

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ  
Національний університет цивільного захисту України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**Золкіна Євгенія Сергіївна**

УДК 614.8

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ  
МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ВОГНЕЗАХИСНИХ  
ІНТУМЕСЦЕНТНИХ ПОКРИТТІВ**

Спеціальність – 261 «Пожежна безпека»

Галузь знань – 26 «Цивільна безпека»

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

\_\_\_\_\_ Євгенія ЗОЛКІНА

Науковий керівник: **Григоренко Олександр Миколайович**,  
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри  
пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій  
Національного університету цивільного захисту України

Харків – 2021

## АНОТАЦІЯ

Золкіна Є.С. Підвищення ефективності протипожежного захисту металевих конструкцій за допомогою вогнезахисних інтумесцентних покриттів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 261 «Пожежна безпека». – Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливого науково-практичного завдання у галузі пожежної безпеки – розробці реактивних вогнезахисних покриттів з покращеними експлуатаційними властивостями, що спучуються під дією високих температур (інтумесцентних покриттів) для будівельних металевих конструкцій.

У ВСТУПІ подано загальну характеристику дисертаційної роботи.

Обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету роботи та основні завдання дослідження, показано зв'язок роботи з науковими програмами. Наведено дані про особистий внесок здобувача, апробацію роботи та публікації.

У першому розділі СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ВОГНЕЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ проведений аналіз наукової літератури України та світу з питань застосування інтумесцентних вогнезахисних покриттів для вогнезахисту металевих будівельних конструкцій. Визначені найбільш перспективні складові вогнезахисних покриттів, що використовуються в сучасних вітчизняних та європейських реактивних покриттях. Проаналізовані недоліки експлуатаційних властивостей існуючих вогнезахисних покриттів. Виконано аналітичний огляд сучасного стану проблеми розробок інтумесцентних вогнезахисних покриттів на основі різних плівкоутворювачів, зокрема на основі епоксиполімерів.

У другому розділі МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ визначено матеріали та методи для проведення наукових досліджень

спрямованих на розробку інтумесцентного покриття з покращеними експлуатаційними властивостями. У якості критерію вогнезахисної ефективності покриттів обрано лінійний коефіцієнт спучення  $K_L$ , що вимірювали згідно методики ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. Для порівняльної оцінки вогнезахисної ефективності запропоновано використовувати час прогрівання до критичної температури ( $500^\circ\text{C}$ ) зразка металеві пластини, що захищена досліджуванним вогнезахисним покриттям.

У третьому розділі ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СКЛАДУ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ПОКРИТТЯ НА ЙОГО ВЛАСТИВОСТІ на основі експерименту здійснено порівняння експлуатаційних характеристик ІВП, що відрізняються природою плівкоутворювача.

Проведено експериментальні дослідження залежності характеристик та структури спіненого коксового шару від складу інтумесцентної композиції. Визначено ряд компонентів, що забезпечують стійкість пінококсового шару, його інтумесцентну здатність та залежність кратності спучування, втрати маси від вмісту компонентів інтумесцентної системи та температури випробувань.

Побудовано розширену матрицю планування експерименту для реалізації ортогонального центрального композиційного плану другого порядку та на його основі після проведення експерименту отримано рівняння регресії, що описують залежність лінійного коефіцієнту спучення  $K_L$  від вмісту компонентів інтумесцентної композиції на основі епоксидного олігомеру для систем із різними наповнювачами. За рівняннями регресії побудовані поверхні відгуку, що описують залежність лінійного коефіцієнта спучення  $K_L$  інтумесцентних композицій з різними системами – поліфосфат амонію: пентаеритрит: терморзширюваний графіт (ПФА: ПЕ: ТГ) (композиція ППГ), поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: терморзширюваний графіт (ПФА:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ : ТГ) (композиція ПАГ), поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: колоїдний діоксид кремнію (ПФА:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ : аеросил) (композиція ПАА).

У четвертому розділі РОЗРОБКА СКЛАДУ ІНТУМЕСЦЕНТНОГО ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ проведено оптимізацію вогнезахисних складів систем ППГ, ПАГ та ПАА за лінійним коефіцієнтом спучення. Визначено оптимальний вміст компонентів указаних систем.

