

М.Д. Зінченко, О.Ю. Потап, А.А. Бурчак,

М.В. Михайловський, В.І. Шибакінський, Л.Х. Іванова

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ СОРТОВОГО ПРОКАТУ НА РЕЙКОБАЛОЧНИХ ТА ВЕЛИКОСОРТНИХ СТАНАХ

Анотація. Метою роботи є дослідження умов різання останньої штанги мірної довжини та залишку прокату в умовах нестабільної довжини розкату, що реалізуються як наслідок коливань розмірів заготовок та температурного режиму прокатки. Розкат ріжеться на штанги однієї мірної довжини відповідно замовленню, але коливання довжини розкату призводить до того, що остання штанга може бути або збільшеною, або скороченою. Якщо штанга збільшена, то величина залишку може бути занадто великою і, щоб не втрачати придатний прокат і не переводити залишок у відходи, останню штангу і залишок ріжуть на дві штанги нормальної довжини. В роботі показано, що величина залишку, починаючи з якого треба різати на дві штанги нормальної довжини, визначається економічною доцільністю, що дорожче – штанга мірної довжини та залишок або дві штанги нормальної довжини. Наведено вираз для отримання величини залишку в залежності від міри штанги мірної довжини, коефіцієнтів вартості штанг нормальної довжини та відходів. Для умов прокатки швелера 24 на стані 800 величина залишку складає 0,86 м. Показано, що для забезпечення максимального прибутку в залежності від величини залишку, остання штанга мірної довжини може бути порізана такими способами: на штангу мірної довжини та залишок, на дві штанги нормальної довжини або на штангу мірної довжини та штангу нормальної довжини.

Ключові слова: довжина розкату, різання, штанга мірної довжини, штанга нормальної довжини, залишок.

Постановка проблеми. При виробництві сортового прокату на великосортних і рейкобалочних станах прокат поставляється штангами мірної довжини відповідно замовленню, кратної мірної довжини, немірної довжини. Прокат виготовляється довжиною в межах від 4 м до 11,7 або 12 м. Різання готового прокату здійснюється на пилах гарячої різки, при цьому застосовуються різні схеми розкрою прокату [1].

Колівання довжини розкату, які обумовлені коливаннями розмірів заготовки, температури розкатів, зносом валків і підшипників, призводять до того, що остання штанга виявляється або мірної довжини із залишком, або скороченою, тобто немірної довжини. У випадку, якщо залишок перевищує величину технологічної обрізі, щоб запобі-

гти переводу у відходи придатного прокату, остання штанга мірної довжини і залишок ріжуться на дві штанги немірної нормальної довжини.

Однак виникає питання, починаючи з якої довжини залишку доцільно різати останню штангу мірної довжини і залишок на дві штанги немірної нормальної довжини.

Аналіз останніх досліджень. Для запобігання появи великих залишків, які можуть бути відправлені у відходи, на заготівельних станах застосовують різні схеми розкрою прокату, що забезпечують різання його на штанги кратної довжини і тим самим без залишковий розкрій прокату на пилах.

Але для станів, які виробляють товарну продукцію, такі схеми застосувати не можна. Наприклад, середньосортний стан 550 має довжину розкату на пилах з урахуванням передньої і задньої технологічної обрізі десь 50 м. Різання на штанги мірної довжини 12 м забезпечує отримання 4-х штанг з одного розкату. При коливаннях довжини розкату може бути отримана остання штанга нормальної довжини при скороченні довжини розкату і отримані дві штанги нормальної довжини замість останньої мірної штанги, якщо довжина розкату буде збільшена. І таким чином з'являється десь приблизно 25% штанг нормальної довжини.

Коливання довжини розкатів на станах гарячої прокатки обумовлені головним чином коливаннями температури розкату, які впливають на силу прокатки, пружну деформацію елементів прокатної кліти і валків, що призводить до змінення товщини розкату і, тим самим, його довжини.

