





**original article** | UDC 62-1/-9 | doi: 10.31210/visnyk2022.02.32


**RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF FLEXIBLE PROTECTION OF OBJECTS FROM MECHANICAL DAMAGE**
*O. Kostenko*<sup>1</sup>


 ORCID  [0000-0001-5997-342X](https://orcid.org/0000-0001-5997-342X)
*M. Shpylka*<sup>1\*</sup>


 ORCID  [0000-0002-1425-6715](https://orcid.org/0000-0002-1425-6715)
*T. Lapenko*<sup>1</sup>

 ORCID  [0000-0001-8055-6698](https://orcid.org/0000-0001-8055-6698)
*V. Dudnyk*<sup>1</sup>

 ORCID  [0000-0002-6553-2951](https://orcid.org/0000-0002-6553-2951)
*O. Drozhchana*<sup>1</sup>

 ORCID  [0000-0001-8214-2624](https://orcid.org/0000-0001-8214-2624)
*A. Klymenko*<sup>2</sup>

 ORCID  [0000-0003-4035-9280](https://orcid.org/0000-0003-4035-9280)
*A. Shpylka*<sup>2</sup>

 ORCID  [0000-0002-6282-1336](https://orcid.org/0000-0002-6282-1336)
<sup>1</sup> Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

<sup>2</sup> LLC «Politon-Ukraine», 22, Pushkin Str., 3600, Poltava, Ukraine

\*Corresponding author

 E-mail: [mykola.shpylka@gmail.com](mailto:mykola.shpylka@gmail.com)

## How to Cite

*Kostenko, O., Shpylka, M., Lapenko, T., Dudnyk, V., Drozhchana, O., Klymenko, A., & Shpylka, A. (2022). Research of the efficiency of flexible protection of objects from mechanical damage. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (2), 269–276. doi: 10.31210/visnyk2022.02.32*

*In modern conditions of intensive development of technological transport, means of protection against mechanical damage are important to ensure safe conditions for people, equipment and building elements. The paper substantiates the need to use protection in the form of fences to save the lives and health of personnel, industrial equipment and building structures. Traditionally, such fences were made mainly of steel or concrete. However, flexible protection made of polymeric materials has recently become widespread. The peculiarity of such fences is that they are almost entirely made of elastic polymeric materials. This allows you to stretch the distribution of energy absorption over time and thus significantly reduce the impact force compared to "traditional" steel and concrete protections under equal conditions. In contrast to traditional metal protection, the reduction of impact force in the case of flexible protection allows you to: avoid tearing anchors out of the concrete floor; avoid damage to the impact object (cargo, vehicles, etc.); maintain a presentable type of protection during operation; significantly reduce the force of inertia that affects drivers when being injured. The purpose of this work is to determine the effectiveness of such protection. To achieve this goal, the analysis of the data from literature sources are analysed, the types of protection and its functional purpose are considered and experimental studies are conducted. The research was done at Politon-Ukraine LLC, which is the only manufacturer of flexible protection in Ukraine. The experiment was performed by the method of crash test on the impact stand with the subsequent application of the visual method of damage assessment and direct measurement of absolute linear values of deformations of structures. Tables have been created and graphs of the dependence of the mass and velocity of the object hitting the fence under the maximum impact force allowed for the structures under investigation have been constructed. The research has fully confirmed the effectiveness of the use of flexible protection of work areas and production facilities. They have good strength values and high flexibility (in collisions the protection is not damaged but only absorbs the impact, there is no residual deformation under the standard force of impact).*

**Key words:** flexible protection, stopper, safeguards, residual deformation, crash test.

**RESEARCH ON THE EFFICIENCY OF FLEXIBLE PROTECTION OF OBJECTS FROM MECHANICAL DAMAGE**

*О. М. Костенко<sup>1</sup>, М. М. Шпилька<sup>1</sup>, Т. Г. Лапенко<sup>1</sup>, В. В. Дудник<sup>1</sup>, О. У. Дрожжана<sup>1</sup>, А. В. Клименко<sup>2</sup>, А. М. Шпилька<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

