

3. F. Alshmri, «Lightweight material: aluminium high silicon alloys in the automotive», *Advanced Materials Research*, vols. 774-776, pp. 1271-1276, 2013. doi: [10.4028/www.scientific.net/AMR.774-776.1271](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.774-776.1271).
4. L.F. Mondolfo, *Aluminium alloys. Structure and properties*. Butterworth, 1976.
5. N.A. Belov, A.A. Aksenov, and D.G. Eskin, *Iron in aluminium alloys: impurity and alloying element*, 1st ed. CRC Press, 2002. doi: <https://doi.org/10.1201/9781482265019>.
6. *Fundamentals of aluminium metallurgy*, Roger N. Lumley, Ed., 1<sup>st</sup> ed. Woodhead Publishing, 2011.
7. M.A. Fon Pruss, «Способы та методы зміны морфології залізвмісних фаз у силумінах» [«Ways and methods of changing the morphology of iron-containing phases in silumins»], *Protsesy lyttia – Casting processes*, № 1(139), pp. 30-41, 2020. doi: [10.15407/plit2020.01.030](https://doi.org/10.15407/plit2020.01.030). (Ukr.)

Стаття надійшла 07.05.2024

Стаття прийнята 28.05.2024

УДК 671.774.35

doi: [10.31498/2225-6733.48.2024.310682](https://doi.org/10.31498/2225-6733.48.2024.310682)

© Григоренко В.У.<sup>1</sup>, Алексєєнко С.В.<sup>2</sup>, Головченко О.П.<sup>3</sup>

### РОЗВИТОК МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ПЛАНУЄМОЇ ПОПЕРЕЧНОЇ РІЗНОСТІННОСТІ ХОЛОДНОКАТАНИХ ТРУБ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИ РІЗНИХ ВАРІАНТАХ ВИКОНАННЯ ПОДАЧІ ТА ПОВОРОТУ

В останні роки в Україні почали застосовувати стани холодної прокатки труб, де можна виконувати різні режими подачі та повороту труби. Постановка проблеми. Потрібен метод, що дає можливість планувати при цьому поперечну різностінність труб. Ціль. Розробка методу визначення плануємої різностінності для проектування технології виробництва з забезпеченням регламентованої підвищеної якості труб по їх геометрії. Методика. Отримання експериментальних результатів з впливу режимів виконання подачі та повороту при холодній прокатці на поперечну різностінність труб. Режим 1 – подачу виконують перед прямим ходом, а поворот перед зворотним ходом кліті; режим 2 – подачу виконують перед прямим ходом, а поворот перед прямим та зворотним ходом кліті; режим 3 – подачу виконують у передньому і задньому положенні кліті, а поворот у задньому положенні; режим 4 – подачу та поворот виконують перед прямим та зворотним ходом кліті). Результати. З випробуваних режимів найбільш ефективним (з погляду виправлення поперечної різностінності труб заготовок, є режим 2 та режим 4. Наукова новизна. Вперше отримані додаткові експериментальні дані по величині поперечної різностінності труб при веденні процесу холодної прокатки труб з різними режимами виконання подачі і повороту перед прямим і зворотним ходом кліті. Показано, що ведення процесу холодної прокатки труб з подачею перед прямим і поворотом перед прямим і зворотним ходом кліті дає в 1,5 рази кращі показники по точності труб в порівнянні з подачею перед прямим ходом кліті та поворотом перед зворотним ходом кліті. Такі ж показники дає процес з подачею і поворотом перед прямим і зворотним ходом кліті. Практична значимість. Отримані результати потрібні при розробці технології з виготовлення труб з підвищеними вимогами до поперечної різностінності.