Визначено раціональний за лінійним коефіцієнтом спучення вміст компонентів ПФА,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  та ТГ у епоксиполімері системи ПАГ, що дозволяє отримати інтумесцентне вогнезахисне покриття ПАГ-2 з високим показником кратності спучення ( $K_{\text{л}} = 64$ ), зниженим рівнем горючості ( $K_{\text{І}} = 33 \%$ ) та покращеними експлуатаційними властивостями – адгезійною міцністю до сталі марки Ст.3 ( $\sigma_{\text{відр.}} = 6,7 \text{ МПа}$ ), водостійкістю ( $\Delta m_{\text{в}} = 4,1 \%$ ), стійкістю до дії 10%-го розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\Delta m_{\text{к}} = 4,7 \%$ ) та стійкістю до дії 10%-го розчину  $\text{NaOH}$  ( $\Delta m_{\text{л}} = 4,4 \%$ ), – що в 16,7, 2, 2,8 та 2,5 рази більше за такі ж показники відповідно для сертифікованої вогнезахисної фарби на водній основі.

Встановлено, що використання з метою вогнезахисту розробленого покриття ПАГ-2 дозволяє забезпечити захист від прогрівання металевієї пластини до температури  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  впродовж 36,4 хв. Ефективність вогнезахисту металу покриттям на епоксидній основі ПАГ-2, оцінена шляхом порівняння часу прогрівання металевієї пластини, у 1,3 рази вище за відомі аналоги на епоксидній основі та в 1,6 разів вище за ІВП на водній основі.

Розроблено принципову технологічну схему виробництва інтумесцентного вогнезахисного покриття ПАГ-2.

Проведено розрахунок собівартості виготовлення 1 т покриття. Встановлено, що покриття ПАГ-2 має на 8,5 % меншу роздрібну вартість у порівнянні із закордонним аналогом.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

Досліджено залежність кратності спучення (за лінійним коефіцієнтом спучення) епоксиполімерів, наповнених поліфосфатом амонію та бінарними сумішами поліфосфату амонію з гідроксидом алюмінію, десятиводним тетраборатом натрію, оксидом титану (IV), пентаеритритом, аеросилом і

терморозширюваним графітом за температур випробування 350°C, 400°C 450°C.

Вперше отримано математичні моделі, що описують залежність лінійного коефіцієнта спучення вогнезахисних покриттів на основі епоксиолімерів наповнених системами поліфосфат амонію: пентаеритрит: терморзширюваний графіт (ПФА: ПЕ: ТГ), поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: терморзширюваний графіт (ПФА: Al(OH)<sub>3</sub>: ТГ), поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: колоїдний діоксид кремнію (ПФА: Al(OH)<sub>3</sub>: аеросил).

Вперше для системи поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: терморзширюваний графіт встановлений раціональний вміст компонентів, що дозволяє отримати інтумесцентне вогнезахисне покриття з високим показником кратності спучення ( $K_L = 64$ ), зниженим рівнем горючості ( $KI = 33\%$ ) та покращеними у порівнянні з сертифікованими в Україні вогнезахисними покриттями експлуатаційними властивостями.

Подальшого розвитку отримали експериментальні дослідження спрямовані на розробку інтумесцентних вогнезахисних покриттів на основі епоксиолімерів.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- отримані математичні моделі, дозволяють прогнозувати кратність спучення покриттів на основі епоксиолімерів в залежності від співвідношення між компонентами систем: поліфосфат амонію: пентаеритрит: терморзширюваний графіт (ПФА: ПЕ: ТГ), поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: терморзширюваний графіт (ПФА: Al(OH)<sub>3</sub>: ТГ), поліфосфат амонію: гідроксид алюмінію: колоїдний діоксид кремнію (ПФА: Al(OH)<sub>3</sub>: аеросил);
- розроблене інтумесцентне вогнезахисне покриття ПАГ-2 за ефективністю вогнезахисту металу у 1,3 рази вище за відомі аналоги та в 1,6 разів вище за ІВП на водній основі та має покращені експлуатаційні

