

*Е.М. Гуліда, д-р техн. наук, професор
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПТИЧНОЇ ГУСТИНИ ДИМУ ВІД ОБ'ЄМУ ПРИМІЩЕННЯ, ВИДІВ ПОЖЕЖНОГО НАВАНТАЖЕННЯ, ФОРМИ ПЛОЩІ ПОЖЕЖІ ТА ЇЇ ТРИВАЛОСТІ

За основу при розгляді цього питання було прийнято залежність для визначення оптичної густини диму, отриману автором. Встановлено, що при зміні об'єму приміщення в розглянутому діапазоні оптична густина диму зменшується в середньому на 16%, а збільшення тривалості часу пожежі у три рази збільшує оптичну густину диму на 22%. Аналіз результатів досліджень показав, що при збільшенні значення димоутворюючої здатності речовин, які знаходяться в приміщенні, приблизно у 10 разів, оптична густина диму при пожежі також збільшується у 10 разів. Встановлено, що при круговій формі площі пожежі у порівнянні з кутвою 90° оптична густина диму зростає приблизно у 2 рази, а площа пожежі – у 4 рази. Зі збільшенням тривалості пожежі у внутрішній об'єм приміщення виділяється більша кількість газового середовища, яка містить найдрібніші тверді частинки діаметром 0,2...1 мкм, що впливають на оптичні властивості середовища. Внаслідок цього зростає оптична густина диму. Наприклад, при збільшенні тривалості пожежі від 300 с до 600 с, тобто у 2 рази, оптична густина диму зростає в 1,7 рази.

Ключові слова: об'єм приміщення оптична густина диму, пожежа, площа пожежі, газове середовище, пожежне навантаження.

Е.М. Hulida

DEPENDENCE OF THE SMOKE OPTICAL DENSITY ON THE ROOM DIMENSIONS, FIRE LOAD TYPES, FORMS OF FIRE AND ITS DURATION

As a basis, an addiction was adopted to determine the optical density of smoke that was obtained by the author. It was established that when changing the volume of space in the considered range, the optical density of smoke decreases by an average of 16%, while the increase in the duration of the fire three times increases the optical density of smoke by 22%. The analysis of the research results showed that when the value of the smoke-forming ability of the substances in the room is increased approximately in 10 times, the optical density of smoke during the fire also increases in 10 times. In case of the circular shape of the fire area in comparison with the 90° angle, the optical density of smoke is approximately twice as large, and the fire area – fourfold. With an increase in the duration of the fire a larger amount of smoke, containing the smallest solid particles with a diameter of 0.2 ... 1 microns, inflows to the interior of the room and causes the increasing of its optical density. For example, an increase in the duration of a fire from 300 s to 600 s (2 times), the optical density of smoke increases in 1.7 times.

Key words: space volume, optical density of smoke, fire, fire area, gas environment, fire load.

Постановка проблеми. Під час пожежі внаслідок процесів горіння виникають небезпечні чинники, які негативно впливають на життєдіяльність людей та нищать матеріальні цінності. Основними небезпечними чинниками пожежі є полум'я, від якого підвищується температура середовища, виділяються токсичні продукти горіння та розпаду, дим та знижується концентрація кисню. На початковому етапі виникнення пожежі основним заходом для забезпечення життєдіяльності людей, які опинилися в зоні пожежі, є їх евакуація. В перші хвилини процесу евакуації в межах критичного часу пожежі основною перешкодою для переміщення людей є задимленість приміщення. Наприклад, при оптичній густині диму $\rho = 2,27$ Нп/м гранична видимість становить приблизно $l_{zp} = 1$ м. При такій видимості процес евакуації дуже ускладнюється, особливо для людей похилого віку.