В рейкобалочному цеху технологічний процес реалізований наступним чином. Розкат після прокатки на блюмінгу ріжеться на парогідравлічному ножі на частини, які транзитом без проміжного підігріву поступають на стан 800. В залежності від типу прокату різання може виконуватися на дві і більше частин, які прокатуються послідовно одна за одною, в результаті чого кожна наступна частина за рахунок остигання має температуру нижчу, ніж попередня, що призводить до збільшення товщини розкату і зменшення довжини розкату. Наприклад, при прокатці швелера 24 різниця в товщині між частинами в залежності від кількості частин складала 0,3-0,5 мм, різниця в масі погонного метра – 0,7-1,0 кг [2] .

На середньосортному стані 550 нагрів заготівки здійснюється у двох нагрівальних печах, що створює коливання температури заготівки. Крім цього, нагрівання заготівки різної довжини теж призводить до появи коливань температури - короткі заготівки нагріваються до більш високій температури [3]. Коливання товщини прокату на стані для різних профілів складають до 0,2 мм, коливання довжини прокату $\pm 0,35-0,8$ м.

Основний матеріал дослідження. В таблиці 1 наведені експериментальні дані коливань довжини розкатів, які отримані на різних прокатних станах [4]. Стан 550-1 – це стан з лінійним розташуванням прокатних клітей. При прокатці на подібних станах дуже часто виникають затримки розкатів в лінії стана, що призводить до коливань температури розкатів. Стан 800 теж лінійного типу, але коливання температури тут відбуваються за рахунок остигання частин розкатів після різання на парогідравлічному ножі. Стан 550-2 – це стан з послідовним розташуванням прокатних клітей, які розташовані в

дві лінії. Причини коливань температури: нагрів в двох печах, різна довжина заготівок, затримки при прокатці. Але цей стан оснащений прокатними клітьми з підвищеною жорсткістю за рахунок попереднього напруження клітей, що зменшує пружну деформацію елементів клітей та вплив температури на товщину розкатів.

Таблиця 1

Параметри гістограм довжини розкату

№ з/п	Профіль	Серед- нє знач. м	Дис- пер- сія, м ²	СКВ* м	Три СКВ, м	Міні- мальне знач. м	Мак- сим. знач. м	Різ- ниця, м
1	Швелер 12,ст.550-1	51,30	0,144	0,38	1,14	50,4	52,08	1,68
2	Кутик 80 ст.550-1	50,06	0,11	0,33	0,99	49,28	50,60	1,32
3	Швелер 24 стан 800, уся вибірка	87,99	6,00	2,45	7,35	82,17	90,80	8,63
4	Швелер 24 стан 800, 1 частина	90,02	0,299	0,55	1,64	89,1	90,80	1,7
5	Швелер 24 стан 800, 2 частина	88,62	1,53	1,24	3,71	87,2	90,10	2,9
6	Швелер 24 стан 800, 3 частина	85,30	5,69	3,39	7,17	82,17	87,40	5,23
7	Кутик 90, стан 550-2	46,11	0,236	0,49	1,46	44,95	46,85	1,90
8	Швелер 10 стан 550-2	49,49	0,014	0,12	0,35	49,32	49,72	0,40
9	Швелер 14 стан 550-2	36,44	0,017	0,13	0,39	36,26	36,76	0,5
10	Швелер 16 стан 550-2	36,79	0,072	0,27	0,80	35,66	37,16	1,5

*СКВ – середньоквадратичне відхилення

З таблиці 1 виходить, що коливання довжини розкатів, які обумовлені коливаннями температури розкатів, відбуваються для стана 550-1 в межах ± 1 м, для стана 800 – $\pm 3,71$ м, коливання довжини 3-ої частини обумовлені коливаннями маси злитка, для стана 550-2 коливання значно менше – від $\pm 0,35$ до $\pm 0,8$ м. Ці коливання довжини розкатів призводять при різанні на пилах до появи штанг нормальної довжини.

В таблиці 2 наведений аналіз процесу різання на пилах розкатів швелера 24, який виконаний для довжин розкатів, що були отримані за результатами експериментальних досліджень на стані 800. При проведенні експериментальних досліджень вимірювалась довжина розкатів, на пилах відбирались проби розкатів, які обмірювались та зважувались, щоб визначити масу погонного метра.

