

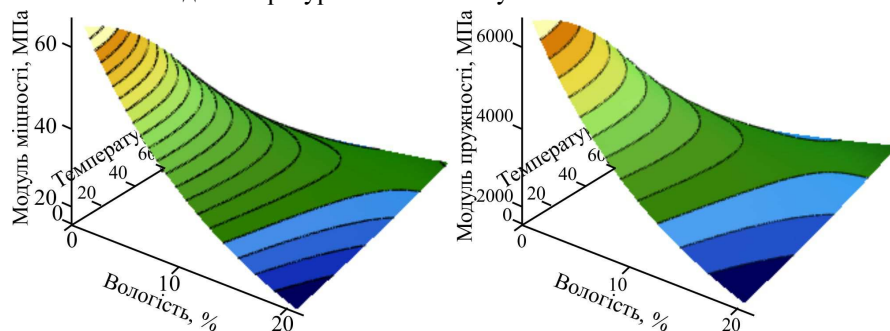
експлуатації виробів з плити МДФ товщиною 16 мм, щільністю 820 кг/м<sup>3</sup> виробництва Коростенського заводу МДФ (табл. 2).

**Табл. 2. Параметри міцності та пружності плит МДФ товщиною 16 мм, щільністю 820 кг/м<sup>3</sup>**

Параметр міцності		Параметр пружності	
$\sigma_0$ , МПа	56,1	$E_0$ , МПа	8413
$\alpha$	-3,47	$\delta$	-3,85
$\beta$	-0,81	$\epsilon$	-0,94
$\gamma$	3,87	$\theta$	4,07

Використовуючи знайдені параметри міцності, за допомогою формул (1), (2) розрахуємо яка має бути розрахункова межа міцності та модуль пружності деталі, що працює на чистий згін за зміни температури експлуатації у межах від 0 до 100 °С та вологості матеріалу від 0 % до 20 %.

На рис. наведено результати розрахунків межі міцності та модуля пружності залежно від температурно-вологісних умов.



**Рис. Результати розрахунків межі міцності та модуля пружності залежно від температурно-вологісного режиму експлуатації**

**Висновки.** Таким чином, використання моделі дає змогу прогнозувати межу міцності та модуль пружності деталей із деревно-композитних матеріалів за конкретних умов їх експлуатації.

### Література

1. Полак Л.С. Неравновесная химическая кинетика и ее применение / Л.С. Полак. – М. : Изд-во "Наука", 1979. – 248 с.
2. Регель В.Р. Кинетическая природа прочности твердых тел / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томошевский. – М. : Изд-во "Наука", 1979. – 560 с.
3. Ратнер С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность? / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М. : Изд-во "Химия", 1992. – 320 с.
4. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе. ГОСТ 10635-88. – М. : Изд-во "Стандартгов", 1989. – 7 с.
5. Петров В.А. Физические основы прогнозирования долговечности конструкционных материалов / В.А. Петров, А.Я. Башкарев, В.И. Веттергень. – СПб. : Изд-во "Политехника", 1993. – 475 с.
6. Штиллер В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика : пер. с англ. / В. Штиллер. – М. : Изд-во "Мир". – 176 с.
7. Бартев Г.М. Физика и механика полимеров / Г.М. Бартев, Ю.В. Зеленеv. – М. : Изд-во "Высш. шк.", 1983. – 391 с.

8. Абаимов С.Г. Статистическая физика сложных систем: От фракталов до скейлингового поведения. – М. : Кн. дом "Либроком", 2013. – 392 с.
9. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур : пер. с англ. / И. Пригожин, Д. Кондепуди. – М. : Изд-во "Мир", 2009. – 461 с.
10. Bekhta P. (2007) Bending strength and modulus of elasticity of particleboards at various temperatures / P. Bekhta, R. Marutzky // Holz Roh-Werkst 65. – Pp. 163-165.
11. Bekhta P. (2009) Effect of relative humidity on some physical and mechanical properties of different types of fiberboard / P. Bekhta, P. Niemz // Eur. J. Wood Prod 67. – Pp. 339-349.
12. Кульман С.М. Нелінійні ефекти деформування і руйнування композиційних матеріалів на основі деревини / С.М. Кульман // Науковий вісник НУБіП України : зб. наук. праць. – Сер.: Лісівництво і декоративне садівництво. – К. : Вид-во НУБіП України. – 2011. – Вип. 164, ч. 1. – С. 250-255.

