 1993. – 278 с.
4. Сявавко М.С. Інформаційна система "Нечіткий експерт" / М.С. Сявавко. – Львів : Вид-во Львів. НУ ім. Івана Франка, 2007. – 320 с.

Олянышен Т.В., Яремчук Л.А. **Использование метода анализа иерархий для определения рационального лакокрасочного материала по основным производственным критериям**

Исследована возможность использования математического аппарата для решения производственных вопросов рационального выбора материалов при наличии альтернатив. Использован известный метод анализа иерархий для определения оптимального лакокрасочного материала из трёх альтернатив (алкидный органорастворимый лак, полиакриловый водоэмульсионный лак и модифицированное канифолью льняное масло) по технологическим, экологическим и экономическим критериям. Степень преимущества одного критерия над другим осуществляется на основе экспертной оценки, используя шкалу относительной важности объектов Саати. Используемые в работе ЛКМ широко используются предприятиями отрасли для отделки столярно-строительных изделий (окна, двери, полы). Для сравнения модифицированного льняного масла выбраны

материалы, которые производятся отечественными производителями: алкидный органорастворимый и водоэмульсионный полиакрилатный лаки.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы; технологические, экологические, экономические критерии; метод анализа иерархий; матрица попарных сравнений; шкала относительной важности объектов Саати.

Olyanyshyn T.V., Yaremchuk L.A. **The Use of the Method of Analysis of Hierarchies for the Determination of a Rational Finishing Material according to Basic Production Criteria**

The possibility to use mathematical tools for solving production problems related to the rational choice of materials by existing alternatives is studied. The known method of analysis of hierarchies is used for determining the optimum varnish material from three alternatives (alkyd varnish with an organic solvent, poliakrilat water-emulsion varnish and linseed oil modified by rosin) on technological, ecological and economic criteria. The degree of advantage of one criterion above other is performed on the basis of expert estimation, using the scale of relative importance of Saati objects. In-use in-process varnish is widely used by the industrial enterprises for finishing of joiner-build wares (windows, doors, floors). For comparison of the modified linseed oil materials which are produced by domestic producers were chosen the following: alkyd varnish with an organic solvent and water-emulsion poliakrilat varnishes.

Keywords: finishing materials; technological, ecological, and economic criteria; the method of analysis of hierarchies; matrix of pairwise comparisons; the scale of relative importance of Saati objects.

УДК 004.[056+3.75]:061.68

Ст. викл. І.Р. Опірський,
канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ПРОЕКТНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНФЛІКТУ ЗАГРОЗ З КОМПЛЕКСНОЮ СИСТЕМОЮ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ В ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ ДЕРЖАВИ

Представлено модель захисту інформації в інформаційній мережі держави з повним перекриттям загроз, на основі якої показано механізм захисту, що визначається як коаліція бар'єрів, які перекривають одну з областей уразливості комплексної системи захисту інформації (КСЗІ). Представлено кінцеву залежність результатів стратегічної гри між коаліцією загроз та сукупністю коаліцій комплексної системи захисту інформації у вигляді математичних матриць. На основі теорії ігор показано, що ефективність роботи КСЗІ залежить від стійкості бар'єрів і від взаємозв'язків – передаточних функцій, які є зв'язувальним елементом гри, від кількості цих зв'язків напряму залежить ефективність і стійкість роботи КСЗІ.

Ключові слова: несанкціонований доступ, інформаційні мережі держави, комплексні системи захисту інформації, захист інформації, матриця коаліцій, загрози.

Вступ. Глобалізація інформаційних процесів і телекомунікаційних мереж попереджує низку проблем системного характеру, зокрема, інтелектуальної власності, трансакційних відомостей, різноманітного деструктивного впливу на інформацію тощо, серед яких проблема захисту інформації та протидія несанкціонованим діям зловмисників є ключовою [1, 2].

В Україні проблема інформаційної безпеки постала вкрай гостро. На сьогодні зусилля Президента України й Ради національної безпеки та оборони України спрямовані на впровадження положень "Доктрини інформаційної безпеки України" [3], оскільки питання про інформаційну безпеку держави та особисто інформаційних мереж держави є найбільш чутливим для системи національної безпеки і оборони загалом та визначальними для забезпечення національного суверенітету держави зокрема [7].

Функціональна залежність (близько 85 %) українських стратегічних об'єктів оборонного комплексу та інформаційних структур від закордонних технічних засобів відкриває евентуальному противнику широкі можливості несанкціонованого доступу до інформації, чим становить серйозну загрозу національній безпеці [4]. Тому принциповим аспектом управління національної, регіональної та міжрегіональної безпеки і стратегічної стабільності є системний та комплексний підхід до вирішення проблеми інформаційної безпеки та захисту інформаційних мереж держави (ІМД), яка особливо актуальна в сучасних умовах. При цьому умова системності та комплексності є обов'язковою у створенні системи захисту та протидії несанкціонованому доступу (НСД) в ІМД. Вона відповідає вимогам стандартів та документів [5], а також вимогам міжнародних стандартів ISO у сфері інформаційної безпеки [6].

На сьогодні створення комплексної системи захисту інформації (КСЗІ) неможливе без дослідження й узагальнення світового досвіду побудови ІМД та їх складових підсистем, ключовим елементом яких є, зокрема, КСЗІ для захисту від НСД. Математичними забезпеченнями таких систем є моделі процесів нападу на інформацію та її захисту і конфлікт загроз, що відбуваються між ними. Базисом таких моделей є математичний аналіз, який не в змозі забезпечити адекватність процесів, що моделюються реальними процесами, які відбуваються в ІМД. Основними причинами недосконалості математичного аналізу, що використовується нині, полягає в труднощах формалізації завдань показу та НСД щодо інформації, загрозами та її захисту, які пов'язані з процесами, що складно формалізуються і змінюють свої параметри протягом функціонування ІМД, як складової ІМД. Внаслідок цього не виконується вимога до компенсаційного аналізу функціонування КСЗІ, що приводить до зниження їх ефективності та ускладнення розробки перспективних систем на їх базі.

Таким чином, питання про створення та подальшого розвитку підходу до моделювання процесів НСД і визначення конфліктів КСЗІ щодо інформації у ІМД на базі сучасного математичного інструментарію є відкритим і актуальним та потребує детального наукового дослідження.

Об'єкт дослідження – процес конфлікту КСЗІ ІМД з загрозами від НСД.

Предмет дослідження – моделі та методи захисту інформації ІМД від НСД.

Мета роботи – проведення математичного проектного моделювання та аналізу конфлікту коаліції загроз інформаційних мереж держави з сукупністю коаліцій комплексної системи захисту інформації на основі теорії ігр та коаліційної гри.

Виклад основного матеріалу. Моделі захисту інформації є складовими частинами загального процесу моделювання. Моделювання системи полягає у побудові образу системи, адекватної (з точністю до цілей моделювання) системи, яка проектується, і в отриманні за допомогою побудованої моделі потрібних характеристик реальної системи. Таким чином, у загальному випадку, весь процес моделювання можна поділити на дві складові частини:

- побудова моделі;
- реалізація моделі з метою отримання потрібних характеристик системи.