Різання відбувалось на довжину мірних штанг 11 м. Виходячи з цього порахували, яка буде кількість штанг мірної довжини, їх довжина та маса, штанг нормальної довжини, їх довжина та маса, а також довжина та маса залишків.

Сума довжин технологічної обрізі переднього і заднього кінців складала 1,6 м.

Таблиця 2

Експериментальні дані довжини розкату, штанг мірної та нормальної довжини, їх мас, які отримані при прокатці на стані 800 швелера 24

№ з/п	Дов- жи-на розка- ту м	Маса погон. метра, кг	Маса розка- ту кг	Дов- жи-на мір- них штанг , м	Маса мір- нихш- танг, кг	Дов- жи-на нор- маль- них штанг , м	Маса нор- маль- них штанг , кг	Дов- жи-на за- лиш- ку м	Маса за- лиш- ку кг	Маса обрізі, кг
1	88,3	22,99	2004	77	1770	9,7	223	—	—	36,78
2	89,1	23,76	2117	77	1829	10,5	249	—	—	38,02
3	88,1	24,51	2159	77	1887	9,5	232	—	—	39,22
4	82,17	24,3	1997	66	1603	14,57	354	—	—	38,88
5	89,9	23,02	2069	88	2025	—	—	0,3	6,91	36,83
6	88,8	22,43	1992	77	1727	10,2	228	—	—	35,89
7	82,37	24,47	2016	66	1615	14,77	361	—	—	39,15
8	90,8	22,56	2048	88	1985	—	—	1,2	27,01	36,1
9	87,2	23,18	2021	77	1784	8,6	199	—	—	37,09
10	86,07	24,16	2079	77	1860	7,47	180	—	—	38,66
11	90,1	22,71	2046	88	1998	—	—	0,5	11,36	36,34
12	90	22,42	2018	88	1972	—	—	0,4	8,97	35,87
13	86,87	24,05	2089	77	1851	8,27	198	—	—	38,48
14	90,2	23,27	2099	88	2047	—	—	0,6	13,97	37,23
15	90,1	23	2072	88	2024	—	—	0,5	11,5	36,8
16	87,4	24,15	2111	77	1859	8,8	212	—	—	38,64
17	90	23,23	2091	88	2044	—	—	0,4	9,29	37,17
18	87,5	23,59	2064	77	1816	8,9	209	—	—	37,74
19	86,9	24,01	2086	77	1848	8,3	199	—	—	38,42
%	100		100	90,79	90,74	7,15	7,27	0,23	0,23	1,82

Таким чином експериментальні дослідження свідчать, що коливання довжини розкатів відбуваються в значних межах та призводять до появи, крім технологічної обрізі, штанг нормальної довжини і залишків.

Метою дослідження є аналіз умов процесу різання для забезпечення максимального прибутку при реалізації виробленого прокату.

Зрозуміло, що необхідно виходити з економічної доцільності, що коштує дорожче: штанга мірної довжини і залишок або дві штанги нормальної довжини. При цьому треба враховувати обмеження, які накладаються обладнанням, технологічним процесом прокатки та процесом різання розкату на пилах.

Ця умова може бути записана у наступному вигляді:

$$Cl_m + K_{отх} Cl_x = K_{норм} C(l_m + l_x), \quad (1)$$

де C – вартість 1 т штанг мірної довжини; l_m – довжина штанги мірної довжини; l_x – довжина залишку; $K_{відх}$ – коефіцієнт вартості відходів; $K_{норм}$ – коефіцієнт вартості штанг нормальної довжини.

Коефіцієнти вартості відходів і штанг нормальної довжини визначаються відносно вартості штанг мірної довжини і є безрозмірними.

