



ІМОВІРНІСНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ МАКСИМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ ДЛЯ ОПИСУ ГЛУБИНИ КОРОЗІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ СТАЛЕВИХ ТРУБ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВ

В. А. Пашинський^а, Ж. Ю. Бескровна^б

^а *Кіровоградський національний технічний університет,
Університетський пр., 8, м. Кіровоград, Україна, 25006.*

^б *Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка,
Першотравневий пр., 24, м. Полтава, Україна, 36011.*

E-mail: ^а pva.kntu@gmail.com, ^б Zhanna_beskrovna@mail.ru

Отримана 22 березня 2013; прийнята 24 травня 2013.

Анотація. У статті виконано статистичний аналіз результатів внутрішньотрубної діагностики одного з нафтопроводів України. Виходячи з практики проведення ремонтних робіт, які виконуються шляхом заміни цілих секцій трубопроводу з приєднанням у зоні існуючих зварних швів, розглядалися максимальні значення глибини корозії в межах кожної секції. На підставі проведеного аналізу обґрунтована можливість подання глибини корозійних пошкоджень у формі послідовностей максимальних значень, описаних подвійним експоненціальним законом розподілу Гумбеля. Проаналізовано взаємний зв'язок між статистичними характеристиками глибини корозії та їх залежність від кількості корозійних пошкоджень на одиницю довжини трубопроводу. Розроблена ймовірнісна модель для опису глибини корозійних пошкоджень може бути використана при оцінюванні надійності сталевих труб магістральних нафтопроводів з урахуванням наявності непошкоджених секцій та їх впливу на показники надійності трубопроводу в цілому.

Ключові слова: магістральний нафтопровід, корозійні пошкодження, статистичний аналіз.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ГЛУБИНЫ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ СТАЛЬНЫХ ТРУБ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ

В. А. Пашинский^а, Ж. Ю. Бескровная^б

^а *Кировоградский национальный технический университет,
Университетский пр., 8, м. Кировоград, Украина, 25006.*

^б *Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка,
Первомайский пр., 24, м. Полтава, Украина, 36011.*

E-mail: ^а pva.kntu@gmail.com, ^б Zhanna_beskrovna@mail.ru

Получена 22 марта 2013; принята 24 мая 2013.

Аннотация. В статье выполнен статистический анализ результатов внутритрубної диагностики одного из нефтепроводов Украины. Исходя из практики проведения ремонтных работ, которые выполняются путем замены целых секций трубопровода с присоединением в зоне существующих сварных швов, рассматривались максимальные значения глубины коррозии в пределах каждой секции. На основании проведенного анализа обоснована возможность представления глубины коррозионных повреждений в форме последовательностей максимальных значений, описанных двойным экспоненциальным законом распределения Гумбеля. Проанализированы взаимосвязь между статистическими характеристиками глубины коррозии и их зависимость от количества коррозионных повреждений на единицу длины

трубопровода. Разработанная вероятностная модель для описания глубины коррозионных повреждений может быть использована при оценке надежности стальных труб магистральных нефтепроводов с учетом наличия неповрежденных секций и их влияния на показатели надежности трубопровода в целом.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, коррозионные повреждения, статистический анализ.

THE PROBABILISTIC MODEL OF THE MAXIMUM VALUES DISTRIBUTION FOR DESCRIBING THE CORROSION DAMAGE DEPTH OF STEEL PIPES OF MAIN OIL PIPELINES

Viktor Pashinskyi ^a, Zhanna Beskrovna ^b

^a Kirovograd National Technical University,

8, Unyversytetskyi Av., Kirovograd, Ukraine, 25006.

^b Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University,

24, Pershotravnevyi Av., Poltava, Ukraine, 36011.

E-mail: ^a pva.kntu@gmail.com, ^b Zhanna_beskrovna@mail.ru

Received 22 March 2013; accepted 24 May 2013.