властивості – адгезійну міцність до сталі марки Ст.3 ( $\sigma_{\text{відр.}} = 6,7$  МПа), водостійкість ( $\Delta m_{\text{в}} = 4,1$  %), стійкість до дії 10%-го розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\Delta m_{\text{к}} = 4,7$  %) та стійкість до дії 10%-го розчину  $\text{NaOH}$  ( $\Delta m_{\text{л}} = 4,4$  %), – що в 16,7, 2, 2,8 та 2,5 рази більше за такі ж показники відповідно для сертифікованої вогнезахисної фарби на водній основі;

- результати роботи впроваджено на підприємстві ТОВ «НВП «Біонік Хаус» (м. Київ та у навчальному процесі Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисципліни «Стійкість будівель і споруд при пожежі» (тема 1.3. «Нормування вогнестійкості будівельних конструкцій») циклу професійної підготовки за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти галузь знань 26 «Цивільна безпека», спеціальність – 261 «Пожежна безпека» за освітньо-професійними програмами: «Пожежна безпека», «Аудит пожежної та техногенної безпеки», «Пожежогасіння та аварійно-рятувальні роботи».

**Ключові слова:** епоксиполімер, вогнезахист, кратність спучення, математична модель, поліфосфат амонію, гідроксид алюмінію, терморозширюваний графіт, адгезія.

#### **Список опублікованих праць за темою дисертації:**

**Статті у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз:**

1. Золкіна Є.С. Дослідження спучування вогнезахисних епоксиамінних покриттів, модифікованих металовмісними добавками / О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна // Проблемы пожарной безопасности. – 2018. – Вып. 43. – С. 31-37.

2. Золкіна Є.С. Дослідження впливу зміни термомеханічних властивостей на спучування вогнезахисних епоксиамінних покриттів / О.М. Григоренко, О.П. Михайлюк, Є.С. Золкіна // Проблемы пожарной безопасности. – 2018. – Вып. 44. – С. 15-19.

3. Золкіна Є.С. Дослідження залежності кратності спучення епоксиполімеру від вмісту поліфосфату амонію, пентаеритриту та інтеркальованого графіту / О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна // Проблемы пожарной безопасности. – 2020. – Вып. 48. – С. 30-36.

4. Hryhorenko, O., & Zolkina, Y. (2021). Development and optimization of fire-protective coating composition based on epoxy polymers. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(3(60)), 18–20.

**Статті у наукових журналах країн Євросоюзу, що входить до бази даних Scopus:**

5. O Hryhorenko, Ye Zolkina, N Saienko, Y Popov and R Bikov. Investigation of adhesive-strength characteristics of fire-retardant epoxy polymers modified with metal-containing additives. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Volume 907, Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020) 21-22 May 2020, Kharkiv, Ukraine.

6. O Hryhorenko, Ye Zolkina, N Saienko, Yu Popov. Investigation of the Effect of Fillers on the Properties of the Expanded Coke Layer of Epoxyamine Compositions. *IOP Conference Series: Problems of Emergency Situations: Materials and Technologies II*, ISSN: 1662-9752, Vol. 1038, pp 539-546.

**Тези доповідей, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

7. Золкіна Є.С. Методи підвищення ефективності протипожежного захисту металевих конструкцій / О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Пожежна безпека: проблеми та перспективи», м. Харків, 1-2 березня 2018 р. – Харків, 2018. – С.163-164.

8. Золкіна Є.С. Дослідження впливу природи та вмісту металовмісних добавок на спучування вогнезахисних епоксидних покриттів / О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна // Матеріали 20-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку». м. Київ, 9-10 жовтня 2018 року. – Київ, 2018. – С. 144-145.

9. Золкіна Є.С. Дослідження впливу металовмісних добавок на спучування вогнезахисних епоксиполімерів / О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна // Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій», м. Черкаси, 18-19 травня 2018 р. – Черкаси, 2018. – С.160-162.

10. Григоренко О.М., Золкіна Є.С. Дослідження взаємозалежності кратності спучування та термомеханічних властивостей вогнезахисних епоксиамінних покриттів. Запобігання надзвичайним ситуаціям і їх ліквідація: матеріали наук.-практ. семінару, 21 лют. 2019 р. Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2019. С. 46–48.

11. Саєнко Н.В., Попов Ю.В., Биков Р.О., Григоренко О.М., Золкіна Є.С. Дослідження адгезійно-міцнісних характеристик вогнезахисних епоксиполімерів модифікованих металовмісними добавками. Інноваційні технології в архітектурі і дизайні: тези доповідей ІV міжнародної науково-практичної конференції, 21-22 травня 2020 р. Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2020. С. 173–175.