Після перетворення виразу (1) отримаємо вираз для залишку l_x :

$$l_x = \frac{(1 - K_{норм})}{(K_{норм} - K_{відх})} l_m. \quad (2)$$

Можуть бути застосовані різні схеми різання залишку готового розкату в залежності від його довжини: різання на штангу мірної довжини і залишок, різання на дві штанги нормальної довжини, різання на штангу мірної довжини і штангу нормальної довжини. Але при цьому необхідно дотримуватися умови, щоб вартість отриманих після різання штанг була максимальною.

На рис. 1 наведені залежності умовної вартості прокату при різанні залишку за вказаними вище схемами різання для профілю швелер 24, які отримані для штанги мірної довжини 11,7 м і коефіцієнтів вартості $K_{норм} = 0,94$, $K_{відх} = 0,12$. Значення коефіцієнтів обрані виходячи з цін на прокат мірної і нормальної довжини та відходи. Довжина залишку, при якому прокат доцільно різати на дві штанги нормальної довжини складає 0,86 м.

Залежність 1 відповідає випадку різання на штангу мірної довжини і залишок, залежність 2 відповідає випадку різання на дві штанги нормальної довжини, залежність 3 відповідає випадку різання на штангу мірної довжини і штангу нормальної довжини.

Залежність 1 побудована за виразом:

$$V = l_m + K_{відх} * l_x. \quad (3)$$

Залежність 2 побудована за виразом:

$$V = K_{норм} (l_m + l_x). \quad (4)$$

Залежність 3 побудована за виразами:

$$\begin{aligned} V &= l_m + K_{відх} l_x, \text{ якщо } l_x \leq l_{норм.min} \\ V &= l_m + K_{норм} l_x, \text{ якщо } l_x \geq l_{норм.min} \end{aligned} \quad (5)$$

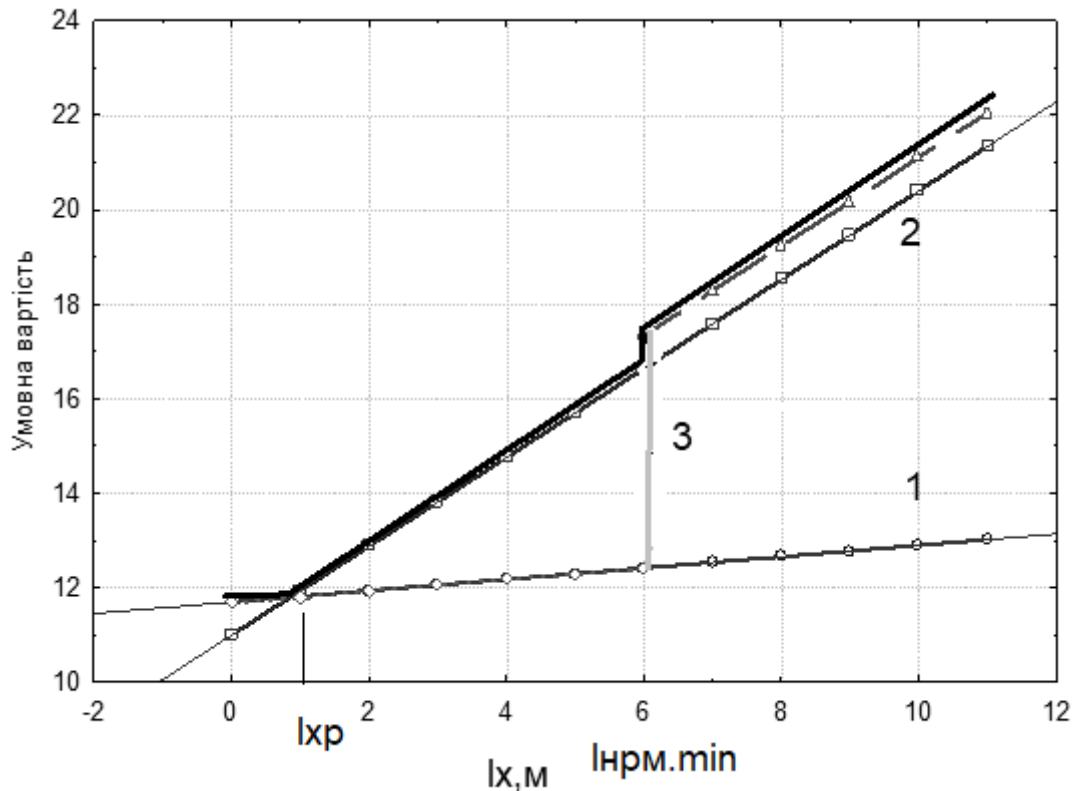


Рисунок 1 - Залежність умовної вартості від довжини залишку
 l_{xp} – розрахункове значення залишку, $l_{нрм.мін}$ – мінімальне значення
 довжини штанги нормальної довжини