Abstract. Statistical analysis of the in-line inspection results of one of Ukrainian oil pipeline was performed in the paper. Based on the practice of repair work, performed by replacing the whole sections of the pipeline with the joining in the area of existing welds, the maximum corrosion depth values within the limits of each section had considered. The possibility of representing the depth of corrosion damage in the form of sequences of maximum values that described of double exponential distribution law of Gumbel is justified on the basis of performed analysis. Interrelation between statistical characteristics of the corrosion depth and their dependence of the amount of corrosion damage per length unit of the pipeline was analyzed. Developed probabilistic model for describing the depth of corrosion damage can be used for assessing the reliability of steel pipes of oil pipelines considering the presence of undamaged sections and their impact on the reliability of the pipeline in total.

Keywords: main oil pipeline, corrosion damage, the statistical analysis.

Передмова

Практика проведення ремонтних робіт на магістральних трубопроводах показує, що у випадку значних корозійних пошкоджень замінюється не довільний відрізок труби, а ціла секція трубопроводу, тобто вся труба заводської поставки, при чому приєднання нової труби здійснюється в зоні існуючих зварних швів. Оскільки при наявності в межах секції хоча б одного критичного корозійного пошкодження замінюється уся секція, визначальним фактором для оцінювання надійності секції є максимальне корозійне пошкодження в межах цієї секції. Такий підхід до оцінювання надійності трубопроводів і виконання ремонтних робіт дозволяє перейти від аналізу усієї сукупності корозійних пошкоджень, виконаного в роботі [5], до розгляду максимальних у межах кожної секції значень глибини корозії.

При цьому для опису глибини корозійних пошкоджень доцільно використати імовірнісну модель розподілу максимальних значень, яка широко застосовується для дослідження й нормування навантажень і впливів на будівельні конструкції, а також інших природних і техногенних явищ [1, 2, 3]. Досвід вказаних робіт показує, що ця ймовірнісна модель є більш простою, ніж моделі випадкових функцій, але дозволяє досить точно відобразити явища та величини, для яких визначальну роль відіграють їх максимальні значення.

Основна частина

Для проведення статистичного аналізу вибрано 8 ділянок нафтопроводу «Лисичанськ – Кременук» (загальна протяжність 418 км) з різними експлуатаційними умовами. За результатами

внутрішньотрубною діагностики, що виконується згідно зі стандартами [7, 8], встановлені максимальні в межах кожної секції значення глибини корозійних пошкоджень. Як приклад на рисунку 1 наведена послідовність максимальних значень глибини корозії на ділянці 1, яка по суті є реалізацією випадкової функції максимальної глибини корозії.

З рисунка видно, що для наведеної реалізації характерні зосередження корозійних пошкоджень на одних відрізках та їх повна відсутність на інших. Найбільша глибина корозійного пошкодження сягає 3,4 мм, а на значній частині секцій корозійні пошкодження відсутні. Наявність досить великої кількості непошкоджених секцій характерна також для інших ділянок трубопроводу, що добре видно з таблиці 1, де

наведені узагальнені характеристики максимумів корозійних пошкоджень.

З таблиці видно, що на різних ділянках частка пошкоджених секцій коливається від 43 до 82 %, а найбільша в межах ділянки глибина корозійних пошкоджень змінюється від 2,8 до 5,1 мм, тобто може перевищувати половину початкової товщини труби.

Результати статистичної обробки отриманих вибірок максимумів для кожної з розглянутих ділянок нафтопроводу наведені в таблиці 2. Обсяги вибірок N дорівнюють кількості секцій, що мають корозійні пошкодження, а через C позначені частки пошкоджених секцій відносно їх загальної кількості на даній ділянці. По суті значення C виражає імовірність виникнення пошкоджень в секції трубопроводу. Оцінки середнього