### **Кульман С.Н. Феноменологическая модель прочности композиционных материалов на основе древесины**

На основе методов формальной кинетики предложена феноменологическая модель прочности композиционных материалов на основе древесины. Показано, что многие модели формальной кинетики созданы на основе уравнения Аррениуса. На основании результатов предыдущих исследований прочности и долговечности установлено, что принцип суперпозиции, в первом приближении, может быть применен при создании феноменологической модели, которая учитывает влияние температуры и влажности на предел прочности и модуль упругости. Показано, что именно нелинейные эффекты в реакции твердых тел на внешние воздействия приводят к особенностям их деформирования и разрушения.

**Ключевые слова:** предел прочности, модуль упругости, долговечность, уравнение Аррениуса.

### **Kulman S.M. The Phenomenological Model of the Strength of Composite Materials Based on Wood**

Based on the methods of formal kinetics, a phenomenological model of strength composite materials based on wood is proposed. It has been shown that many of the formal kinetics models are based on the Arrhenius equation. Based on the results of the previous studies of strength and durability it is shown that the principle of superposition, to a first approximation, can be used in creating phenomenological model which accounts for the effect of temperature and humidity on the tensile strength and modulus of elasticity. Nonlinear effects in solids reaction to external influences are proved to lead to singularities of their deformation and fracture.

**Keywords:** tensile strength, elastic modulus, durability, composite material.

УДК 621.187:142

Пров. наук. співроб. Р.О. Навродська, канд. техн. наук –  
Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ

### **ЗАПОБІГАННЯ КОНДЕНСАТОУТВОРЕННЮ У ДИМОВИХ ТРУБАХ ЗА ЗНИЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО НАВАНТАЖЕННЯ КОТЕЛЕНЬ**

Проаналізовано тепловологісний стан у димових трубах комунальних котелень у разі застосування сучасних теплоутилізаційних технологій зі системами антикорозійного захисту газовідвідних трактів за умов зменшення відносно проектних теплових навантажень цих котелень. Наведено результати досліджень щодо використання у теплоутилізаційних схемах таких теплових методів запобігання конденсатуутворенню у газовідвідних трактах як: байпасування частини відхідних газів котла повз теплоутилізатор, підсушування охолоджених у теплоутилізаторі газів у поверхневому теплообміннику та теплоізоляція корпусу димової труби. Визначено безпечні для експлуатації димових труб різного типу режими роботи котелень та основні характеристики вказаних систем захисту.

**Ключові слова:** опалювальні котельні установки, теплоутилізація, димові труби різного типу, теплове навантаження, конденсатуутворення, системи теплового захисту.

**Вступ.** Проблема конденсації вологи у газовідвідних трактах котельних установок, що працюють на природному газі, виникає за зниження температури димових газів при стінці газовідвідного каналу нижче температури точки роси водяної пари. Найбільшу небезпеку впливу конденсату зазнає внутрішня поверхня газовідвідного ствола димової труби – останнього за ходом газів елемента котельної установки. Умови, що спричиняють конденсацію вологи у газовідвідному тракті і, зокрема в димовій трубі, можуть виникати як у традиційних котельних установках внаслідок відхилення режиму роботи від розрахункового зі зменшенням навантаження, так і в модернізованих котельних установках – з глибоким охолодженням димових газів у теплоутилізаторах [1-5].

Результати аналізу сучасного стану досліджень за цією проблематикою свідчать, що наявні дослідження щодо ефективності застосування методів запобігання корозійному руйнуванню димових труб зі застосуванням теплоутилізаційних технологій стосувались проектних режимів роботи опалювальних котелень. Тобто розглядали ті режими, що відповідали розрахунковим (максимальним) тепловим навантаженням котельні загалом, і які змінювались тільки залежно від кліматичних умов. Зниження теплового навантаження котельні призводить до зменшення відносно проектних значень витрати та температури відхідних газів і посилення процесів конденсатоутворення у димових трубах.

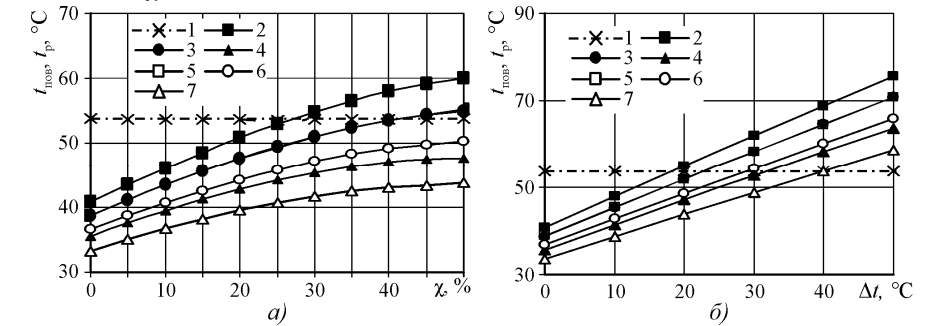
Ефективність застосування у теплоутилізаційних технологіях теплових методів запобігання конденсатоутворенню у газовідвідних трактах комунальних котелень істотно залежить від режимів їхньої експлуатації протягом опалювального періоду та від типу застосовуваних димових труб.

