

УДК 725:69.059.28

## ОБСТЕЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИМОВИХ ТРУБ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

ШАТОВ С. В.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., доц.*,  
ТИТЮК А. О.<sup>2</sup>, *к.т.н., доц.*,  
САВИЦЬКИЙ М. В.<sup>3</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ТИТЮК А. А.<sup>4</sup>, *к.т.н.*

<sup>1\*</sup> Кафедра будівельних та дорожніх машин, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatovsv@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 46-10-65, e-mail: anatol-61@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4927-370X

<sup>3</sup> Кафедра залізобетонних та кам'яних конструкцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>4</sup> Лабораторія дослідження атомних та теплових електростанцій, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: tytiuk89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

**Анотація.** *Мета.* Розробка підходів у визначенні технічного стану димових труб з використанням безпілотних літальних апаратів. *Методика.* Для визначення показників технічного стану димових труб використаний метод аналізу фотоінформації їх поверхонь. *Результати та практична значимість.* Обстеження технічного стану димових труб пов'язано із значним обсягом трудомістких та небезпечних для виконання робіт. Зараз ці роботи виконують спеціально підготовлені у сфері промислового альпінізму робітники. Доцільно для визначення технічного стану димових труб використання безпілотних літальних апаратів. Розроблені конструкції безпілотних літальних апаратів, які дозволяють проводити ефективні дослідження з визначення стану зовнішніх та внутрішніх поверхонь димових труб.

**Ключові слова:** димові труби, обстеження, технічний стан, безпілотні літальні апарати

## ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДЫМОВЫХ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

ШАТОВ С. В.<sup>1\*</sup>, *д.т.н., доц.*,  
ТЫТЮК А. А.<sup>2</sup>, *к.т.н., доц.*,  
САВИЦКИЙ Н. В.<sup>3</sup>, *д.т.н., проф.*,  
ТЫТЮК А. А.<sup>4</sup>, *к.т.н.*

<sup>1\*</sup> Кафедра строительных и дорожных машин, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: shatovsv@yandex.ua, ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2\*</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 46-10-65, e-mail: anatol-61@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4927-370X

<sup>3</sup> Кафедра железобетонных и каменных конструкций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: sav15@ukr.net, ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>4</sup> Лаборатория исследования атомных и тепловых электростанций, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: tytiuk89@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

**Аннотация.** *Цель.* Разработка подходов в определении технического состояния дымовых труб с использованием беспилотных летательных аппаратов. *Методика.* Для определения показателей технического состояния дымовых труб использован метод анализа фотоинформации их поверхностей. *Результаты и практическая значимость.* Обследование технического состояния дымовых труб связано со значительным объемом трудоемких и опасных для выполнения работ. Сейчас эти работы проводят специально подготовленные в сфере промышленного альпинизма работники. Целесообразно

для определения технического состояния дымовых труб использование беспилотных летательных аппаратов. Разработаны конструкции беспилотных летательных аппаратов, которые позволяют проводить эффективные исследования по определению состояния внешних и внутренних поверхностей дымовых труб.

**Ключевые слова:** дымовые трубы, обследование, техническое состояние, беспилотные летательные аппараты

## INSPECTION OF THE TECHNICAL STATE OF FLUES WITH THE USE OF PILOTLESS AIRCRAFTS

SHATOV S. V. <sup>1\*</sup> *Dr. Sc. (Tech.), As. Prof.*,  
TYTIUK A.A. <sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), As. Prof.*,  
SAVYTSKYI M.V. *Dr. Sc. (Tech.)*,  
TYTIUK A.A. <sup>4</sup>, *Cand. Sc. (Tech.)*,

<sup>1\*</sup> Department build and road wave, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (056) 756-33-47, e-mail: [shatovsv@yandex.ua](mailto:shatovsv@yandex.ua), ORCID ID: 0000-0002-1697-2547

<sup>2</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 46-10-65, e-mail: [anatol-61@ukr.net](mailto:anatol-61@ukr.net), ORCID ID: 0000-0002-4927-370X

<sup>3</sup> Department of Reinforce-Concrete and Stone Constructions, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipr, 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-98, e-mail: [sav15@ukr.net](mailto:sav15@ukr.net), ORCID ID: 0000-0001-0002-0003

<sup>4</sup> Laboratory of research of nuclear power and thermal plants, State Higher Education Establishment "Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, тел. +38 (0562) 47-02-63, e-mail: [tytiuk89@gmail.com](mailto:tytiuk89@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-4119-4089