12. Золкіна Є.С. Дослідження впливу наповнювачів на властивості спученого коксового шару епоксиамінних композицій /О.М. Григоренко, Є.С. Золкіна, Ю.В. Попов, Н.В. Саєнко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми надзвичайних ситуацій». м.Харків , 20 травня 2021 року – Харків, 2021 – С. 28-30.



## SUMMARY

Zolkina Ye.S. Improving the effectiveness of fire protection of metal structures with fire-retardant intumescent coatings.

Thesis for a PhD in speciality 261 «Fire Safety». National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of an important scientific and practical task in the field of fire safety - the development of reactive fire-retardant coatings with improved performance properties that swell under the action of high temperatures (intumescent coatings) for building metal structures.

The INTRODUCTION presents a general description of the dissertation.

The relevance of the dissertation topic is substantiated, the purpose of the work and the main tasks of the research are formulated, the connection of work with scientific programs is shown. Data on the applicant's personal contribution, approbation of work and publication are given.

In the first section THE CURRENT STATE OF THE PROBLEM OF FIRE PROTECTION OF BUILDING STRUCTURES the analysis of scientific literary sources of Ukraine and the world concerning application of intumescent fire-retardant coverings for fire-protection of metal building constructions is carried out. The most promising components of fire-retardant coatings used in modern domestic and European jet coatings are identified. The shortcomings of the operational properties of the existing fire-retardant coatings are analyzed. An analytical review of the current state of the problem of development of intumescent fire-retardant coatings based on various film formers, in particular on the basis of epoxy polymers.

The second section, MATERIALS AND RESEARCH METHODS, identifies materials and methods for conducting research aimed at developing an intumescent coating with improved performance properties. As a criterion of fire-retardant efficiency of coatings the linear coefficient of swelling of  $K_L$  which was measured according to a technique DSTU-N-P B B.1.1-29: 2010 is chosen. For comparative evaluation of fire protection efficiency, it is proposed to use the heating time to the

critical temperature (500 ° C) of the sample of the metal plate, which is protected by the investigated fire protection coating.

In the third section INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF THE COMPOSITION OF INTUMESCENT COATING ON ITS PROPERTIES of the product on the basis of experiment the comparison of operational characteristics of the IFPC is carried out.

Experimental studies of the dependence of the characteristics and structure of the foamed coke layer on the composition of the intumescent composition. A number of components that ensure the stability of the foam coke layer, its intumescent ability and the dependence of the swelling ratio, weight loss on the content of components of the intumescent system and the test temperature are determined.

An extended planning matrix of the experiment for the implementation of an orthogonal central composite plan of the second order is constructed and on its basis after the experiment regression equations are obtained describing the dependence of the linear coefficient of  $K_L$  swelling on the content of epoxy oligomer-based intumescent composition for systems with different fillers. According to the regression equations, the response surfaces describing the dependence of the linear coefficient of swelling of  $K_L$  intumescent compositions with different systems are constructed - ammonium polyphosphate: pentaerythritol: thermally expandable graphite (APP: PE: EG) (PPG composition), ammonium hydrophosphate: aluminum hydroxide: thermally expandable graphite (APP: Al(OH)<sub>3</sub>: EG) (PAG composition), ammonium polyphosphate: aluminum hydroxide: colloidal silicon dioxide (APP: Al (OH)<sub>3</sub>: aerosil) (PAA composition).

In the fourth section DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF INTUMESCENT FIRE PROTECTION COATING optimization of fire protection compositions of PPG, PAG and PAA systems according to the linear coefficient of swelling is carried out. The optimal content of components of the specified systems is defined.

The rational content of APP, Al (OH)<sub>3</sub> and EG components in the epoxy polymer of the PAG system was determined by the linear coefficient of swelling,

which allows to obtain an intumescent fire-retardant coating PAG-2 with a high rate of swelling ( $K_L = 64$ ), low flammability ( $OI = 33\%$ ). performance properties - adhesive strength to steel grade St.3 ( $\sigma_{br} = 6.7$  MPa), water resistance ( $\Delta m_w = 4.1\%$ ), resistance to 10%  $H_2SO_4$  solution ( $\Delta m_{ac} = 4.7\%$ ) and resistance to 10% NaOH solution ( $\Delta m_{al} = 4.4\%$ ), which is 16.7, 2, 2.8 and 2.5 times more than the same indicators, respectively, for certified water-based flame retardant paint.