**Мета роботи** – проведення розрахункових досліджень стосовно виявлення впливу на основні показники систем теплового захисту димових труб від зміни проектного навантаження комунальних котелень у разі застосування теплоутилізаційних технологій з глибоким охолодженням відхідних димових газів.

**Основні результати.** Дослідження виконували для димових труб різного типу (цегляних, залізобетонних та металевих) зі застосуванням таких теплових методів запобігання конденсатоутворенню як: байпасування частини відхідних газів котла  $\chi$  повз теплоутилізатор, підсушування охолоджених у теплоутилізаторі газів внаслідок підігрівання їх на величину  $\Delta t$  у поверхневому теплообміннику і теплоізоляція корпусу димової труби. Під час проведення досліджень визначали в усті димових труб температури внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  та точки роси  $t_p$  за найвищої для опалювального періоду температури навколишнього середовища  $t_{nc}$ , яка відповідає найбільш сприятливим умовам для конденсації вологи і посиленням заходам щодо антикорозійного захисту димових труб. Відносне теплове навантаження котелень  $K$  змінювалось у діапазоні 100-40 %.

Для прикладу, на рис. 1, 2 наведено розрахункові тепловологісні характеристики в усті цегляної та залізобетонної з футеруванням димових труб в разі зміни теплового навантаження котелень і застосування одиночних методів – байпасування або підсушування відхідних газів. Як свідчать отримані дані, метод байпасування забезпечує відвернення конденсації вологи за зниження навантаження  $K$  до 60 % для цегляної димової труби за часток байпасування газів

повз теплоутилізатор  $\chi \leq 40$  %. Для залізобетонної труби використання вказаного методу обмежується значенням відносного навантаження  $K \leq 80$  % за таких же значень  $\chi \leq 40$  %.



**Рис. 1.** Залежність температури внутрішньої поверхні  $t_{нов}$  і точки роси  $t_p$  в усті димових труб різного типу від частки байпасування  $\chi$  (а) та від величини підсушування  $\Delta t$  (б) для різних значень навантажень котелень  $K$  за температури навколишнього середовища  $t_{nc} = 10$  °C: 2-4 – цегляна труба; 5-7 – залізобетонна з футеруванням; 1 –  $t_p$ ; 2, 5 –  $K = 80$  %; 3, 6 – 60 %; 4, 7 – 40 %

Результати аналізу ефективності застосування методу підсушування димових газів шляхом їхнього підігрівання у теплообміннику свідчать, що навіть у разі зниження теплового навантаження до 40 % може забезпечуватись відвернення випадіння вологи у трубі за високих рівнів підігрівання газів  $\Delta t$ : для цегляної димової труби  $\Delta t \leq 32$  °C, а для залізобетонної з футеруванням –  $\Delta t \leq 40$  °C. Підігрівання газів до високих значень  $\Delta t$  пов'язано з великими втратами теплоти, які можуть перевищувати 30 % теплопродуктивності теплоутилізатора.

Доречно зазначити, що вказані рівні байпасування  $\chi$  та підігрівання  $\Delta t$  зменшуються зі зниженням температури навколишнього середовища  $t_{nc}$  і, як показали дослідження, зокрема для залізобетонної з футеруванням димової труби за  $t_{nc} = 0$  °C  $\chi \approx 35$  % і  $\Delta t \approx 30$  °C, а за  $t_{nc} = -10$  °C  $\chi \approx 20$  % і  $\Delta t \approx 0$  °C.

Зниження теплових втрат на антикорозійний захист димових труб досягається внаслідок застосування комплексу теплових методів, наприклад, байпасування (або підсушування) з теплоізоляцією димової труби. Внутрішня теплоізоляція, зокрема, може здійснюватись шляхом футерування цеглою поверхні всередині існуючої труби чи розміщення в ній, з метою утворення повітряного прошарку, газовідвідного ствола меншого діаметра. На рис. 2 наведено результати досліджень щодо ефективності застосування у разі зменшення теплового навантаження котельні  $K$  методу байпасування газів у комплексі з потовщенням шару цегляного футерування (на 0,05 м) для залізобетонної без футерування димової труби або зі вставленням у цю трубу газовідвідного ствола. У разі застосування вставки її внутрішній діаметр повинен відповідати зменшенню витрати димових газів.