**Summary. Purpose.** Development of approaches in determination of the technical state of flues with the use of pilotless aircrafts. **Methodology.** For determination of indexes of the technical state of flues the method of analysis of photo information of their surfaces is used. **Findings and practical value.** The inspection of the technical state of flues is related to the considerable volume of labour intensive and dangerous for implementation works. Now these works are conducted by specially geared-up in the field of the industrial mountaineering workers. Expediently for determination of the technical state of flues the use of pilotless aircrafts. The constructions of pilotless aircrafts, which allow to conduct effective researches on determination of the state of external and internal surfaces of flues, are worked out.

**Key words:** flues, inspection, technical state, pilotless aircrafts

### Проблема

У експлуатації споруд і будівель особливе місце займають димові труби. Основним призначенням димових труб є відведення газів (продуктів згорання палива в топці або в інших технологічних процесах). Разом з ними через трубу видаляються дим, сажа і попіл, які можуть осідати на його стінках, утруднюючи проходження газів. Димові труби руйнуються зсередини і зовні під дією агресивних димових газів і вітрового навантаження [1; 2; 4; 8; 9]. Ці споруди потребують постійного догляду та своєчасного обстеження. Визначення технічного стану димових труб виконується візуально-інструментальним і візуальним методами із залученням спеціально підготовлених робітників [6]. Обстеження цих споруд є трудомісткими, небезпечними та значної вартості. Тому удосконалення підходів визначення технічного стану димових труб є актуальною науково-технічною проблемою.

### Аналіз публікацій

Димові труби (рис. 1) виконуються цегельними та металевими [3; 7]. Останні можуть мати металеву башту для забезпечення стійкості. Димові труби повинні забезпечити нормальну тягу в печі, яка перебуває в прямому співвідношенні з товщиною і висотою димохідного отвору. Температура продуктів згорання на виході з труби може перевищувати 100<sup>o</sup>C, що дозволяє створювати в опалювальній конструкції природну тягу — шляхом заміщення гарячих шарів повітря холодними. У зв'язку з цим товщина стінок димової труби повинна бути не менш ніж у півтори цеглини (ідеальне співвідношення для труб корінного типу).

В залежності від призначення, димові труби мають різноманітні геометричні параметри, у першу чергу, по висоті та діаметру.

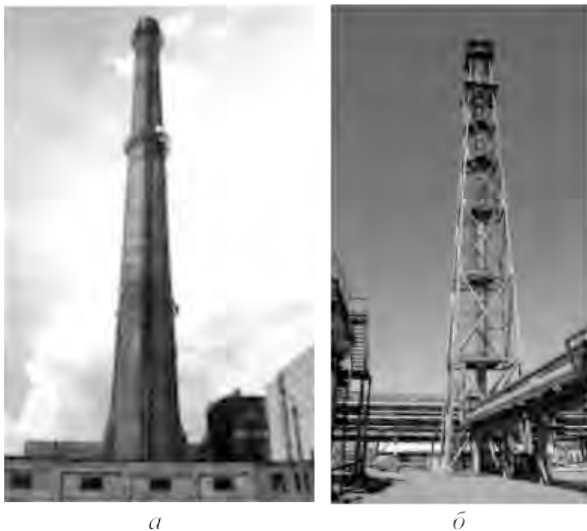


Рис. 1. Димові труби:  
а – цегельна; б – металева /

Flues:  
а – brick; б – metallic

До дефектів цегельних труб відносяться тріщини, руйнування окремих цеглин (рис. 2, а), вигін внутрішніх поверхонь (рис. 2, б).

Пошкодження металевих труб пов'язані з корозією (рис. 2, в) та деформацією окремих елементів [12].

Своєчасне обстеження труби дозволяє виявити виниклі дефекти і забезпечити нормальну циркуляцію повітря в опалювальному каналі споруди [5]. При виявленні тріщин в трубі їх необхідно усувати, оскільки потрапляння в них вологи може привести до повного руйнування труб в холодний період, коли вода в них, замерзнувши, розширить шви. Розчин з швів замінюють кожні п'ять-десять років, що входить в капітальний ремонт димових труб. Профілактична чистка труб передбачає виведення з каналу попелу і сажі, які осіли на його стінах.