<sup>2</sup> ТОВ «Політон-Україна», м. Полтава, Україна

У сучасних умовах інтенсивного розвитку технологічного транспорту важливого значення для забезпечення безпечних умов для людей, обладнання та елементів будівель набувають засоби захисту від механічних пошкоджень. У роботі обґрунтована необхідність застосування захисту у вигляді загорожі для збереження життя і здоров'я персоналу, промислового обладнання та будівельних конструкцій. Традиційно такі загорожі виготовлялися здебільшого зі сталі або бетону. Проте останнім часом набув поширення гнучкий захист із полімерних матеріалів. На відміну від традиційного металевого захисту зниження сили удару у разі застосування гнучкого захисту дозволяє: уникнути викидання анкерів із бетонного покриття; уникнути пошкодження ударного об'єкта (кари, вантажу, автотранспорту тощо); зберегти презентабельний вид захисту під час експлуатації; суттєво знизити силу інерції, що впливає на водіїв транспортних засобів при ударах. Мета роботи – визначити ефективність такого захисту. Для досягнення мети проведено аналіз даних літературних джерел, розглянуто види захисту, його функціональне призначення, проведені експериментальні дослідження. Дослідження проводили на ТОВ «Політон-Україна», який є єдиним виробником гнучкого захисту в Україні. Експеримент проводили методом краш-тесту на ударному стенді з подальшим застосуванням візуального методу оцінки пошкоджень та безпосереднього вимірювання абсолютних лінійних величин деформацій конструкцій. Створені таблиці та побудовані графіки залежності маси та швидкості об'єкта, що ударяє по загородженню в умовах максимально допустимої для досліджуваних конструкцій сили удару. В результаті проведених досліджень повністю підтверджена ефективність використання гнучкого захисту робочих зон і об'єктів виробництва. Вони мають хороші показники міцності, високі показники гнучкості (при зіткненнях захист не пошкоджується, а лише поглинає удар, відсутні залишкові деформації при нормативній силі удару).

**Ключові слова:** гнучкий захист, стопер, захисні загорожі, залишкова деформація, краш-тест.

### Вступ

Функція захисних огорожень як технічних засобів полягає у запобіганні потраплянню частин тіла працівника до небезпечної зони, захисту робочої зони, уникненню пошкоджень технологічним транспортом обладнання або будівельних конструкцій [1–10]. Огородження мають бути надійними та мати можливість багаторазового використання в разі настання аварійних ситуацій.

Усі технічні засоби, що забезпечують безпечні умови праці та збереження обладнання на виробництві, поділяються на суб'єктивні та об'єктивні [8–19]. До суб'єктивних належать таблички, сигнальні пристрої та застережні написи [8, 9]. Об'єктивні засоби – це захисні та блокувальні пристрої, ізоляція, герметизація, заземлення, а також захисні огороження [10].

Найбільш дієвими є об'єктивні засоби, зокрема захисні огороження.

Залежно від призначення огороження виготовляють із металу, металевої сітки, пластмаси, а в деяких випадках – зі спеціальних матеріалів (наприклад, для захисту від радіоактивного випромінювання).

Усі огороження поділяються на стаціонарні і переносні. Своєю чергою стаціонарні бувають відкидними і знімними. Стаціонарні огороження облаштовують як елемент устаткування. Відкидними огороженнями закривають рухомі елементи машин і механізмів, до яких часто потрібен вільний доступ. До них належать кожухи, футляри, дверцята. Знімними огороженнями закривають приводні та передавальні механізми, які не потребують частого доступу для налагодження або огляду. Переносні огороження використовують під час ремонтних і налагоджувальних робіт. Вони перешкоджають працівникам випадково доторкнутися до рухомих механізмів та струмопровідних частин [18, 19].