<sup>1</sup> д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Дніпро, ORCID: 0000-0002-1809-2842, [gvu135gvu@i.ua](mailto:gvu135gvu@i.ua)

<sup>2</sup> д-р техн. наук, професор, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-0320-989X

<sup>3</sup> аспірант, НТУ «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, ORCID: 0000-0003-3439-205X

**Ключові слова:** холодна прокатка труб, подача, поворот, поперечна різностінність.

**V.U. Hryhorenko, S.V. Alekseyenko, O.P. Holovchenko. Development of the method for determining the plane cross-wall diversity of cold-rolled pipes on the basis of experimental research with different options of feeding and turning.** In recent years, cold pipe rolling mills have been used in Ukraine, where it is possible to perform different modes of feeding and turning the pipe. Formulation of the problem. We need a method that makes it possible to plan the cross-wall variation of the pipes. Goal. Development of a method for determining the planned diversity for the design of production technology to ensure the regulated increased quality of pipes according to their geometry. Methodology. Obtaining experimental results on the effect of feeding and turning modes during cold rolling on the cross-wall variation of pipes. Mode 1 – the feed is performed before the forward movement, and the turn before the reverse movement of the cage; mode 2 - the feed is performed before the forward movement, and the turn is performed before the forward and reverse movement of the cage; mode 3 – feeding is performed in the front and back position of the cage, and the turn is in the back position; mode 4 – feeding and rotation are performed before the forward and reverse movement of the cage). The results. Of the tested modes, mode 2 and mode 4 are the most effective (from the point of view of correcting the cross-sectional variation of the pipe blanks. Scientific novelty. First, additional experimental data were obtained on the magnitude of the cross-sectional variation of the pipes during the cold rolling process of the pipes with different modes of feeding and turning in front of the straight and It is shown that the process of cold rolling of pipes with feed in front of the direct and turning before the direct and reverse movement of the cage gives 1.5 times better indicators in terms of tube accuracy compared to feeding in front of the direct movement of the cage and turning before the reverse movement of the cage. The indicators are given by the process with forward and reverse motion of the cage. Practical significance. The obtained results are needed in the development of technologies for the production of pipes with increased requirements for transverse diversity.

**Key words:** cold rolling of pipes, feed, turn, transverse diversity.

**Постановка проблеми.** Одним з основних призначень процесу холодної прокатки труб є одержання високої точності їх геометричних параметрів (за поперечною різностінністю, розкидом середньої стінки у партії труб, овальністю труб та хвилястістю). В останні роки збільшуються об'єми поставок труб за європейськими нормами EN та американськими стандартами ASTM. Холодну пільгерну прокатку труб використовують ще й для виробництва труб з вуглецевих сталей, сплавів на основі титану, так і у виробництві труб з кольорових металів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням підвищення точності труб, що працюють під високим тиском, приділяють належну увагу [1].

Є дослідження з забезпечення якості труб регламентованими нормами та стандартам за точністю труб [2] та за мікроструктурою [3].

В Україні почали використовувати сучасні імпорتنі стани холодної прокатки труб (стани КРВ-25, ХПТ 40-8, ХПТ 6-20 та ін.), де можливо виконувати різні величини і сполучення подач і повороту труби в передньому та задньому положенню кліті [4].

Питаннями підвищення точності холоднодеформованих труб займаються також і в технологіях з застосуванням станів холодної періодичної роликової прокатки труб [5].

Велику кількість холоднодеформованих труб з підвищеною точністю по поперечній різностінності та спеціального і відповідального призначення виробляють з корозійностійких сталей та з сплавів титану [6].

Було проведено ряд досліджень мікроструктур, механічних властивостей та точності [7-9] при веденні процесу холодної прокатки труб з виконанням подачі та повороту труби з подачею та поворотом у передньому та задньому положеннях кліті.

**Мета статті** – розвинути метод визначення поперечної різностінності труб, що потрібно для розробки технологій виробництва точних труб, на основі представлених експериментальних

результатів по величині поперечної різностінності труб при веденні процесу холодної пільгерної прокатки труб з різними варіантами виконання подачі і повороту перед прямим і зворотним ходом кліті на стані ХПТ 6-20 (режим 1 – подачу виконують перед прямим ходом, а поворот перед зворотним ходом кліті; режим 2 – подачу виконують перед прямим ходом, а поворот перед прямим та зворотним ходом кліті; режим 3 – подачу виконують у передньому і задньому положенні кліті, а поворот у задньому положенні; режим 4 – подачу та поворот виконують перед прямим та зворотним ходом кліті).