Першочерговим завданням, яке покладається на діагностику технічного стану будівель і споруд, є з'ясування дійсного стану цілісності конструкції. Як правило, проведена експертиза стану споруд дозволяє зробити своєчасні висновки щодо можливості подальшої експлуатації і потреби проведення ремонтних робіт. Визначення технічного стану димових труб виконується візуально-інструментальним і візуальним методами із залученням спеціально підготовлених робітників.

Такі роботи виконуються на значній висоті (до 330 м), до яких залучаються робітники підготовлені до промислового альпінізму та оснащені спеціальним спорядженням.

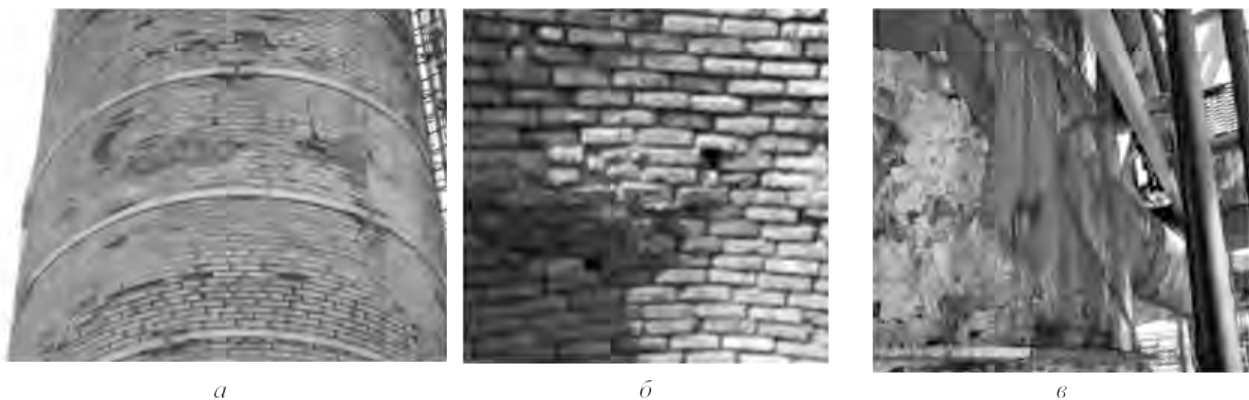


Рис. 2. Пошкодження димових труб:  
а – тріщини та руйнування окремих цеглин; б – вигін внутрішніх поверхонь; в – корозія конструкцій /

Damage of flues:  
а – are cracks and destructions of separate bricks; б – is a pasture of internal surfaces; в – is corrosion of constructions

При обстеженні димових труб визначається їх стан, як на зовнішній, так і на внутрішній поверхнях, виконуються ультразвукові дослідження та перевірка міцності окремих елементів. При необхідності беруть зразки матеріалів для їх дослідження у лабораторних умовах.

При цьому спеціалісти переміщуються по майданчиках, скобах та дробинах на трубі, а також з використанням альпійського спорядження (рис. 3). Особливо трудоміткі роботи, пов'язані з обстеженням внутрішніх поверхонь димових труб.

Такі роботи також є небезпечними і вимагають значно часу на їх підготовку та проведення.

Обладнання, яке використовують спеціалісти повинне бути випробуване та відповідати вимогам правил роботи на висоті.

Крім того, на проведення робіт впливають кліматичні умови (волога, вітер, температура), які обмежують їх час.



Рис. 3. Обстеження труби альпіністами /  
Inspection of pipe by alpinists

### Мета

Метою дослідження є розробка підходів у визначенні технічного стану димових труб з використанням безпілотних літальних апаратів.

### Методика

Для визначення показників технічного стану димових труб використаний метод аналізу фотоінформації їх поверхонь.

### Результати дослідження

Зараз у різних галузях отримали широке використання безпілотні літальні апарати (БЛА). У будівельній сфері вони використовуються для визначення характеру руйнувань пошкоджених об'єктів [10; 11]. Найбільш поширеними БЛА є квадрокоптери. У той же час, для використання при визначенні технічного стану димових труб, вони мають ряд обмежень: малий запас польоту, значні габарити для переміщення у трубах.

В результаті досліджень розроблені конструкції квадрокоптерів для обстеження внутрішніх поверхонь димових труб: квадрокоптер із зміною габаритних розмірів при повороті консолей 3 з гвинтами 5 (рис. 4); з приводом переміщення фотокамери 7 (рис. 5).