На кожному великому виробництві робочі процеси неможливі без транспортних засобів. Для забезпечення нормального режиму роботи об'єкту всі переміщення повинні виконуватися з

достатньою швидкістю. Через це існує ризик пошкодження техніки та обладнання на складі або в цеху підприємства, заїзд транспорту в пішохідну зону і травмування людей. Огорожі для стелажів і стін, для обладнання, для пішохідних і робочих зон у такому разі є важливою необхідністю. Адже набагато дешевше і практичніше придбати, наприклад, захист колон або бампери транспорту, ніж замінювати дорогу техніку та обладнання через короткий час використання. А найважливіше – це захист людей від травмування.

Сучасні рішення для захисту об'єктів у різних сферах діяльності полягають у використанні для виготовлення огорожень (стоперів) високоміцних полімерів. Особливістю таких стоперів є те, що вони практично повністю виготовлені з пружних полімерних матеріалів. Це дає змогу розтягнути розподіл поглинання енергії у часі і тим самим істотно знизити силу удару порівняно з «традиційними» сталевими та бетонними захистами при рівних умовах. Як відомо, пружна складова деформації сталевих загороджувальних конструкцій настільки мала, що нею можна знехтувати. У разі застосування сталевих захистів відсутність залишкових деформацій можливе лише у разі слабого удару. Якщо удар середній або сильний, то виникають великі пластичні деформації.

Це видно на фото (рис. 1), де можна помітити вм'ятини на поперечині з прямокутної профільної труби і аркоподібні вигини п'ят опор сталевих захистів.



*Рис. 1. Гнучкий захист ВН140 виробництва ТОВ «Політон-Україна» на тлі частково пошкодженого металевих захистів після однакового удару*

Джерело: зображення авторів.

Також поширеною проблемою є виривання анкерів з бетонного покриття, оскільки через жорсткість сталевих конструкцій істотна частка енергії удару припадає саме на них.

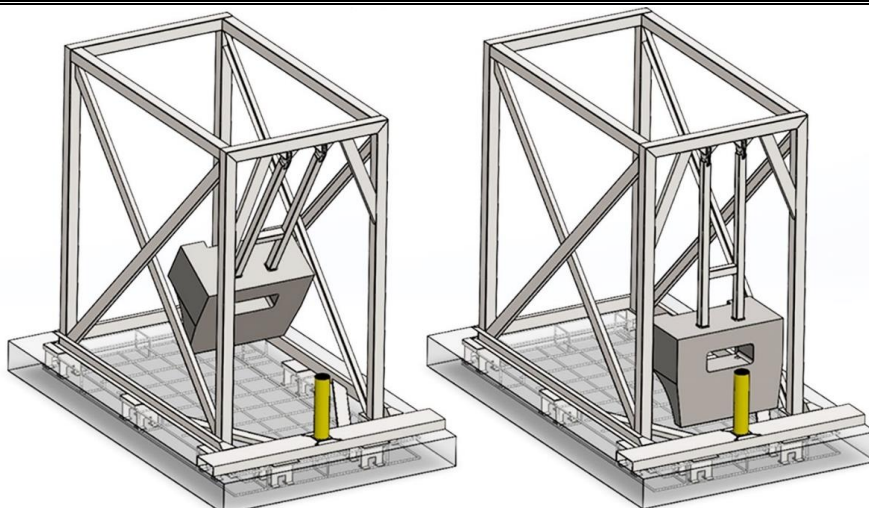
На відміну від традиційного металевих захистів зниження сили удару у разі застосування гнучкого захисту дозволяє:

- уникнути виривання анкерів із бетонного покриття;
- уникнути пошкоджень ударного об'єкта (кари, вантажу, автотранспорту тощо);
- зберегти презентабельний вид захисту під час експлуатації;
- суттєво знизити силу інерції, що впливає на водіїв транспортних засобів при ударах.

### **Матеріали і методи досліджень**

Експериментальні дослідження ефективності захисних конструкцій проводились методом краш-тесту на ударному стенді ТОВ «Політон-Україна» [20]. Застосовувався метод випробування з використанням маятника [10] з подальшим застосуванням візуального методу оцінки пошкоджень, методу безпосереднього вимірювання абсолютних лінійних величин деформацій конструкції.