It is established that the use of the developed coating PAG-2 for fire protection allows to provide protection against heating of the metal plate to a temperature of 500 ° C for 36.4 minutes. The efficiency of fire protection of metal with epoxy-based coating PAG-2, evaluated by comparing the heating time of the metal plate, is 1.3 times higher than known epoxy-based analogues and 1.6 times higher than water-based IVP.

The basic technological scheme of production of intumescent fire-retardant coating PAG-2 is developed.

The calculation of the cost of manufacturing 1 ton of coating. It was found that the coating of PAG-2 has an 8.5% lower retail cost compared to its foreign counterpart.

### **Scientific novelty of the obtained results.**

The dependence of the multiplicity of swelling (by the linear coefficient of swelling) of epoxy polymers filled with ammonium polyphosphate and binary mixtures of ammonium polyphosphate with aluminum hydroxide, sodium tetraborate, titanium oxide (IV), pentaerythritol, and thermally expanded graphite at test temperatures of 350 ° C, 400 ° C and 450 ° C.

For the first time, mathematical models were obtained describing the dependence of the linear coefficient of swelling of fire-retardant coatings based on epoxy polymers filled with systems – ammonium polyphosphate : pentaerythritol: thermally expandable graphite (APP: PE: EG), ammonium polyphosphate: aluminum hydroxide: thermally expandable graphite (APP: Al (OH)<sub>3</sub>: EG), ammonium polyphosphate: aluminum hydroxide: colloidal silicon dioxide (APP: Al (OH)<sub>3</sub>: Aerosil).

For the first time for the system ammonium polyphosphate: aluminum hydroxide: thermoexpandable graphite installed a rational content of components, which allows to obtain an intumescent fire-retardant coating with a high rate of swelling ( $K_L = 64$ ), low flammability ( $OI = 33\%$ ) and improved in comparison with fire-retardant coatings performance properties.

Experimental studies aimed at developing intumescent fire-retardant coatings based on epoxy polymers were further developed.

#### **Practical significance of the obtained results:**

- the obtained mathematical models allow to predict the multiplicity of swelling of epoxy-polymer-based coatings depending on the ratio between the components of the systems— ammonium polyphosphate : pentaerythritol: thermally expandable graphite (APP: PE: EG), ammonium polyphosphate: aluminum hydroxide: thermally expandable graphite (APP: Al (OH)<sub>3</sub>: EG), ammonium polyphosphate: aluminum hydroxide: colloidal silicon dioxide (APP: Al (OH)<sub>3</sub>: Aerosil);

- developed intumescent fire-retardant coating PAG-2 on the efficiency of metal fire protection 1.3 times higher than known analogues and 1.6 times higher than water-based IFPC and has improved performance properties - adhesive strength to steel grade St.3 ( $\sigma_{br} = 6.7$  MPa), water resistance ( $\Delta m_w = 4.1\%$ ), resistance to 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution ( $\Delta m_{ac} = 4.7\%$ ) and resistance to 10% NaOH solution ( $\Delta m_{al} = 4.4\%$ ), which is 16.7, 2, 2.8 and 2.5 times more than the same indicators, respectively, for certified water-based fire retardant paint;

- the results of the work were implemented at the enterprise LLC «RPE «Bionic House» (Kyiv) and in the educational process of the National University of Civil Defense of Ukraine in the study of the discipline «Stability of buildings and structures in case of fire» (topic 1.3. training at the first (bachelor's) level of higher education field of knowledge 26 «Civil Safety», specialty - 261 «Fire Safety» for educational and professional programs: «Fire Safety», «Audit of fire and technogenic safety», «Firefighting and rescue operations».

Key words: epoxy polymer, fire protection, swelling ratio, mathematical model, ammonium polyphosphate, aluminum hydroxide, thermoexpandable graphite, adhesion.