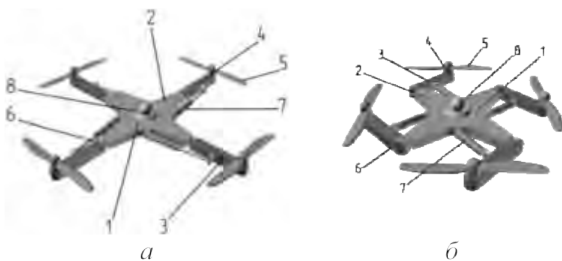


Рис. 4. Квадрокоптер із зміною габаритів:  
а – початкове положення; б – для польоту у трубі /

Pilotless aircrafts with the change of sizes:  
а – is initial position; б – for flight in a pipe

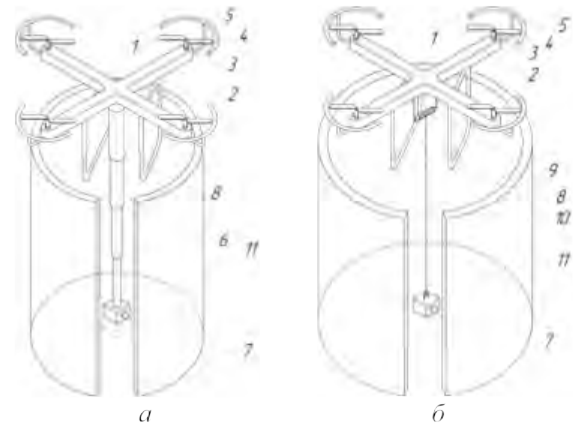


Рис. 5. БЛА з приводом переміщення фотокамери:  
а – телескопічний; б – з лебідкою /

BLA with the occasion of moving of photocamera:  
а – telescopic; б – with a winch

Привод переміщення фотокамери 7 може виконуватися, як телескопічним 6 (рис. 5, а), так у вигляді лебідки 9 (рис. 5, б).

Обстеження зовнішніх поверхонь виконується їх фото-та відеозйомкою при польоті квадрокоптера І по спіралі 4 (рис. 6, а) або спеціальним БЛА з декількома фотокамерами 7 (рис. 6, б).

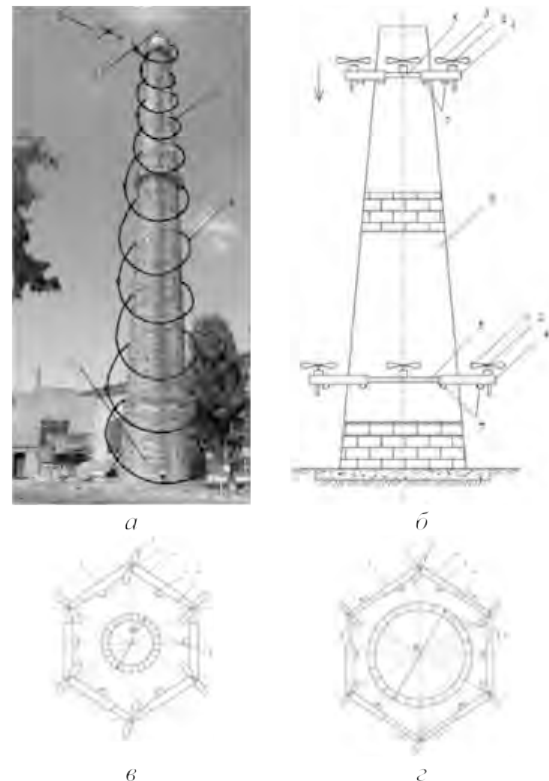


Рис. 6. Обстеження зовнішніх поверхонь труб:  
а – польот БЛА по спіралі; б, в, г – БЛА з декількома фотокамерами /

Inspection of external surfaces of pipes:  
а – flight of BLA for spirals; б, в, г – BLA with a few photocameras

Для збільшення запасу польоту та досконалого обстеження окремих частин димових труб доцільно оснащати БЛА пристроями їх тимчасової фіксації на поверхні труб, наприклад присосками 4 (рис. 7).