Не зважаючи на сучасні досягнення програмного моделювання різних фізичних процесів, краш-тести як і раніше є актуальними і застосовуються навіть на передових виробництвах у різних галузях (автомобілебудування, авіакосмічної промисловості і т.д.). Випробування на ударному стенді дає змогу отримувати набагато більш інформативні результати порівняно з іншими способами тестування. Стенд (рис. 2) дає можливість задавати величину сили і місце удару, що дозволяє більш точно оцінити ефективність конструкції кожного виробу.



**Рис. 2** Випробування стопера BV140 на стенді  
Джерело: зображення авторів.

Алгоритм випробувань включає послідовність таких операцій:

- 1) Встановлення і фіксація досліджуваного виробу на стенді.
- 2) Відтягування ударної частини визначеної маси на визначену відстань від досліджуваного виробу (рис. 2). для отримання певної величини енергії удару:

$$E = mgh, \quad (1)$$

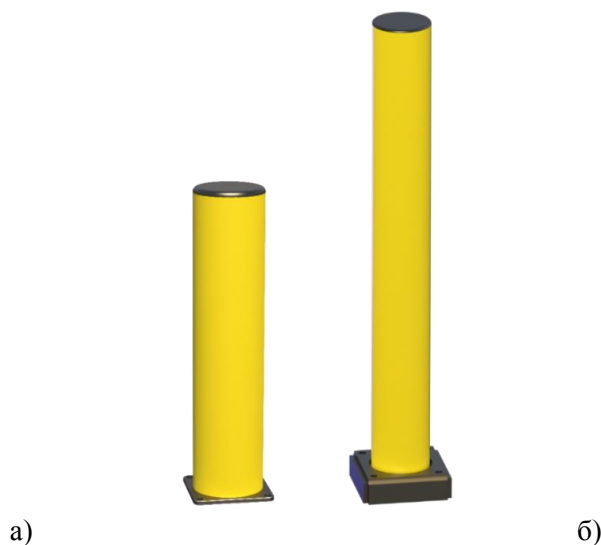
де  $E$  – кінетична енергія, що передаватиметься на досліджуваний виріб при ударі, Дж;  $m$  – маса вантажу, кг;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $h$  – висота підйому вантажу під час його відтягування від досліджуваного виробу, м.

- 3) Відпускання виробу і здійснення удару по досліджуваному виробу.

4) Огляд виробу на предмет наявності пошкоджень та залишкових деформацій (у разі їх наявності виконується вимірювання відносного переміщення матеріалу).

### Результати досліджень та їх обговорення

Були проведені дослідження найпростіших стоперів BV140 і BV125H з модельного ряду виробництва ТОВ «Політон-Україна». Вони застосовуються для точкового захисту і найчастіше використовуються для закривання зовнішніх кутів та дверних косяків. Модель BV125H має підсилену конструкцію і використовується в місцях найбільших потенційних навантажень.



**Рис. 3.** Стопери: а) BV140, б) BV125H  
Джерело: зображення авторів.

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

Випробування стопера BV140 на стенді показали, що цей виріб здатний поглинати до 600 Дж кінетичної енергії прямого удару без видимих залишкових деформацій. Обробка отриманих даних дала змогу створити таблицю співвідношення величин допустимих маси та швидкості об'єкта, що ударає і побудувати графік їх взаємозалежності (табл. 1, рис. 4).