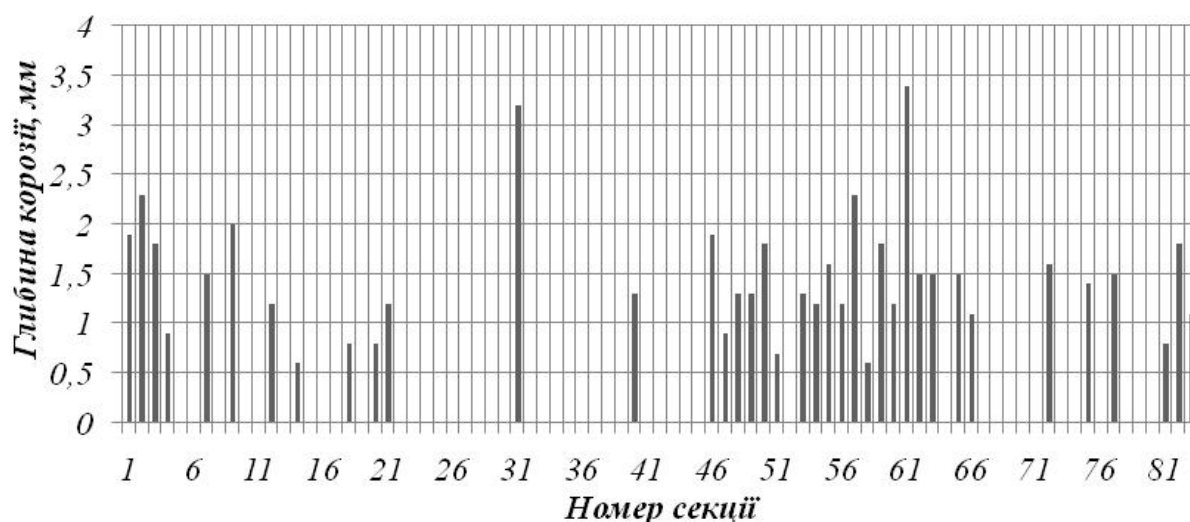


Рисунок 1. Максимальні в межах секцій значення глибини корозії на ділянці 1.

Таблиця 1. Загальна характеристика корозійних пошкоджень ділянок трубопроводу

№ ділянки	Розміщення ділянки по трасі МН, км	Загальна кількість секцій, шт.	Кількість пошкоджених секцій N , шт.	Частка пошкоджених секцій C , %	Найбільша глибина пошкодження, мм
1	243–244	84	38	45,2	3,4
2	247–248	139	69	49,6	3,6
3	249–250	74	32	43,2	4,1
4	324–325	94	77	81,9	2,8
5	353	43	23	53,5	5,1
6	388	30	25	83,3	3,6
7	398–399	54	25	46,3	4,8
8	406–407	34	23	67,6	3,2

значення M , стандарту S і коефіцієнта варіації V обчислені в середовищі Excel за відомими формулами математичної статистики.

Спроби встановити взаємні залежності між отриманими характеристиками відображені на рисунку 2. Максимальна виявлена глибина корозії має тенденцію до зменшення при зростанні частки секцій C , що мають корозійні пошкодження, але ця залежність сильно розмита з коефіцієнтом кореляції $-0,55$. Середнє значення й стандарт глибини корозії практично не пов'язані з величиною C (коефіцієнти кореляції за модулем не перевищують $0,16$). Виявлена залежність підкреслює випадковість локалізації корозійних пошкоджень та їх обумовленість якістю сталі: найбільше пошкодження виникає не в зоні, де утворюється багато корозійних виразок унаслідок впливу агресивного середовища, а в окремій точці з погіршеними властивостями сталі.

Зображена на рисунку 2 залежність стандарту від середнього значення глибини корозії має коефіцієнт кореляції $0,83$ і свідчить про те, що при загальному зростанні середньої глибини корозії пропорційно зростає також розкид глибини корозійних пошкоджень у різних точках. Коефіцієнт варіації при цьому змінюється в нешироких межах – від $0,38$ до $0,59$ при середньому значенні $0,45$. Відносна стабільність коефіцієнта варіації може бути використана при узагальненні даних про корозійні пошкодження трубопроводів.

Характерні приклади гістограм розподілу проаналізованих вибірок наведені на рисунку 3.