**Виклад основного матеріалу.** Проведені дослідження впливу режиму повороту труби на поперечну різностінність. Для експерименту обрано маршрут 25x2,5 - 16x1,5 (стан ХПТ 6-20, сталь 08X18H10T). Прокатку здійснювали за наступними режимами:

- 1 – подача в задньому положенні кліті та поворот у передньому;
- 2 – подача в задньому положенні кліті та поворот у передньому й задньому положенні кліті;
- 3 – подача в передньому й задньому положенні кліті та поворот у передньому;
- 4 – подача в передньому й задньому положенні кліті та поворот у передньому й задньому положенні кліті.

При проведенні експерименту по кожному з режимів було прокатано по відрізьку труби довжиною близько метра із труби – заготовки рівної різностінності з різними подачами, отриманні дані представлені у таблиці 1.

Величини подачі склали: режим 1 і режим 2 –  $m = 2, 3, 4$  і 5 міліметрів; режим 3 і режим 4 –  $m = 2+2, 2,5+2,5, 3+3, 3,5+3,5$ , міліметра.

Таблиця 1

Експериментальні дані з абсолютної і відносної поперечної різностінності труб при веденні процесу ХПТ (стан ХПТ 6-20, сталь 08X18H10T)

Режим	Подача мм	Smax	Smin	Scp	Товщина стінки в крапках поперечного переріза, мм				Різностінність	
					S1	S2	S3	S4	мм	%
1	2	1,63	1,59	1,61	1,61	1,61	1,62	1,62	0,04	2,48
	3	1,67	1,63	1,64	1,64	1,67	1,66	1,63	0,04	2,56
	4	1,67	1,61	1,64	1,67	1,64	1,65	1,64	0,06	3,66
	5	1,7	1,65	1,67	1,66	1,66	1,67	1,65	0,05	3,01
2	2	1,64	1,61	1,62	1,63	1,62	1,62	1,61	0,03	1,85
	3	1,65	1,62	1,64	1,64	1,62	1,63	1,62	0,03	1,84
	4	1,64	1,60	1,62	1,61	1,6	1,62	1,64	0,04	2,47
	5	1,64	1,60	1,62	1,62	1,64	1,63	1,62	0,04	2,47
3	2+2	1,65	1,61	1,63	1,64	1,65	1,62	1,61	0,04	2,45
	2,5+ 2,5	1,65	1,61	1,63	1,61	1,63	1,64	1,64	0,04	2,46
	3+3	1,65	1,60	1,63	1,64	1,63	1,64	1,65	0,05	3,07
	3,5+ 3,5	1,65	1,60	1,62	1,61	1,61	1,62	1,65	0,05	3,08
4	2+2	1,65	1,63	1,64	1,65	1,64	1,64	1,63	0,02	1,22
	2,5+ 2,5	1,65	1,61	1,63	1,65	1,65	1,63	1,61	0,05	2,45
	3+3	1,66	1,62	1,64	1,64	1,66	1,62	1,64	0,04	2,44
	3,5+ 3,5	1,65	1,61	1,63	1,63	1,64	1,63	1,63	0,04	2,45

При подачі в задньому положенні кліті й повороті в передньому (таблиця 1, рис 1, режим 1) величина відносної різностінності склала з 2,48% до 3,66%.