### *1. Співвідношення величин маси та швидкості ударного об'єкта при енергії удару 600 Дж*

Маса m, кг	Енергія E, Дж	Швидкість V, м/сек	Швидкість V, км/год
13,5	600	3,464	12,471
300	600	2,000	7,200
500	600	1,549	5,577
700	600	1,309	4,714
900	600	1,155	4,157
1100	600	1,044	3,760
1300	600	0,961	3,459
1500	600	0,894	3,220
1700	600	0,840	3,025
1900	600	0,795	2,861
2100	600	0,756	2,721
2300	600	0,722	2,600
2500	600	0,693	2,494
2700	600	0,667	2,400
2900	600	0,643	2,316
3100	600	0,622	2,240
3300	600	0,603	2,171
3500	600	0,586	2,108
3700	600	0,569	2,050
3900	600	0,555	1,997
4100	600	0,541	1,948
4300	600	0,528	1,902
4500	600	0,516	1,859
4700	600	0,505	1,819
4900	600	0,495	1,782
5100	600	0,485	1,746
5300	600	0,476	1,713
5500	600	0,467	1,682
5700	600	0,459	1,652
5900	600	0,451	1,624
6100	600	0,444	1,597
6300	600	0,436	1,571
6500	600	0,430	1,547
6700	600	0,423	1,524
6900	600	0,417	1,501
7100	600	0,411	1,480
7300	600	0,405	1,460
7500	600	0,400	1,440
7700	600	0,395	1,421
7900	600	0,390	1,403
8100	600	0,385	1,386
8300	600	0,380	1,369
8500	600	0,376	1,353

Залежність швидкості від маси при енергії удару 600 Дж.

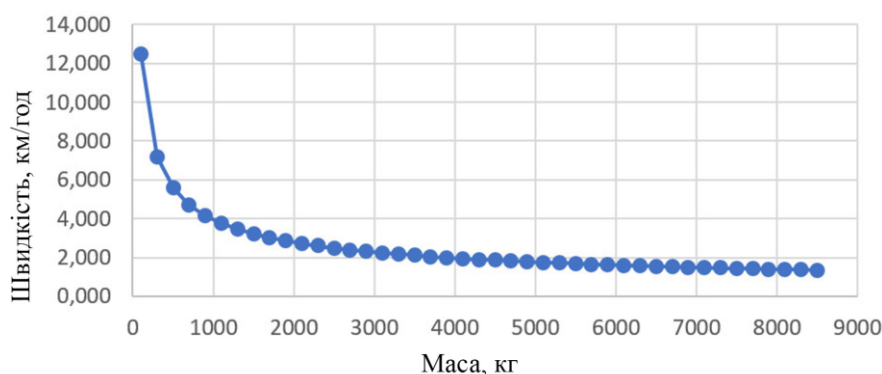


Рис. 4. Критичні для BV140 величини мас та швидкостей об'єкта, що ударяється

Використовуючи цю таблицю, можна легко зорієнтуватись, які саме об'єкти і на якій швидкості можуть бити по стоперу в межах нормальних величин його експлуатаційних параметрів.

Для більш жорстких умов експлуатації розроблено посилений стопер BV125H. Досліди показали, що допустима прикладена до цього виробу величина енергії становить 1960 Дж. Результати випробувань цього стовпа наведені в табл. 2 та на рис. 5.

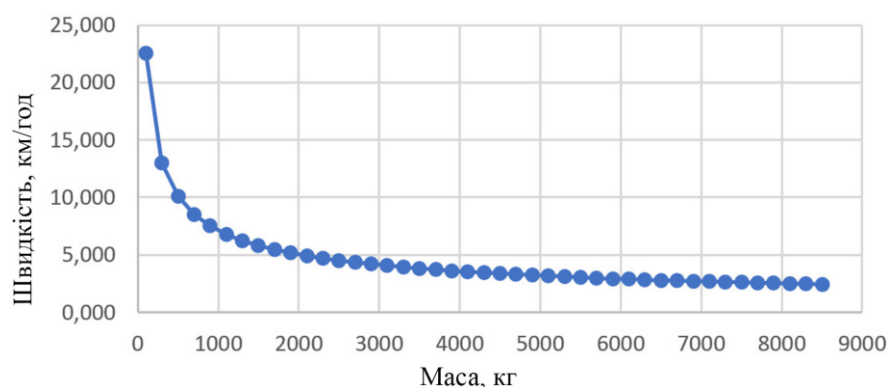
**2. Співвідношення величин маси та швидкості ударного об'єкта при енергії удару 1960 Дж для BV125H**