Залежність 3 має ламаний характер, це обумовлено тим, що мінімальна довжина штанги нормальної довжини за технологічними умовами для швелера 24 становить 6 м. Тому, поки залишок не перевищує величину мінімального значення довжини штанги нормальної довжини дана залежність повторює залежність 1, тобто є мірна довжина штанги і залишок. Як тільки залишок стане рівним мінімальному значенню штанги нормальної довжини, то в цьому випадку відбувається стрибок на величину штанги нормальної довжини і, далі, залежність 3 йде паралельно і вище залежності 2.

Очевидно, що ламана крива, яка обмежує вказані залежності, забезпечуватиме максимальний рівень доходу, а це вказує на те, що для отримання максимального доходу в залежності від величини залишку необхідно застосовувати різні схеми різання залишку.

На рис. 2 наведена залежність залишку від коефіцієнту вартості штанг нормальної довжини, яка показує яким повинен бути залишок, після якого може бути виконано економічне доцільне різання на штанги нормальної довжини. Ця залежність описується рівнянням

$$l_x = 39,29 - 66,74x + 27,48x^2. \quad (6)$$

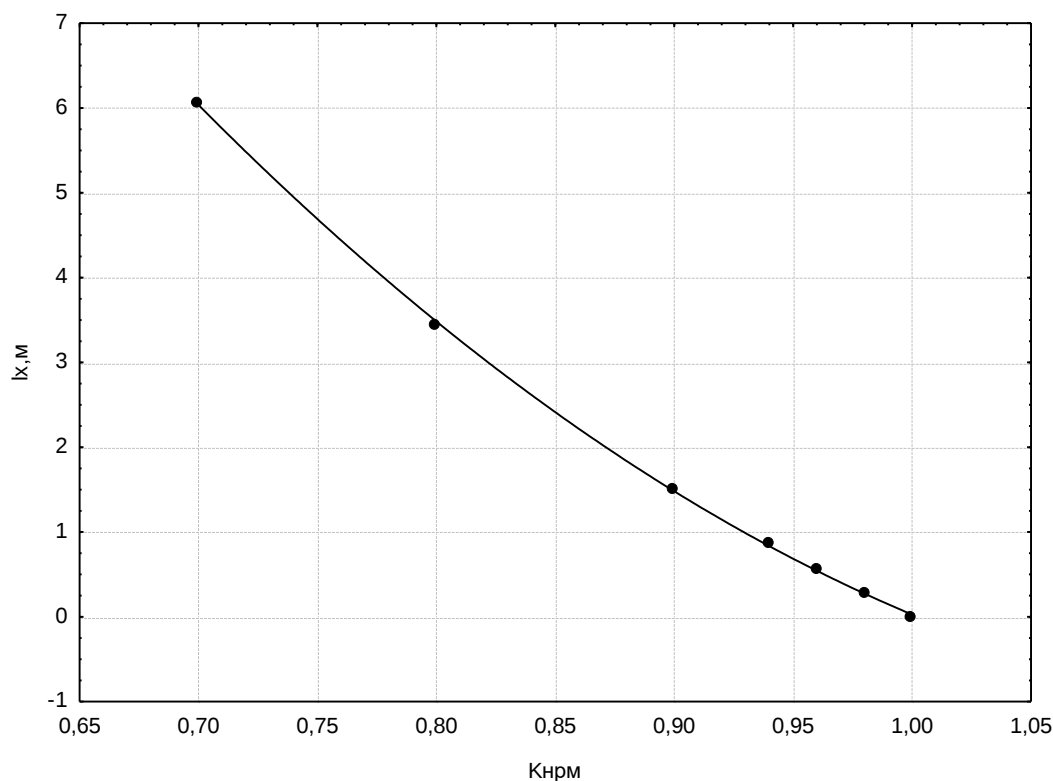


Рисунок 2 - Залежність величини залишку від коефіцієнту вартості штанг нормальної довжини