Природа досліджуваних випадкових величин (максимальні значення глибини корозії) та вигляд наведених на рисунку 3 гістограм обумовлюють використання для їх імовірнісного опису подвійного експоненціального закону роз-

Таблиця 2. Результати статистичної обробки отриманих вибірок максимумів для розглядуваних ділянок

№ ділянки	Загальна кількість секцій, шт.	Обсяг вибірки (кількість пошкоджених секцій) N , шт.	Частка пошкоджених секцій C	Середнє значення M	Стандарт S	Коефіцієнт варіації V , %
1	84	38	0,452	1,47	0,617	0,420
2	139	69	0,496	1,25	0,562	0,451
3	74	32	0,432	1,79	0,757	0,424
4	94	77	0,819	1,33	0,500	0,376
5	43	23	0,535	2,00	1,180	0,591
6	30	25	0,833	2,04	0,904	0,442
7	54	25	0,463	1,86	1,013	0,544
8	34	23	0,676	1,89	0,716	0,379

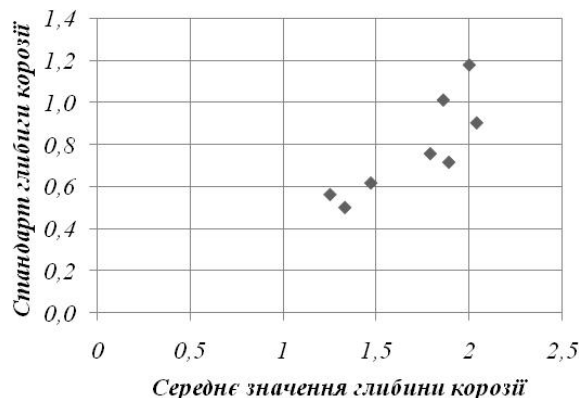
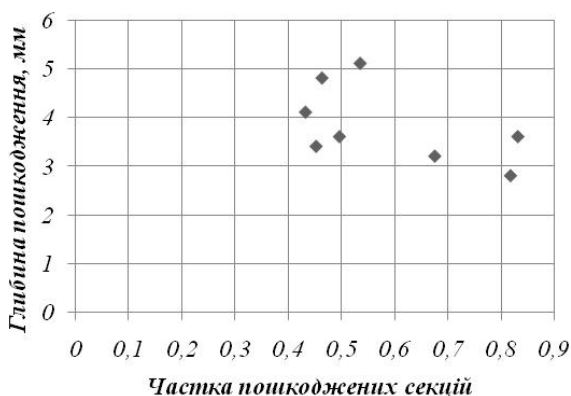


Рисунок 2. Залежності між статистичними характеристиками глибини корозії.