Маса, кг	Енергія E, Дж	Швидкість, м/сек	Швидкість, км/год
100	1960	6,261	22,540
300	1960	3,615	13,013
500	1960	2,800	10,080
700	1960	2,366	8,519
900	1960	2,087	7,513
1100	1960	1,888	6,796
1300	1960	1,736	6,251
1500	1960	1,617	5,820
1700	1960	1,519	5,467
1900	1960	1,436	5,171
2100	1960	1,366	4,919
2300	1960	1,306	4,700
2500	1960	1,252	4,508
2700	1960	1,205	4,338
2900	1960	1,163	4,185
3100	1960	1,125	4,048
3300	1960	1,090	3,924
3500	1960	1,058	3,810
3700	1960	1,029	3,705
3900	1960	1,003	3,609
4100	1960	0,978	3,520
4300	1960	0,955	3,437
4500	1960	0,933	3,360
4700	1960	0,913	3,288
4900	1960	0,894	3,220
5100	1960	0,877	3,156
5300	1960	0,860	3,096

## ТЕХНІЧНІ НАУКИ

5500	1960	0,844	3,039
5700	1960	0,829	2,985
5900	1960	0,815	2,934
6100	1960	0,802	2,886
6300	1960	0,789	2,840
6500	1960	0,777	2,796
6700	1960	0,765	2,754
6900	1960	0,754	2,713
7100	1960	0,743	2,675
7300	1960	0,733	2,638
7500	1960	0,723	2,603
7700	1960	0,714	2,569
7900	1960	0,704	2,536
8100	1960	0,696	2,504
8300	1960	0,687	2,474
8500	1960	0,679	2,445

Залежність швидкості від маси при енергії удару 1960 Дж.



*Рис. 5. Критичні для BV125H величини мас та швидкостей об'єкта, що ударяється*

При багаторазовому повторюванні дослідів у рамках заявлених величин візуально спостерігались лише незначні подряпини, які впливають тільки на естетичний вигляд стоперів.

Варто зауважити, що навіть при перевищенні вказаних величин сили удару в 3–4 рази об'єкти, що захищалися гнучкими стоперами, залишалися не ушкодженими. Тільки в цьому випадку пошкоджені елементи стопера потребують заміни.

Крім вищезазначених переваг стопери з полімеру також не схильні до корозії, мають естетичний вигляд, яскравий сигнальний колір, легкі в монтажі та демонтажі.

### Висновки

У результаті проведених досліджень повністю підтверджена ефективність використання гнучкого захисту робочих зон і об'єктів виробництва.

Досліджені стопери ефективно демпфують удари від зіткнення з рухомим об'єктом. Вони мають хороші показники міцності, високі показники гнучкості (при зіткненнях захист не пошкоджується, а лише поглинає удар, відсутні залишкові деформації при нормативній силі удару).

Поглинання удару захистом також запобігає зриву кріплень і пошкодженню підлоги. Тому такий тип захисту має кращі експлуатаційні характеристики за металевий.

Результати цього дослідження можна використовувати для більш точного підбору моделей гнучкого захисту з огляду на локальні ризики механічних пошкоджень об'єктів, які необхідно захистити.