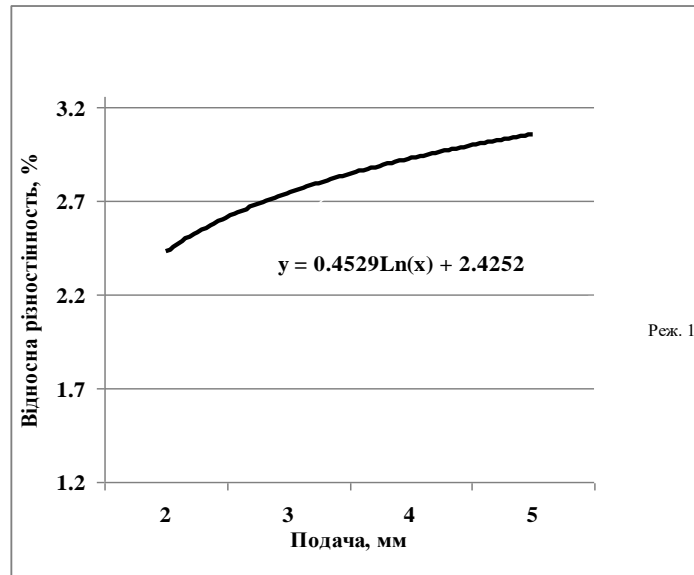


Рис. 1 – Відносна різностінність труб, прокатаних з подачею в задньому положенні кліті + поворот у передньому (25x2,5-16x1,5, стан ХПТ 6-20, сталь 08X18Н10Т)

При подачі в задньому положенні кліті й повороті у передньому й задньому положенні кліті (таблиця 1, рис. 2, режим 2) коливання товщин стінки стали менші (при подачі 2 мм відносна різностінність була 1,85%, а при подачі 5 мм – 2,47%).

З подвійною подачею в передньому й задньому положенні кліті і поворотом у передньому положенні кліті (таблиця 1, рис. 3, режим 3) коливання відносної різностінності були від 2.45% до 3.48%.

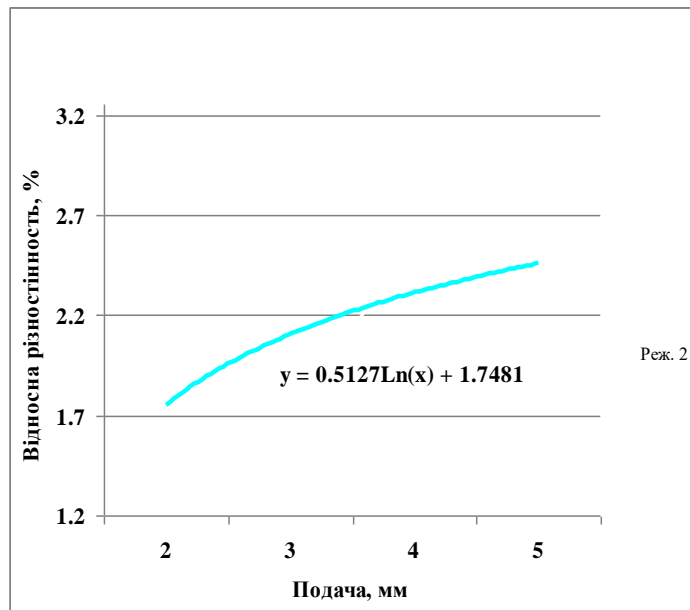


Рис. 2 – Відносна різностінність труб, прокатаних з подачею в задньому положенні кліті + поворот у передньому й задньому положенні кліті (25x2,5-16x1,5, стан ХПТ 6-20, сталь 08X18Н10Т)