В технічній літературі, у нормативних документах і стандартах зовсім не наведено даних стосовно протікання процесу задимлення при пожежі у закритих приміщеннях. В опублікованих наукових роботах, наприклад, [1-3] наведено лише результати визначення оптичної густини диму, але не розглядаються питання, пов'язані з чинниками, що впливають на зміну оптичної густини диму. Тому є необхідність розглянути питання, пов'язані з розкриттям впливу об'єму приміщення, видів пожежного навантаження, форми площі пожежі та її тривалості на зміну оптичної густини диму.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Процесами димоутворення під час пожежі в закритих приміщеннях займалося багато вчених науково-дослідних інститутів та вищих навчальних закладів як в Україні, так і за кордоном. Перші дослідження процесу димоутворення в теоретичному плані щодо наростання небезпечних чинників пожежі у виробничих приміщеннях були здійснені Ю.А. Кошмаровим і В.В. Рубцовим [3, 4].

Одночасно у науково-дослідному інституті ВНДПО (Росія) були проведені експериментальні дослідження з метою визначення димоутворювальної здатності в процесі пожежі в закритих приміщеннях. За результатами цих досліджень був розроблений і впроваджений ГОСТ 12.1.004 – 91 [5].

В роботі [1] наведені теоретичні залежності, які дають можливість визначати значення оптичної густини диму при пожежі в закритому приміщенні залежно від дії чинників, що діють в середовищі пожежі. Результати цієї роботи дозволили в роботі [2] розглянути вплив різних матеріалів на динаміку оптичної густини диму під час пожежі в закритому приміщенні.

Стосовно інших закордонних досліджень можна відзначити роботу [6], в якій автори розробили лабораторний тест фотометричного вимірювання оптичної густини диму при горінні і тління різних будівельних матеріалів. Крім цього, для визначення оптичної густини диму, генерованого твердими матеріалами під час пожежі, використовується і стандартний метод випробування [7].

Аналізуючи наведені роботи можна зробити наступний висновок, що питаннями впливу об'єму приміщення, видів пожежного навантаження, форми площі пожежі та її тривалості на зміну оптичної густини диму практично не займалися і ці дані не наведені в технічній літературі.

Мета роботи. Визначити, наскільки впливає об'єм приміщення, види пожежного навантаження, форма площі пожежі та її тривалість на значення оптичної густини диму.

Викладення основного матеріалу. Для встановлення впливу чинників, які наведені в меті роботи, на значення оптичної густини диму скористаємося результатами досліджень роботи [1]. Значення оптичної густини диму визначаємо за залежністю

$$\mu = \frac{c_p \rho_0 T_0 D}{Q_{\min} \eta (1 - \varphi)} \left[1 - \exp \left(- \frac{\psi_n S_{II} \eta Q_{\min} (1 - \varphi) \tau}{c_p \rho_0 T_0 V} \right) \right], \text{ Нп} \cdot \text{м}^{-1}, \quad (1)$$

де $c_p \approx 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ – ізобарна теплоємність газового середовища в приміщенні; $\rho_0 \cdot T_0 \approx 3 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}$; D – димоутворююча здатність речовин, які розташовані в приміщенні і горять при пожежі, $\text{Нп} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}$; $\eta \approx 1$ – коефіцієнт повноти згоряння; $\varphi \approx 0,5$ – коефіцієнт тепловтрат [5]; ψ_n – питома швидкість вигорання, $\text{кг} / \text{м}^2 \cdot \text{с}$; S_{II} – площа пожежі, м^2 ; Q_{\min} – найнижча теплота згоряння, $\text{Дж} / \text{кг}$; V – внутрішній об'єм приміщення, м^3 ; τ – тривалість димовиділення, с.

Перед проведенням досліджень встановимо залежності для визначення площі пожежі в залежності від її форми. Крім цього, врахуємо зауваження стосовно розгляду часу тривалості димовиділення, а саме будемо розглядати цей час в межах критичного часу пожежі τ_k , який коливається в межах $\tau_k = 4 \dots 10 \text{ хв}$ ($240 \dots 600 \text{ с}$) [8]. При цьому необхідно врахувати те, що лінійна швидкість V_L розповсюдження полум'я за перші 10 хв пожежі приблизно у два рази менша за лінійну швидкість після 10 хв [9].