Результати проведених досліджень показали, що застосування розглянутого комплексу методів забезпечує відвернення конденсації вологи у цегляній та залізобетонній димових трубах шляхом байпасування (або підсушування)

газів навіть за низьких навантажень ( $K = 40\%$ ). При цьому, у разі додаткового футерування рівні підігрівання  $\Delta t$  у залізобетонній трубі (див. рис. 2) за  $K = 40\%$  не перевищують  $30\text{ }^\circ\text{C}$  та в разі вставки ствола –  $5\text{ }^\circ\text{C}$ . Таким чином, аналіз отриманих даних свідчить, що застосування вставки є ефективнішим заходом з погляду покращення теплоізоляційних властивостей корпусу димових труб.

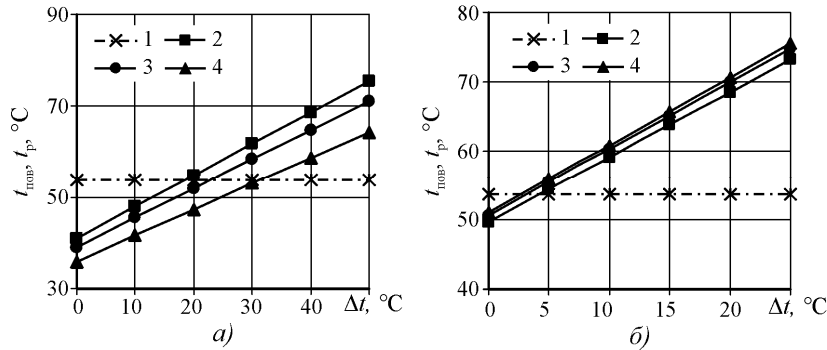


Рис. 2. Залежність температури внутрішньої поверхні  $t_{пов}$  і точки роси  $t_r$  в усій димовій трубі від частки байпасування  $\chi$  для різних значень навантажень котельні  $K$  за температури навколишнього середовища  $t_{nc} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ :

а) – залізобетонна з додатковим футеруванням;

б) – залізобетонна з металевою вставкою; 1 –  $t_r$ ; 2 –  $K = 80\%$ ; 3 –  $60\%$ ; 4 –  $40\%$

Щодо металевої та залізобетонної без футерування димових труб, то, як показали результати досліджень [5, 6], і під час проектних навантажень котельні доцільно застосовувати комплекс теплових методів. У разі зниження теплового навантаження  $K$  у цих трубах, потрібно або посилювати теплоізоляцію, або запроваджувати внутрішній металевий ствол. Характерні результати проведених досліджень щодо застосування комплексу теплових методів (підсушування та теплоізоляції) для запобігання конденсатоутворенню у металевій димовій трубі наведено на рис. 3.

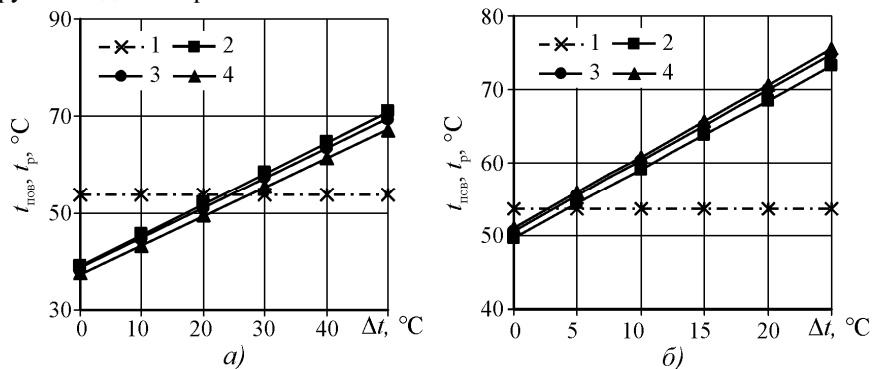


Рис. 3. Залежність температури внутрішньої поверхні  $t_{пов}$  і точки роси  $t_r$  в усій металевій димовій трубі від величини  $\Delta t$  для різних значень навантажень  $K$  за температури навколишнього середовища  $t_{nc} = 10\text{ }^\circ\text{C}$ : а) з зовнішньою теплоізоляцією; б) зі вставним газовідвідним стволом; 1 –  $t_r$ ; 2 –  $K = 80\%$ ; 3 –  $60\%$ ; 4 –  $40\%$

Як видно з результатів досліджень, максимальні значення  $\Delta t$  відповідають відносному навантаженню  $K = 40\%$  і становлять  $28$  та  $5\text{ }^\circ\text{C}$ , відповідно, для теплоізолюваної димової труби та труби зі вставним стволом. У разі вставного ствола його діаметр за  $K = 40\%$  був зменшений приблизно в  $1,5$  раза, порівняно із внутрішнім діаметром основної труби.