### **List of publications of the applicant**

**Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:**

**Articles in the scientific professional editions of Ukraine, which are included in the international scientometric bases:**

1. Zolkina Ye.S. Investigation of swelling of fire-retardant epoxyamine coatings modified with metal-containing additives / O.M. Hryhorenko, Ye.S. Zolkina // Problems of fire safety. – 2018. – Issue. 43. – P. 31-37.

2. Zolkina Ye.S. Investigation of the influence of changes in thermomechanical properties on swelling of fire-retardant epoxyamine coatings / O.M. Hryhorenko, O.P. Mikhailyuk, Ye.S. Zolkin // Problems of fire safety. – 2018. – Issue. 44. – P. 15-19.

3. Zolkina Ye.S. Investigation of the dependence of the swelling rate of epoxy polymer on the content of ammonium polyphosphate, pentaerythritol and intercalated graphite / O.M. Hryhorenko, Ye.S. Zolkina // Problems of fire safety. – 2020. – Issue. 48. – P. 30-36.

4. Hryhorenko, O., & Zolkina, Ye. (2021). Development and optimization of fire-protective coating composition based on epoxy polymers. Technology Audit and Production Reserves, 4 (3 (60)), 18-20.

**Article in the scientific edition of the EU country which included in the Scopus database:**

5. O. Hryhorenko, Ye. Zolkina, N. Saienko, Y. Popov and R. Bikov. Investigation of adhesive-strength characteristics of fire-retardant epoxy polymers modified with metal-containing additives. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 907, Innovative Technology in Architecture and Design (ITAD 2020) 21-22 May 2020, Kharkiv, Ukraine.

6. O. Hryhorenko, Ye. Zolkina, N. Saienko, Yu. Popov. Investigation of the Effect of Fillers on the Properties of the Expanded Coke Layer of Epoxyamine Compositions. IOP Conference Series: Problems of Emergency Situations: Materials and Technologies II, ISSN: 1662-9752, Vol. 1038, pp. 539-546.

**Abstracts of reports that certify the approbation of the dissertation materials:**

7. Zolkina Ye.S. Methods of increasing the effectiveness of fire protection of metal structures / O.M. Hryhorenko, Ye.S. Zolkina // Collection of abstracts of the All-Ukrainian scientific-practical conference «Fire safety: problems and prospects», Kharkiv, March 1-2, 2018. – Kharkiv, 2018. – P.163-164.

8. Zolkina Ye.S. Investigation of the influence of nature and content of metal-containing additives on swelling of fire-retardant epoxyamine coatings / O.M. Hryhorenko, Ye.S. Zolkina // Proceedings of the 20th All-Ukrainian scientific-practical conference «The current state of civil defense of Ukraine and prospects for development». Kyiv, October 9-10, 2018. – Kyiv, 2018. – P. 144-145.

9. Zolkina Ye.S. Investigation of the influence of metal-containing additives on swelling of fire-retardant epoxy polymers / O.M. Hryhorenko, Ye.S. Zolkina // Proceedings of the IX International scientific-practical conference «Theory and practice of firefighting and emergency response», Cherkasy, May 18-19, 2018. – Cherkasy, 2018. – P.160-162.

10. Hryhorenko O.M., Zolkina Ye.S. Investigation of the interdependence of swelling multiplicity and thermomechanical properties of fire-retardant epoxyamine coatings. Prevention of emergencies and their elimination: materials of scientific practice. seminar, February 21. 2019. Kharkiv: National University of Civil Defense of Ukraine, 2019. P. 46–48.

11. Saenko N.V., Popov Y.V., Bykov R.O., Hryhorenko O.M., Zolkina Ye.S. Investigation of adhesive-strength characteristics of fire-retardant epoxy polymers modified with metal-containing additives. Innovative technologies in architecture and design: abstracts of reports of the IV international scientific-practical

conference, May 21-22, 2020. Kharkiv: Kharkiv National University of Construction and Architecture, 2020. P. 173–175.

12. Zolkina Ye.S. Investigation of the influence of fillers on the properties of the expanded coke layer of epoxyamine compositions / O.M. Hryhorenko, Ye.S. Zolkina, Yu.V. Popov, N.V. Saenko // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Problems of Emergencies». Kharkiv, May 20, 2021.– Kharkiv, 2021. – P. 28-30.