Найчастіше при пожежах у закритих приміщеннях спостерігаємо три основні форми площі пожежі: кругова; кутова 180°; кутова 90°. Для отримання залежності для площі пожежі скористаємося визначенням площі сектора

$$S_{II} = \frac{R^2 \alpha}{2}, \quad (2)$$

де R – радіус кола, м; α – величина центрального кута, рад.

Радіус кола при тривалості пожежі до $\tau = 600 \text{ с}$ визначають за залежністю

$$R = 0,5 V_L \tau,$$

де V_n – лінійна швидкість розповсюдження пожежі, м/с.

Тоді площа пожежі на підставі залежності (2) буде

$$S_{II} = 0,25V_n^2\tau^2\alpha, \quad (3)$$

де $\alpha = 3,14$ рад для кругової форми площі пожежі; $\alpha = 1,57$ рад для кутової 180°; $\alpha = 0,785$ рад для кутової 90°.

Значення Q_{\min} , ψ_n та V_n наведені в ГОСТ 12.1.004 – 91 (додаток 4) [5], а значення питомого димовиділення D , Нп·м²/кг – в монографії [8, додаток 2].

Для досліджень беремо такі вихідні дані: $Q_{\min} = 14000 \cdot 10^3$ Дж/кг (відповідає 90% пожеж); $\psi_n = 0,021$ кг/м²·с; $V = 100$ м³, 300 м³, 500 м³, 700 м³, 900 м³; $V_n = 0,022$ м/с (середньостатистичне значення); $\tau = 100$ с, 300 с, 360 с, 420 с, 480 с, 600 с; $D = 53$ Нп·м²/кг (приміщення з меблями і папером), 84,1 Нп·м²/кг (приміщення з меблями, дерево + облицювання); 129 Нп·м²/кг (приміщення – склад з верхнім одягом і тканинами), 521 Нп·м²/кг (кабельний підвал, кабелі АВВ1+АПВ1).

З метою спрощення досліджень удосконалимо залежність (1) шляхом введення до неї сталих вхідних даних та їх скорочення, що дасть змогу отримати залежність (1) виду

$$\mu = 0,043D \left[1 - \exp\left(-\frac{0,0027\alpha}{V} \tau^3\right) \right]. \quad (4)$$

На першому етапі дослідимо вплив об'єму приміщення V на зміну значення оптичної густини диму μ в процесі пожежі за таких умов: $D = 53$ Нп·м²/кг (відповідає 90% пожеж); $\tau = 100$ с та 300 с; пожежа має кутову (90°) форму площі $\alpha = 0,785$ рад. Об'єми приміщення змінювалися в межах $V = 100 \dots 900$ м³. Результати досліджень зображені на рис. 1.

Аналізуючи отримані результати можна зробити такі висновки. При зміні об'єму приміщення в розглянутому діапазоні оптична густина диму зменшується в середньому на 16%. Збільшення тривалості часу пожежі у три рази збільшує оптичну густина диму на 22%.

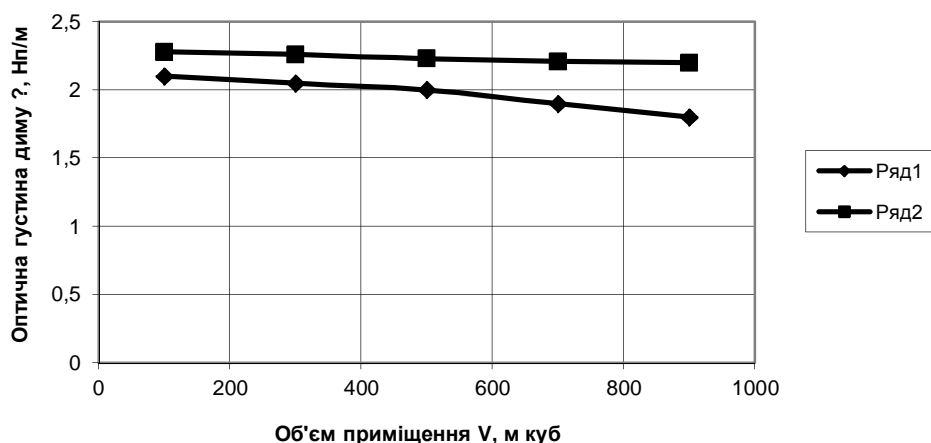


Рисунок 1 – Вплив об'єму приміщення на оптичну густина диму під час пожежі: ряд 1 – тривалість пожежі $\tau = 100$ с; ряд 2 – тривалість пожежі $\tau = 300$ с