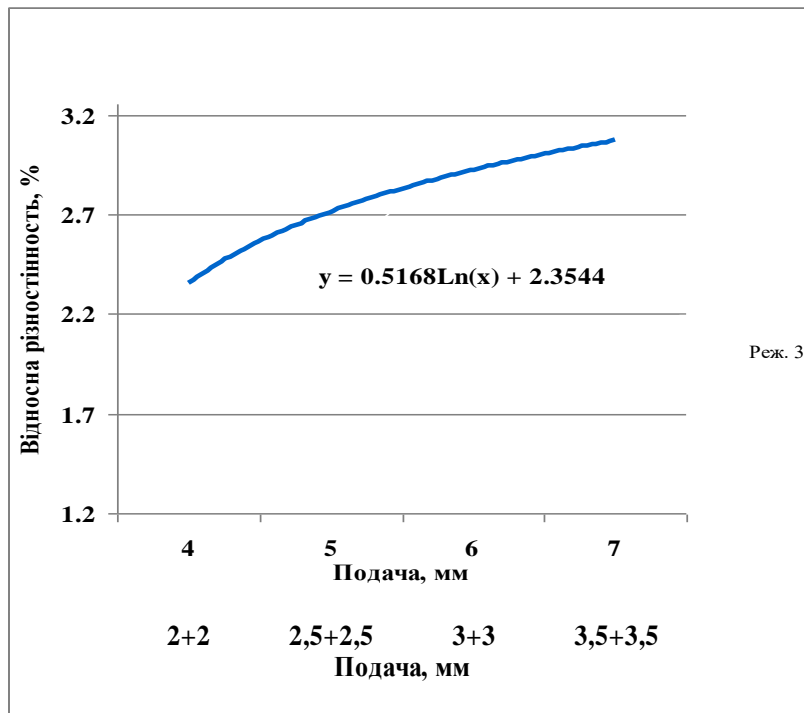


Рис. 3 – Відносна різностінність труб, прокатаних з подачею в передньому й задньому положенні кліті + поворот у передньому положенні кліті (25x2,5-16x1,5, стан ХПТ 6-20, сталь 08X18H10T)

Для процесу прокатки з подачею й поворотом у передньому й задньому положенні кліті (режим 4, рис. 4) рівень різностінності приблизно дорівнює режиму 2.

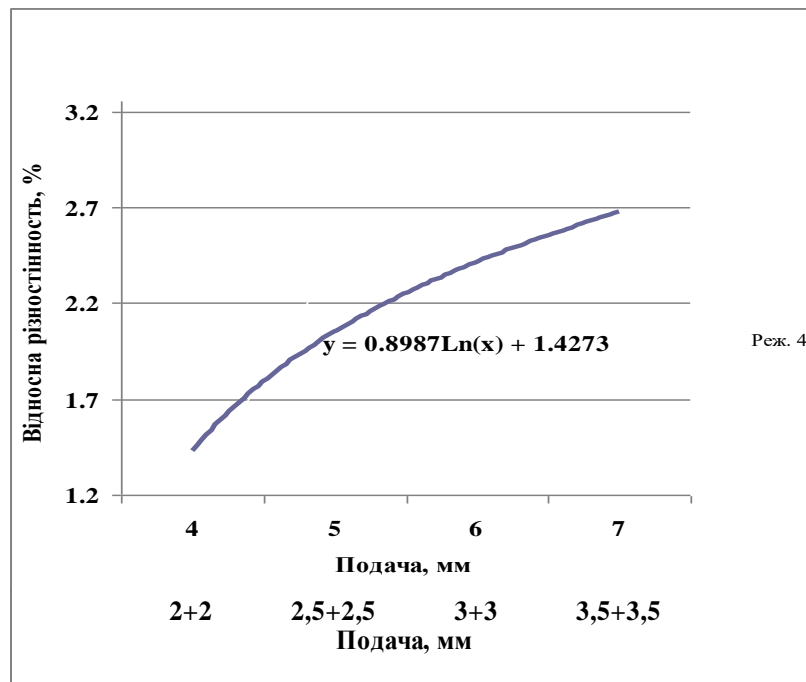


Рис. 4 – Відносна різностінність труб, прокатаних з подачею в передньому й задньому положенні кліті + поворот у передньому й задньому положенні кліті (25x2,5-16x1,5, стан ХПТ 6-20, сталь 08X18H10T)

Порівнюючи величини поперечної різностінності труб, отриманих при прокатці з одинарними й подвійними подачами, відповідно, при подачі в задньому й при повороті в передньому положеннях кліті (рис. 1) та при подачі в передньому й задньому положенні кліті й поворот у передньому й задньому положенні кліті (рис. 4), можна зробити висновок, що в процесі прокатки з подвійною подачею й поворотом навіть при подвійній подачі поперечна різностінність була менше, ніж при режимі прокатки з одинарною подачею в передньому положенні кліті й поворотом у задньому положенні кліті.