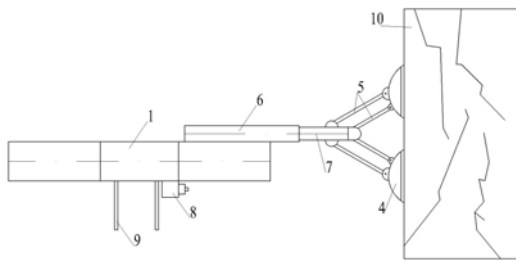


Рис. 7. Тимчасова фіксація БЛА на поверхні труби /  
The temporal fixing of BЛА is on the surface of pipe

У місці фотозйомки дефектів труби, БЛА 1 за допомогою присосок 4 та механізму їх керування 6, тимчасово закріплюється на поверхні труби 10 та виключає приводи гвинтів, що зменшує витрати енергії на політ. Після фотозйомки гвинти включаються у дію, присоски 4 механізмом 6

звільнюються і БЛА продовжує політ. Отримані матеріали фото-та відеозйомки оброблюються та робиться висновок про технічний стан труби.

Таким чином, використання безпілотних літальних апаратів значно зменшить трудомісткість робіт з діагностування технічного стану димових труб, підвищить безпеку цих робіт.

### Висновки

1. Обстеження технічного стану димових труб пов'язано із значним обсягом трудомістких та небезпечних для виконання робіт. Зараз ці роботи виконують спеціально підготовлені у сфері промислового альпінізму робітники.

2. Доцільно для визначення технічного стану димових труб використання безпілотних літальних апаратів.

3. Розроблені конструкції безпілотних літальних апаратів, які дозволяють проводити ефективні дослідження з визначення стану зовнішніх та внутрішніх поверхонь димових труб.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий : учеб. пособие в 3 кн. Кн. 1 / под ред. К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. – М.: АСВ, 1995. – 320 с.
2. Гончаренко Д. Ф. Технология демонтажных и строительно-монтажных работ при восстановлении частично разрушенного здания / Д. Ф. Гончаренко, Н. А. Меленцов, А. С. Константинов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2013. – № 1. – С. 42–44.
3. Дымовые трубы. Теория, практика конструирования и сооружения / Под редакцией С. В. Сатянова. М.: Стройиздат, 2001. – 150 с.
4. Марков А. И. Аварии зданий и сооружений / А. И. Марков, М. А. Маркова. – Запорожье : Настрой, 2008. – 84 с.
5. Нормативные документы по вопросам обследования, паспортизации, безопасной и надежной эксплуатации производственных зданий и сооружений. - К.: Государственный Комитет Украины по строительству и архитектуре, 2003. - 144 с.
6. Охрана труда в строительстве : учебник для студ. вузов / А. С. Беликов, В. В. Сафонов, П. Н. Нажа, В. Г. Чалый, Н. Ю. Шлыков, В. А. Шаломов, С. Ю. Рагимов ; под общ. ред. А. С. Беликова ; Приднпр. гос. академия стр-ва и архитектуры. – Киев : Основа, 2014. – 592 с.
7. Промышленные дымовые и вентиляционные трубы. Справочник проектировщика / Ф. П. Дужих, В. П. Осоловский, М. Г. Ладыгичев. М.: Теплотехник, 2004. – 233 с.
8. О некоторых уроках аварий / А. С. Файвусович, Л. Л. Михеева, О. А. Черных, В. П. Матвеев // Будівельні конструкції / Держ. н.-д. ін-т буд. конструкцій. – Київ, 1999. – Вип. 51 : Аварії на будівлях і спорудах. Друга Всеукраїнська наук.-техн. конференція, 8-9 грудня 1999 р. – С. 54-59.
9. Хэммонд Р. Аварии зданий и сооружений. Причины и уроки аварий современных сооружений различных типов : пер. с англ. / Р. Хэммонд ; пер. В. К. Житомирский ; ред. А. Е. Денисов. – Москва : Госстройиздат, 1960. – 187 с.
10. Шатов С. В. Визначення параметрів уламків зруйнованих споруд та елементів будівель, які реконструюються / С. В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2011. - № 3. – С. 8–14.
11. Шатов С. В. Организационно-технологические решения начальных этапов разборки завалов разрушенных зданий / С. В. Шатов // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. пр. – Дніпропетровськ, 2011. - № 8. – С. 7–13.
12. Яровой С.Н. Эксплуатационная пригодность металлических дымовых труб печей цеха №1 ОАО «Тагмет» после длительного срока эксплуатации / И. И. Ведяков, М. И. Гукова, С. Н. Яровой // Строительная механика и расчет сооружений. М.: ЦНИИСК им. Кучеренко, 2016, №2. – С. 7-12.