На другому етапі проведемо дослідження впливу видів пожежного навантаження на зміну оптичної густини диму μ в процесі пожежі. Дослідження проводили за умов: $\tau = 100$ с; $V = 900$ м³; пожежа має кутову (90°) форму площі $\alpha = 0,785$ рад. Залежно від виду пожежного навантаження димоутворююча здатність речовин, які розташовані у приміщенні змінювалася в межах $D = 53 \dots 521$ Нп·м²/кг. Результати досліджень зображені на рис. 2.

Аналіз результатів досліджень показав, що при збільшенні значення димоутворюючої здатності речовин, які розташовані у приміщенні, приблизно у 10 разів, оптична густина диму при пожежі також збільшується у 10 разів.

На третьому етапі розглянемо вплив форми площі пожежі на зміну оптичної густини диму ρ в процесі пожежі. Для цього скористаємося приміщенням опоряджувально -

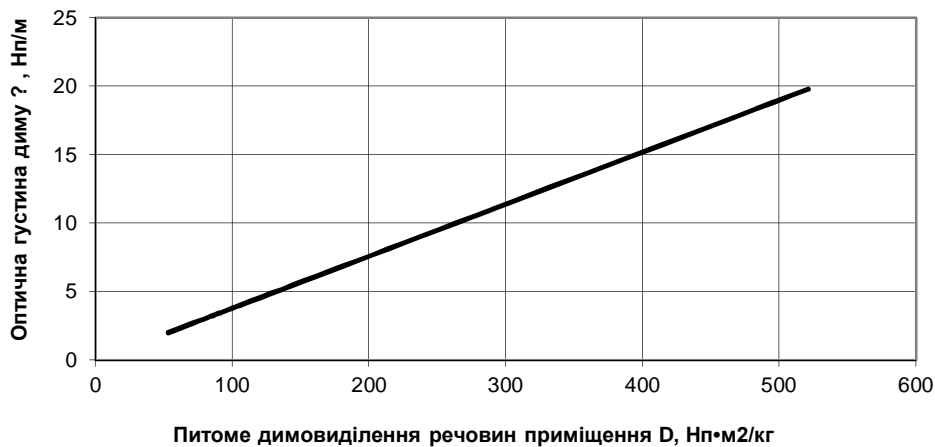


Рисунок 2 – Вплив видів пожежного навантаження на оптичну густину диму під час пожежі: $D = 53 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$ (приміщення з меблями і папером); $D = 84,1 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$ (приміщення з меблями, дерево + облицювання); $D = 129 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$ (приміщення – склад з верхнім одягом і тканиною); $D = 521 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$ (кабельний тунель, кабелі АBB1+АПВ1); пожежа кутова 90°; $\tau = 100 \text{ с}$; $V=900 \text{ м}^3$

складального цеху (м. Самбір, Львівської області, вул. Чорновола, 36) із загальним внутрішнім об'ємом $V = 85536 \text{ м}^3$ [10]. Досліджувалися кругова (360°) і кутові (180° і 90°) форми пожежі за умов: $D = 53 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$; $\tau = 300 \text{ с}$. За результатами досліджень побудуємо графічну залежність (рис. 3).