Рішення про застосування того чи іншого заходу щодо реконструкції димової труби з метою посилення теплоізоляційних властивостей її корпусу потрібно приймати з урахуванням технічної можливості та економічної доцільності у кожній конкретній ситуації.

**Висновки:**

1. Проведено дослідження тепловолігнісних режимів роботи димових труб різного типу за умов зміни теплового навантаження комунальних котельні при застосуванні теплоутилізаційних технологій з запобіганням конденсатоутворенню у газовідвідних трактах.
2. Визначено безпечні для експлуатації димових труб режими роботи котельні та основні характеристики систем антикорозійного захисту з використанням таких теплових методів як: байпасування частини відхідних димових газів котла повз теплоутилізатор, підсушування охолоджених в теплоутилізаторі газів у поверхневому теплообміннику та теплоізоляція корпусу димової труби.

**Література**

1. Долинский А.А. Основные принципы создания теплоутилизационных технологий для котельных малой теплоэнергетики / А.А. Долинский, Н.М. Фиалко, Р.А. Навродская, Г.А. Гнедаш // Промышленная теплотехника : сб. науч. тр. – 2014. – № 4. – С. 27-36.
2. Фиалко Н.М. Повышение эффективности котельных установок коммунальной теплоэнергетики путем комбинированного использования теплоты отходящих газов / Н.М. Фиалко, Р.А. Навродская, Г.А. Гнедаш, Г.А. Пресич, А.И. Степанова, Шевчук С.И. // Альтернативная энергетика и экология : междунар. науч. журнал. – 2014. – № 15. – С. 126-129.
3. Путрик С.Б. Расчет температурно-влажностного режима газоотводящего тракта с учетом уноса из теплоутилизаторов / С.Б. Путрик, А.П. Баскаков // Промышленная энергетика : сб. науч. тр. – 2006. – № 9. – С. 36-39.
4. Стриха И.И. Надежность работы дымовых труб / И.И. Стриха // Новости теплоснабжения : сб. науч. тр. – 2009. – № 3 (103). – С. 123-129.
5. Фиалко Н.М. Анализ эффективности теплообменного оборудования для обеспечения отсутствия конденсатообразования в газоотводящих трактах котельных / Н.М. Фиалко, Р.А. Навродская, Г.А. Пресич и др. // Проблемы промышленной теплотехники : тезисы V-ой Междунар. конф. – К. : Изд-во "Льбидь", 2007. – С. 171-172.
6. Фиалко Н.М. Тепловые методы защиты газоотводящих трактов котельных установок с глубоким охлаждением дымовых газов / Н.М. Фиалко, Р.А. Навродская, С.И. Шевчук, Г.А. Пресич, Г.А. Гнедаш, О.Ю. Глушак // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – Сер.: Технические и естественные науки. – 2014. – № 2(15). – С. 13-17. – С. 34-39.

**Навродская Р.А. Предотвращение конденсатообразования в дымовых трубах при снижении тепловой нагрузки котельных**

Проведен анализ тепловлажностного состояния в дымовых трубах коммунальных котельных при применении современных теплоутилизационных технологий с системами антикоррозийной защиты газоотводящих трактов в условиях снижения относительно проектных тепловых нагрузок этих котельных. Представлены результаты исследования по использованию в теплоутилизационных схемах таких тепловых методов предотвращения конденсатообразования в газоотводящих трактах как: байпасирование части отходящих газов котла мимо теплоутилизатора, подсушивание охлажденных в тепло-

утилизаторе газів в поверхновом 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 ляна 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 ляна 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	<i>K</i>
Поліакриловий водоемульсійний лак	<i>M</i>
Модифікована каніфоллю ляна олія	<i>N</i>

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

$$a_{ij} = d_i/d_j; i, j = 1, 2, \dots, n. \tag{1}$$

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

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

яке з урахуванням відношення (1) можна приведена до виразу

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

що відповідає скороченому векторному запису

$$Ad = nd. \tag{2}$$

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