## REFERENCES

1. Kochetkov K.E., Kotlyarevskij V.A. and Zabegaeva A.V., eds. *Avarii i katastrofy. Preduprezhdenie i likvidaciya posledstvij* [Accidents and disasters. Prevention and mitigation]. Moskva: ASV, book 1, 1995, 320 p. (in Russian).
2. Goncharenko D.F., Melencov N.A. and Konstantinov A.S. *Texnologiya demontazhnyx i stroitel'no-montazhnyx rabot pri vosstanovlenii chastichno razrushennogo zdaniya* [Technology of demolition, construction and installation work by recovering of partially destroyed building]. *Promyslove budivnitsvo ta inzhenerni sporudy* [Industrial construction and civil engineering constructions]. 2013, no. 1, pp. 42–44. (in Russian).
3. Chimneys. Theory of Design Practice and Constructions / Edited by S.V. Satyanov. Moscow: Stroizdat., 2001. - 150. (in Russian).
4. Markov A.I. and Markova M.A. *Avarii zdaniy i sooruzhenij* [Damages of buildings and constructions]. Zaporozh'e: Nastroj, 2008, 84 p. (in Russian).
5. Normative documents on inspection, certification, safe and reliable operation of industrial buildings and structures. - K.: - State Committee of Ukraine for Construction and Architecture, 2003.-144 p. (in Ukrainian).
6. Belikov A.S., Safonov V.V., Nazha P.N, Chalyj V.G., Shlykov N.Yu, Shalomov V.A. and Ragimov S.Yu. *Oxrana truda v stroitel'stve* [Work safety in construction]. Pridnepr. gos. akademiya str-va i arxitektury [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Kiev: Osnova, 2014, 592 p. (in Russian).
7. Industrial smoke and ventilation pipes. Reference book of the designer / F.P. Duzhikh, V.P. Osolovsky, M.G. Ladygichev. M.: Heat engineer, 2004. - 233 p. (in Russian).
8. Fajvusovich A.S., Mixeeva L.L., Chernyx O.A. and Matveev V.P. *O nekotoryx urokax avarij* [About some accident lessons]. *Budivelni konstruksii* [Buildings construction]. *Avarii na budivliakh i sporudakh. Druha Vseukrainska nauk.-tekhn. konferentsiia, 8-9 grudnia 1999 r.* [Accidents on buildings and structures. The second All-Ukrainian scientific and technical conference, December 8-9, 1999.]. Derzh. n.-d. in-t bud. Konstruksii [The State Scientific-Research Institute of Building Constructions]. Kyiv, 1999, iss. 51, pp. 54–59. (in Russian).
9. Xemmond R. *Avarii zdaniy i sooruzhenij. Prichiny i uroki avarij sovremennyx sooruzhenij razlichnykh tipov* [Accidents of buildings and structures. Causes and lessons of modern structures accidents of various types]. Moskva: Gosstrojizdat, 1960, 187 p. (in Russian).
10. Shatov S.V. *Vyznachennia parametriv ulamkiv zruinovanykh sporud ta elementiv budivel, yaki rekonstruiuvatsia* [Determination of scantling parameters of destroyed structures and building elements, which are reconstructed]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2011, no. 3, pp. 8–14. (in Ukrainian).
11. Shatov S.V. *Organizacionno-tekhnologicheskie resheniya nachal'nyx etapov razborki zavalov razrushennyx zdaniy* [Organizational and technological solutions of the initial stages of the rubble dissolution of destroyed buildings]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2011, no. 8, pp. 7–13. (in Ukrainian).
12. Vediakov I.I., Gukova M.I., and Yarovoj S.N. *Ekspluatatsionnaja prigodnost metallicheskih dumovuh trub pechej ceha №1 OAO "Tagmet" posle dlitel'nogo sroka eksplyatacii* [Usability metal flue pipes of furnaces of shop №1 JSC "Tagmet" after a long period of time]. *Stroitel'naja mehanika i rascet sooruzhenij* [Structural mechanics and calculation of structures]. Moscow, CNIISK by Kycherenko, 2016, no.2, pp.7-12. (in Russian).

Стаття рекомендована до друку 12.08.2017 р. Рецензент: д-р т. н., проф. Млодецький В.Р.

Надійшла до редколегії: 26.08.2017 р.