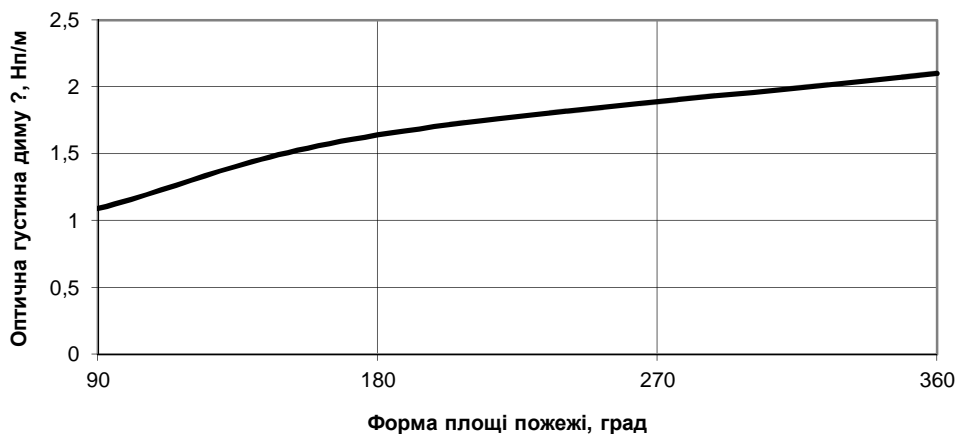


Рисунок 3 – Вплив форми площі пожежі на оптичну густину диму $D = 53 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$; $\tau = 300 \text{ с}$; $V = 85536 \text{ м}^3$

Встановлено, що при круговій формі площі пожежі порівняно з кутовою 90° оптична густина диму зростає приблизно у 2 рази, а площа пожежі – у 4 рази. Це можна пояснити тим, що за один і той же час пожежі оптичні властивості середовища приміщення характеризуються головним чином середньооб'ємною оптичною густиною диму.

На четвертому етапі виконуємо дослідження для встановлення впливу тривалості пожежі на зміну оптичної густини диму ρ в процесі пожежі. Для цього також скористаємося приміщенням опоряджувально-складального цеху із загальним внутрішнім об'ємом $V = 85536 \text{ м}^3$. Дослідження проводили за умов: $\tau = 100\dots600 \text{ с}$; $V = 85536 \text{ м}^3$; площа пожежі має кутову (90°) форму $\alpha = 0,785 \text{ рад}$; $D = 53 \text{ Нп}\cdot\text{м}^2/\text{кг}$. Результати досліджень зображені на рис. 4.

На підставі отриманих результатів можна зробити такі висновки. Зі збільшенням тривалості пожежі у внутрішній об'єм приміщення виділяється більша кількість газового середовища, яка містить найдрібніші тверді частинки діаметром 0,2...1 мкм, що впливають на оптичні властивості середовища. Внаслідок цього зростає оптична густина диму. Наприклад, при збільшенні тривалості пожежі від 300 с до 600 с, тобто у 2 рази, оптична густина диму зростає в 1,7 рази.

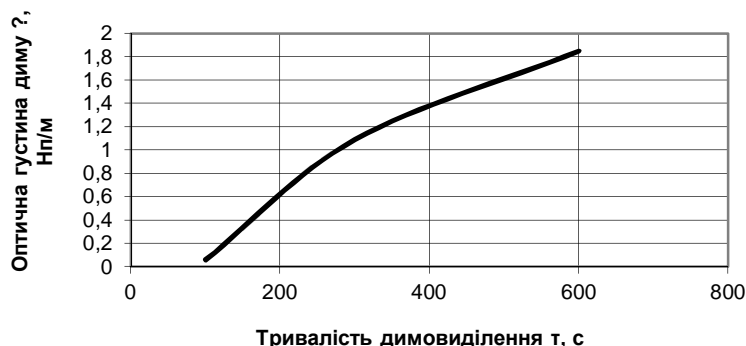


Рисунок 4 – Вплив тривалості димовиділення на оптичну густина диму під час пожежі:
 $D = 53 \text{ Нп}\cdot\text{м/кг}$; $V = 85536 \text{ м}^3$; пожежа кутова 90°

Для визначення граничної видимості в диму l_{ep} за допомогою середньооб'ємної оптичної густини диму ρ користуються співвідношенням [5]

$$l_{ep} = \frac{2,38}{\mu}, \text{ м.} \quad (5)$$

Висновки

1. Розглянуто вплив об'єму приміщення, видів пожежного навантаження, форми площі пожежі та її тривалості на зміну оптичної густини диму в процесі пожежі. Результати дослідження дали змогу встановити зміну оптичної густини диму на початковій стадії пожежі, що може використовуватися при виконанні процесу евакуації людей із зони пожежі упродовж її критичного часу.