Наведені результати промислового експерименту по визначенню поперечної різностінності труб по чотирьом вищеназваним схемам ведення процесу холодної прокатки труб показали, що з випробуваних схем найбільш прийнятною з погляду виправлення поперечної різностінності є схема з подачею в передньому й задньому положенні кліті й поворотом у передньому й задньому положенні кліті.

Отримані експериментальні промислові результати з впливу режиму виконання подачі та повороту на поперечну різностінність труб є основою розвинутого методу з визначення планованої різностінності труб.

На основі результатів, представлених на рисунках 1-4 у вигляді значень поперечної різностінності чи у вигляді формул, що враховують величину подачі, можливо визначити плановану поперечну різностінність з урахуванням величин подачі та вибрати необхідний режим виконання подачі і повороту для забезпечення регламентових значень поперечної різностінності.

### Висновки

Вперше отримані додаткові експериментальні дані по величині поперечної різностінності труб при веденні процесу холодної пільгерної прокатки труб з різними варіантами виконання подачі і повороту перед прямим і зворотним ходом кліті на стані ХПТ 6-20 (подача в задньому положенні кліті та поворот в передньому положенні кліті; подача в задньому положенні кліті та поворот в передньому і задньому положенні кліті; подача в передньому і задньому положенні кліті та поворот в передньому і задньому положенні кліті; подача в передньому і задньому положенні кліті та поворот в передньому і задньому положенні кліті.).

Показано, що ведення процесу ХПТ з подачею перед прямим і поворотом перед прямим і зворотним ходом кліті дає в 1,5 разу кращі показники по точності труб в порівнянні з подачею перед прямим ходом кліті та поворот перед зворотним ходом кліті. Такі ж показники дає процес з подачею і поворотом перед прямим і зворотним ходом кліті.

### Перелік використаних джерел:

1. Manufacturing technologies and joining methods of metallic thin-walled pipes for use in high pressure cooling systems / S. McNair et al. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2022. Vol. 118(3-4). Pp.667-681. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07982-8>.
2. Мищенко А. В., Григоренко В. У. Експериментальне дослідження характеру перетинної різностінності при холодній пільгерній прокатці труб з сплаву титану ПТ1М. *Modern engineering and innovative technologies*. 2021. № 15. Part 2. Pp. 20-24. DOI: <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2021-1>.
3. Deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3Al-2.5V alloy / Pilipenko V., Grigorenko V., Kozechko V., Bohdanov O. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. Vol. 1. Pp. 078-083. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2021-1/078>.
4. Григоренко В. У., Пилипенко С. В., Головченко О. П. Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб і калібровки інструмента: монографія. Дніпропетровськ : Пороги, 2010. 120 с.
5. Міщенко О. В., Пилипенко С. В., Григоренко В. У. Дослідження зміни різностінності при прокатці тонкостінних труб на станах ХПТР. *Системні технології*. 2010. № 5(70). С. 37-46.
6. Міщенко О. В. Вплив хімічного складу титанових сплавів на межу міцності холоднокатаних труб. *Метал та лиття України*. 2020. Том 28. № 2. С. 41-49.
7. Головченко О.П., Григоренко В.У. Дослідження впливу на поперечну різностінність труб процесу холодної пільгерної прокатки з подвійною подачею та поворотом на сучасних

станах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2022. Вип. 71. С. 186-193. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/71.186>.