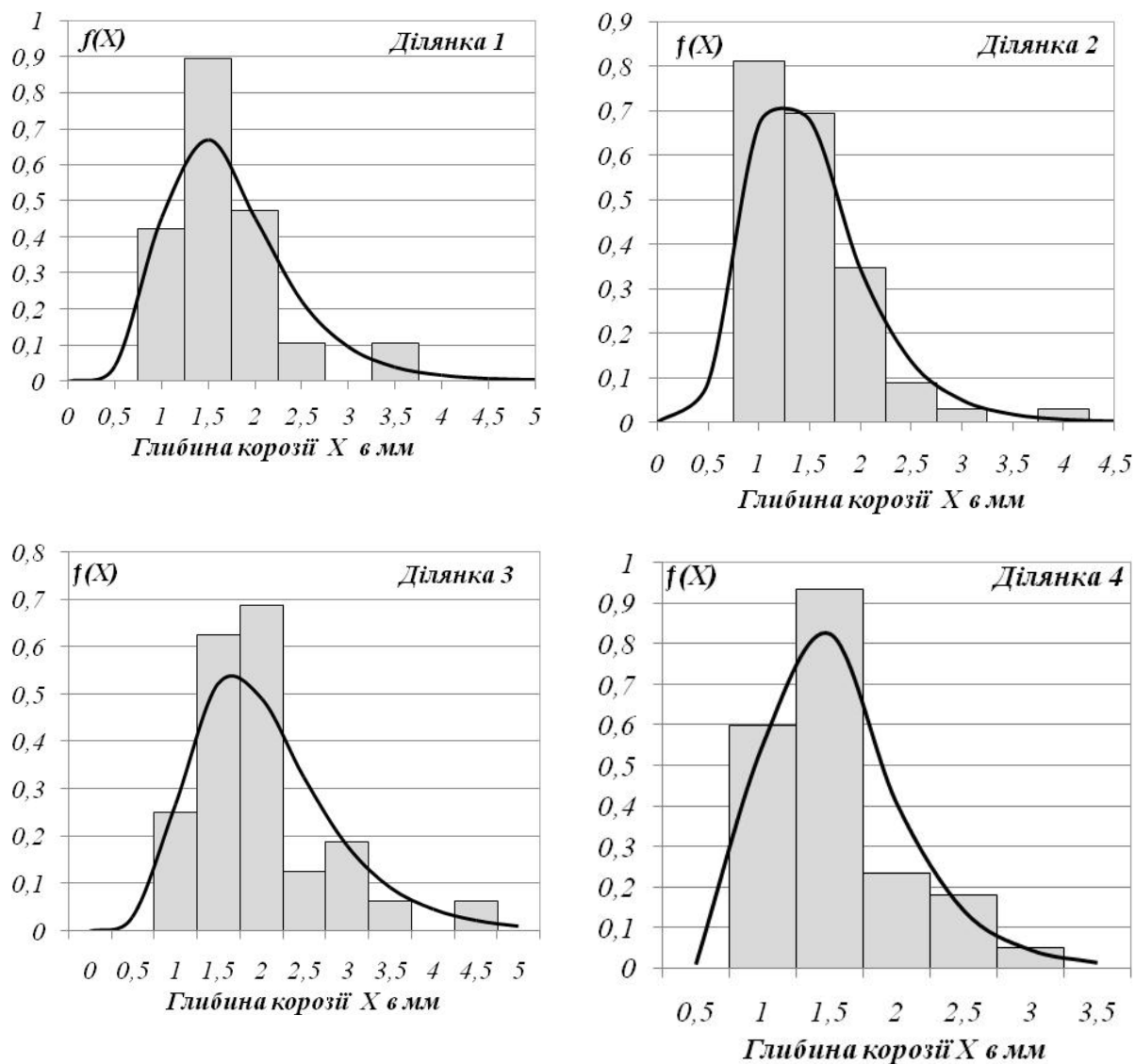


Рисунок 3. Характерні приклади гістограм розподілу максимальних значень глибини корозії.

поділу Гумбеля [2], який широко використовується для ймовірнісного подання вибірок максимальних значень різних випадкових величин, у тому числі кліматичних навантажень і впливів на будівельні конструкції [1, 4].

Закон Гумбеля має нескінченну область визначення та правосторонню асиметрію з фіксованим коефіцієнтом асиметрії $A = 1,14$. Аналітичні вирази густини і інтегральної функції розподілу Гумбеля мають вигляд

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp\left[\frac{\alpha-x}{\beta} - \exp\left(\frac{\alpha-x}{\beta}\right)\right], \quad (1)$$

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(\frac{\alpha-x}{\beta}\right)\right], \quad (2)$$

де x – значення досліджуваної випадкової величини (у нашому випадку – глибини корозійного пошкодження);

α і β – параметри, що визначаються через математичне сподівання M і стандарт S вибірки максимумів за методами та формулами

$$\alpha = M - k_\alpha S; \quad \beta = k_\beta S. \quad (3)$$

У граничному випадку, при достатньо великому обсязі екстремальної вибірки, коефіцієнти у формулі (1) можна наближено приймати рівними $k_\alpha = 0,45$ і $k_\beta = 0,78$ [2]. Більш точно перехідні

коефіцієнти рекомендується визначати з урахуванням обсягу вибірки екстремумів N за таблицею Е. Гумбеля з [2], яка в [4] апроксимована формулами:

$$\begin{aligned} k_a &= 0,45 + 0,34 N^{-0,69}, \\ k_b &= 0,78 + 1,54 N^{-0,75}. \end{aligned} \quad (4)$$

Параметри розподілу Гумбеля для усіх розглянутих ділянок нафтопроводу обчислені за формулами (4) і вказані в таблиці 3. Криві густини розподілу (1) з цими параметрами, зображені на рисунку 2, задовільно описують дослідні гістограми.