2. При зміні об'єму приміщення від 100 м^3 до 900 м^3 оптична густина диму зменшується в середньому на 16%. Тому в процесі виникнення і поширення пожежі для зменшення оптичної густини диму необхідно збільшувати об'єм приміщення шляхом відкривання перехідних систем до сусідніх приміщень, а також шляхом відкривання вікон для виходу диму до зовнішнього середовища.

3. Для зменшення тривалості пожежі, тобто для її вчасної ліквідації, необхідно приміщення обладнувати системою протипожежного захисту, яка б мала зв'язок із диспетчерською службою ДСНС за місцем знаходження об'єкта захисту.

Список літератури:

1. Гуліда Е.М. Прогнозування величини оптичної густини диму при пожежі в приміщенні. / Е.М. Гуліда. // Пожежна безпека № 18, 2011. – С. 65-70.
2. Гуліда Е.М. Вплив різних видів пожежного навантаження на димовиділення та на пониження концентрації кисню при пожежі в закритому приміщенні. / Е.М. Гуліда. // Пожежна безпека № 24, 2014. – С. 65-73.
3. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. / Ю.А. Кошмаров. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
4. Кошмаров Ю.А. Процессы наращивания ОФП в производственных помещениях и расчет критической продолжительности пожара. / Ю.А. Кошмаров, В.В. Рубцов. – М.: МИПБ МВД России, 1998. – 90 с.

5. ГОСТ 12.1.004 – 91. Пожарная безопасность. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 31 с.
6. Gross D., Loftus J. J., Robertson A. F. Method for Measuring Smoke from Burning Materials. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire60/PDF>.
7. ASTM-E662-15; ASTM-E-662-15. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://cds.cern.ch/record/2210225>.
8. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.
9. Иванников В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
10. Гуліда Е.М. Забезпечення пожежної безпеки та ліквідація пожеж на деревообробних підприємствах: монографія. / Е.М. Гуліда, О.М. Коваль. – Львів: ПАІС, 2017. – 272 с.

References:

1. Hulida E.M. Forecasting of the optical density of smoke during a fire in the room. / E.M. Hulida // Fire safety № 18, 2011. – P. 65-70.
2. Hulida E.M. Influence of different kinds of fire load on the chimney and on the decrease of oxygen concentration in a fire in a closed room. / E.M. Hulida // Fire safety № 24, 2014. – P. 65-73.
3. Koshmarov Yu.A. Forecasting of dangerous fire factors in the room. / Yu.A. Nightmare. – М.: Academy of the State Fire Service of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000. – 118 p.
4. Koshmarov Yu.A. Processes of building up OPP in production facilities and calculating the critical duration of a fire. / Yu.A. Koshmarov, V.V. Rubtsov. – Moscow: MIPB of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 1998. – 90 p.
5. GOST 12.1.004 – 91. Fire safety. – М.: Publishing house of standards, 1991. – 31 p.
6. Gross D., Loftus J. J., Robertson A. F. Method for Measuring Smoke from Burning Materials. [Electronic resource]. – Access mode: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire60/PDF>.
7. ASTM-E662-15; ASTM-E-662-15. Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials. [Electronic resource]. – Access mode: <http://cds.cern.ch/record/2210225>.
8. Pusach SV Methods of calculation of heat and mass exchange during a fire in a room and their application in solving practical problems of fire and explosion safety. – Moscow: Academy of State Police of the Ministry of Emergencies of Russia, 2005. – 336 p.
9. Ivanikov VP Directory of fire extinguishing director / VP Ivannikov, P.P. The key – Moscow: Stroyizdat, 1987. – 288 p.
10. Hulida E.M. Providing fire safety and eliminating fires at woodworking enterprises: a monograph. / E.M. Hulida, O.M. Koval. – Lviv: PAIS, 2017. – 272 p.