**References**

1. ISO 12100:2010. Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction. Valid from 2010–11–01. (2010). Geneva.
2. ISO 13855:2010. Safety of machinery – Positioning of safeguards with respect to the approach speeds of parts of the human body. Valid from 2010–05–31. (2010). Geneva.
3. ISO 13857:2019. Safety of machinery – Safety distances to prevent hazard zones being reached by upper and lower limbs. Valid from 2019–10–30. (2010). Geneva.
4. ISO 14119:2013 Safety of machinery – Interlocking devices associated with guards – Principles for design and selection. Valid from 2013–10–02. (2013). Geneva.
5. ISO 14159:2008. Safety of machinery – Hygiene requirements for design of machinery. Valid from 2008–04–03. (2008). Geneva.
6. EN 614-1:2006+A1:2009. Safety of Machinery – Ergonomic Design Principles – Part 1: Terminology and General Principles. Valid from 2009–02–11. (2009). Brussels.
7. EN 614-2:2000+A1:2008. Safety of machinery – Ergonomic design principles – Part 2: Interactions between the design of machinery and work tasks. Valid from 2008–09–24. (2008). Brussels.
8. ISO 11428:1996. Ergonomics – Visual danger signals – General requirements, design and testing. Valid from 1996–11–12. (1996). Geneva.
9. ISO 9241-305:2008. Ergonomics of human-system interaction. Valid from 2008–11–14. (2008). Geneva.
10. DSTU EN ISO 14120:2017 (ISO 14120:2015) Bezpechnist' mashyn. Zakhysni ohorozhi. Zahal'ni vymohy do proektuvannya ta budivnytstva statsionarnykh i znimnykh zakhysnykh ohorozh. Chynnyi vid 2019–01–01. (2019). Kyiv [In Ukrainian].
11. Koradecka, Danuta. (2010). *Handbook of Occupational Safety and Health CRC Press. Engineering & Technology*. New York. doi: 10.1201/EBK1439806845
12. Resse, C. D. (2017). *Occupational Safety and Health: Fundamental Principles and Philosophies*. New York: CRC Press. doi: 10.1201/b21975-4
13. Fuller, T. P. (2019). Introduction to Global Occupational Safety and Health. *Global Occupational Safety and Health Management Handbook*, 1–17. doi:10.1201/9780429056475-1
14. Pedro, M., Jiao, S., Monica, P., Paula, C., & Kindle, E. (2019). *Occupational and Environmental Safety and Health Springe*. Berlin: Springer Nature.
15. Chambers, G. (2011). *Concise Guide to Workplace Safety and Health: What You Need to Know, You When Need It*. New York: CRC Press.
16. Cheremisinoff, N., & Graffia, M. *Environmental and Health and Safety Management: A Guide to Compliance*. New York: William Andrew.
17. Ridley, J., & Channing, J. (2007). *Safety at Work*. 7th Edition. Elsevier: Butterworth-Heinemann.
18. Holin'ko, V. I. (2014). *Osnovy okhorony pratsi*. Dnipropetrovs'k: Natsional'nyy hirnychyy universytet [In Ukrainian].
19. Vynokurova, L. E., Vasyl'chuk, M. V., & Haman, M. V. (2001). *Osnovy okhorony pratsi*. Kyiv: Viktoriya [In Ukrainian].
20. Klymenko, A. V., Shpyl'ka, A. M., & Shpyl'ka, M. M. (2020). Stend udarnykh vyprobuvan' dlya hnuchkoho zakhystu vyrobnytstva TOV «Politon-Ukrayina». *Materialy IV Vseukrayins'koyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi «Stvorenniya, ekspluatatsiya i remont avtomobil'noho transportu i budivel'noyi tekhniki (m. Poltava, 26 lystopada 2020 roku)*. Poltava: Natsional'nyy universytet «Poltavs'ka politekhnik imeni Yuriya Kondratyuka» [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 11.04.2022 р.

**Бібліографічний опис для цитування:**

Костенко О. М., Шпилька М. М., Лапенко Т. Г., Дудник В. В., Дрожжана О. У., Клименко А. В., Шпилька А. М. Дослідження ефективності гнучкого захисту об'єктів від механічних пошкоджень. *Вісник ПДАА*. 2022. № 2. С. 269–276.

©Костенко Олена Михайлівна, Шпилька Микола Миколайович, Лапенко Тарас Григорович, Дудник Володимир Васильович, Дрожжана Ольга Урешівна, Клименко Андрій Віталійович, Шпилька Андрій Миколайович, 2022