В таблиці 3 наведені також результати перевірки узгодженості закону розподілу Гумбеля з дослідними гістограмами за критерієм Пірсона [3]: значення критерію χ^2 , кількість ступенів свободи K та рівень значимості α , на якому розподіл Гумбеля не суперечить дослідній гістограмі.

Для усіх восьми проаналізованих розподілів отримано рівні значимості α , не менші за 0,06. Оскільки в технічних дослідженнях вважається достатнім рівень значимості $\alpha \geq 0,05$, усі проана-

лізовані розподіли можна описувати законом Гумбеля (1), (2).

Висновки

Формула (2) дозволяє обчислити імовірність того, що глибина корозії не перевищує заданого значення X . При цьому слід урахувати, що закон розподілу Гумбеля описує лише значимі частини вибірок глибини корозійних пошкоджень (сукупність ненульових значень), а тому результат обчислення за формулою (2) є імовірністю, що відноситься до сукупності пошкоджених секцій. Для визначення ймовірності відносно усіх секцій обраної ділянки трубопроводу отриманий результат слід перемножити на частку секцій, що мають корозійні пошкодження, позначену в таблицях 2 і 3 через C . Окрім того, з урахуванням закону розподілу глибини корозійних пошкоджень (1, 2) можна перейти до оцінювання показників надійності лінійних частин магістральних нафтопроводів, наприклад використавши методу [6]. Попередньо визначивши залишковий резерв міцності трубопроводів з дефектами на основі прийнятих норм, стандартів і методик [9–11].

Таблиця 3. Результати перевірки узгодженості розподілу Гумбеля з дослідними гістограмами

№ ділянки	Загальна кількість секцій, шт.	Частка пошкоджених секцій, C	Параметри розподілу Гумбеля		Статистика критерію Пірсона, χ^2	Кількість ступенів свободи, K	Рівень значимості, α
			α	β			
1	84	0,452	1,174	0,543	6,81	3	0,08
2	139	0,496	0,985	0,475	6,15	4	0,19
3	74	0,432	1,423	0,677	5,77	5	0,33
4	94	0,819	1,098	0,420	4,57	2	0,10
5	43	0,535	1,418	1,094	8,47	7	0,29
6	30	0,833	1,604	0,829	4,31	3	0,23
7	54	0,463	1,371	0,930	12,17	6	0,06
8	34	0,676	1,541	0,663	3,88	3	0,27

Література

1. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения [Текст] / [В. Н. Гордеев, А. И. Лантух-Лашченко, В. А. Пашинський, А. В. Перельмутер, С. Ф. Пичугин]; под. общей ред. А. В. Перельмутера. – М.: Изд-во Асс. стр. вузов, 2006. – 482 с.

References

1. Gordeev, V. N.; Lantuh-Lashchenko, A. I.; Pashinskiy, V. A.; Perelmutter, A. V.; Pichugin, S. F. Edited by Perelmutter, A. V. Loads and effects on buildings and structures. Moscow: Publishing house of building Institute Society, 2006. 482 p. (in Russian)