8. Holovchenko O., Grigorenko V., Protsiv V. (2023). Microstructures and mechanical properties of cold rolled pipes with increased small deformation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2023. Vol. 3. Pp. 054-059. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/054>.
9. Головченко О. П. Дослідження впливу режиму повороту труб в процесі холодної прокатки на мікроструктуру, механічні властивості та точності. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2023. Вип. 75. С. 127-135. DOI: <https://doi.org/10.33271/crpnmu/75.127>.

#### References:

1. S. McNair et al., «Manufacturing technologies and joining methods of metallic thin-walled pipes for use in high pressure cooling systems», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 118(3-4), pp. 667-681, 2022. doi: **10.1007/s00170-021-07982-8**.
2. O. Mishchenko, and V. Grygorenko, «Eksperymentalne doslidzhennia kharakteru peretynnoi riznostnosti pry kholodnii pilhernii prokattsi trub z splavu tytanu PT1M» [«Experimental research of the nature of transverse wall thickness variation in cold rolling of pipes of titanium alloy PT-1M»], *Modern engineering and innovative technologies*, № 15, part 2, pp. 20-24, 2021. doi: **10.30890/2567-5273.2021-1**. (Ukr.)
3. V. Pilipenko, V. Grigorenko, V. Kozechko, and O. Bohdanov, «Deformation mode in a cold rolling condition to provide the necessary texture of the Ti-3AL-2.5V alloy», *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol. 1. pp. 078-083, 2021. doi: **10.33271/nvngu/2021-1/078**.
4. V.U. Hryhorenko, S.V. Pylypenko, and O.P. Holovchenko, *Rozvytok metodu rozrakhunku parametriv protsesu kholodnoi pilhernoї prokatky trub i kalibrovky instrumenta: monohrafiia* [Development of the method of calculating parameters of the process of cold mill rolling of pipes and calibration of the tool: monograph]. Dnipropetrovsk, Ukraine: Porohy Publ., 2010. (Ukr.)
5. O.V. Mishchenko, S.V. Pylypenko, and V.U. Hryhorenko, «Doslidzhennia zminy riznostnosti pry prokattsi tonkostinnykh trub na stanakh KhPTR» [«Study of the change in wall thickness during rolling of thin-walled pipes on KPTR mills»], *Systemni tekhnologii – System technologies*, № 5(70), pp. 37-46, 2010. (Ukr.)
6. O.V. Mishchenko, «Vplyv khimichnoho skladu tytanovykh splaviv na mezhu mitsnosti kholodnokatanykh trub» [«Influence of the chemical composition of titanium alloys to the ultimate strength of coldrolled pipes»], *Metal ta lyttia Ukrainy – Metal and Casting of Ukraine*, № 3-4(322-323), pp. 41-49, 2020. (Ukr.)
7. O. Holovchenko, and V. Hrigorenko, «Doslidzhennia vplyvu na poperechnu riznostnist trub protsesu kholodnoi pilhernoї prokatky z podviinoiu podacheiu ta povorotom na suchasnykh stanakh» [«Investigation of the influence on the cross-wall difference of tubes of the double-feed and return cold pillar rolling process at the present conditions»], *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu – Collection of scientific works of the National Mining University*, vol. 71, pp. 186-193, 2022. doi: **10.33271/crpnmu/71.186**.
8. O. Holovchenko, V. Grigorenko, and V. Protsiv, «Microstructures and mechanical properties of cold rolled pipes with increased small deformation», *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, vol. 3, pp. 054-059, 2023. doi: **10.33271/nvngu/2023-3/054**.
9. O. Holovchenko, «Дослідження впливу режиму повороту труб в процесі холодної прокатки на мікроструктуру, механічні властивості та точності» [«Study of the influence of the mode of rotation of pipe in the cold rolling process on the microstructure, mechanical properties and accuracy»], *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu – Collection of scientific works of the National Mining University*, vol. 75, pp. 127-135, 2023. doi: **10.33271/crpnmu/75.127**.

Стаття надійшла 13.02.2024

Стаття прийнята 02.04.2024