2. Гумбель, Э. Статистика экстремальных значений [Текст] / Э. Гумбель. – М. : Мир, 1965. – 450 с.
3. Большев, Л. Н. Таблицы математической статистики [Текст] / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М. : ВЦ АН СССР, 1968. – 476 с.
4. Пашинський, В. А. Атмосферні навантаження на будівельні конструкції на території України [Текст] / В. А. Пашинський. – К. : УкрНДІПСК, 1999. – 185 с.
5. Пашинський, В. А. Методика статистичного аналізу результатів внутрішньотрубно́ї діагностики магістральних нафтопроводів [Текст] / В. А. Пашинський, Ж. Ю. Бескровна // Ресурсоекономні матеріали, конструкції та будівлі : Зб. наук. праць. – Рівне, 2013. – Випуск 25. – С. 570–575.
6. Пічугін, С. Ф. Про надійність металевих лінійних частин магістральних трубопроводів [Текст] / С. Ф. Пічугін, В. А. Пашинський, Ж. Ю. Бескровна // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса : Зовнішпрекламсервіс, 2012. – Випуск № 47, частина 1. – С. 275–279.
7. СОУ 60.3.31570412.001:2003. Магістральні нафтопроводи. Лінійна частина. Внутрішньотрубно́на діагностика. Планування, виконання і аналіз результатів [Текст]. – К. : ВАТ Укртранснафта, 2004. – 72 с.
8. RP0102. In-Line Inspection of Pipelines. Standard Recommended Practice [Текст]. – Anon : NACE Standard, 2002. – 25 p.
9. ASME B31G. Manual for determining the remaining strength of corroded pipeleines [Текст]. – New York : The American Society of Mechanical Engineers, 1991. – 56 p.
10. DNV-RP-F101. Corroded Pipelines. Recommended practice [Текст]. – Norway : Det Norske Veritas, 2004. – 42 p.
11. Development of limit load solutions for corroded gas pipeleines [Текст] / J. B. Choi, B. K. Goo, J. C. Kima et al. // Int. J. Pressure Vessel and Piping. – 2003. – 80, № 2. – P. 121–128.
2. Gumbel, E. Statistics of extremal values. Moscow: World, 1965. 450 p. (in Russian)
3. Bolshev, L. N.; Smirnov, N. V. Tables of mathematical statistics. Moscow: VTs AN USSR, 1968. 476 p. (in Russian)
4. Pashinskyi, V. A. Weather loads on building constructions within the territory of Ukraine. Kyiv: UkrNDIPSK, 1999. 185 p. (in Ukrainian)
5. Pashinskyi, V. A.; Beskrovna, Zh. Yu. Method of statistic analysis of in-line inspection results of oil-trunk pipelines. In: *Resource efficient materials, constructions and buildings. Edited volume*. Rivne, 2013. Issue 25, p. 570–575. (in Ukrainian)
6. Pichugin, S. F.; Pashinskyi, V. A.; Beskrovna, Zh. Yu. About durability of steel lineal parts of transit pipelines. In: *Mercury of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*. Odesa: Zovnishreklamservis, 2012. Issue 47, Part 1, p. 275–279. (in Ukrainian)
7. SOU 60.3.31570412.001:2003. Oil-trunk pipeline. Lineal part, In-line inspection. Planning, carrying out and analysis of results. Kyiv: VAT Ukrtransnafta, 2004. 72 p. (in Ukrainian)
8. RP0102. In-Line Inspection of Pipelines. Standard Recommended Practice. Anon: NACE Standard, 2002. 25 p.
9. ASME B31G. Manual for determining the remaining strength of corroded pipeleines. New York: The American Society of Mechanical Engineers, 1991. 56 p.
10. DNV-RP-F101. Corroded Pipelines. Recommended practice. Norway: Det Norske Veritas, 2004. 42 p.
11. Choi, J. B.; Goo, B. K.; Kima, J. C. et al. Development of limit load solutions for corroded gas pipeleines. In: *Int. J. Pressure Vessel and Piping*, 2003, 80, № 2, p. 121–128.

Пашинський Віктор Антонович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельних, дорожніх машин і будівництва Кіровоградського національного технічного університету. Наукові інтереси: навантаження та впливи на будівельні конструкції, надійність будівельних конструкцій.

Бескровная Жанна Юрьевна – аспірант кафедри конструкцій із металу, дерева и пластмас Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Наукові інтереси: надійність магістральних трубопроводів, технічна експлуатація.

Пашинский Виктор Антонович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных, дорожных машин и строительства Кировоградского национального технического университета. Научные интересы: нагрузка и воздействия на строительные конструкции, надежность строительных конструкций.

Бескровная Жанна Юрьевна – аспирант кафедры конструкций из металла, дерева и пластмасс Полтавского национального технического университета имени Юрия Кондратюка. Научные интересы: надежность магистральных трубопроводов, техническая эксплуатация.

Viktor Pashinskyi – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Road Building Machines and Construction Department, Kirovograd National Technical University. Research interests: the load and impact on structures, the reliability of building structures.

Zhanna Beskrovna – graduate student, Designs from Metal, Wood and Plastics Department, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. Research interests: the reliability of pipelines, technical operation.