Висновки. Аналіз процесу різання показав, що визначення різання останньої штанги та залишку на дві штанги нормальної довжини треба здійснювати в залежності від довжини залишку, яка залежить від довжини мірної штанги та коефіцієнтів вартості штанг нормальної довжини та відходів. Для забезпечення максимального рівня доходів від реалізації прокату треба різання розкату здійснювати такими способами: на штангу мірної довжини та залишок, на дві штанги нормальної довжини або на штангу мірної довжини та штангу нормальної довжини, але при цьому необхідно дотримуватися критерію максимальної вартості отриманих після різання штанг.

ЛІТЕРАТУРА

1. Технологічна інструкція з виробництва сортового прокату на стані 550-2 прокатного цеха № 2 ТІ 233-ПС-02-96. ДМЗ, 1997. 447 с.
2. Экспериментальное исследование точности процесса прокатки швеллеров на стане 800. Зінченко М.Д., Щербина Г.С., Устименко А.В., Григоренко Н.Д. Тезисы докладов и совещаний республиканской научно-практической конференции «Союз науки и практики к 100-летию Петровки», 1987 г., Днепропетровск, ДметИ. С.109-110.
3. Застосування непрямих методів оцінки змінення товщини прокату внаслідок впливу зношення обладнання прокатної кліти. Зінченко М.Д., Потап О.Ю., Шибакінський В.І. Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. УДУНТ, 2023. № 26. С. 38-51.
4. Экспериментальное исследование влияния параметров прокатки на длину раската. Зінченко М.Д., Тартачний В.С. Металлургическая и горнорудная промышленность, №

8-9, 2000. Труды 5-й Международной научно-технической конференции «Теоретические проблемы прокатного производства».

REFERENCE

1. Tekhnolohichna instruktsia z vyrobnytstva sortovogo prokatu na stani 550-2 prokatnogo tsekha № 2 TI 233-PS-02-96.DMZ. Dnipro, 1997. 447 s.
2. Eksperimentalnoe issledovanie tochnosti procesa prokatki shveleriv na stane 800. Zinchenko M.D., Scherbina G.S., Ustimenko A.V., Grigorenko N.D. Tezisy dokladiv i soveschaniï respublikansloi nauchno-prakticheskoi konferencii «Souz nauki i praktiki k 100-letiu Petrovki», 1987 g, Dnepropetrovsk, DMetI, S.109-110.
3. Zastosuvanna nepraymux metodiv ocinki zminennay tovschinu prokatu vnaslidok vplyvy znoshennay obladnnyay prokatnoi kliti. Zinchenko M.D., Potap O.U., Shybakinskyi V.I. Suchasni problemu metalurgii. Naukovi visti. UDUNT, 2023, № 26, S. 38-51.
4. Eksperimentalnoe issledovanie vliayniay parametrov prokatki na dlinu raskata. Zinchenko M.D., Tartachny V.S. Metalurgicheskay i gornorudnay promyshlenoct, № 8-9, 2000, Trudy 5 Mejdunarodnoi nauchno-texnicheskoi konferencii «Teoreticheskie problemy prokatnogo proizvodstva».

Research of the cutting process of rolled section steel on rail-beam and large-size rolling mills

The aim of the work is to study the conditions of cutting the last bar of the measured length and the remaining rolled product under conditions of unstable rolling length, which are realized as a result of fluctuations in the sizes of the blanks and the temperature regime of rolling.

The roll is cut into bars of the same measured length according to the order, but fluctuations in the length of the roll result in the last bar being either longer or shorter.

If the bar is increased, then the amount of the remainder may be too large and, in order not to lose suitable rolled product and not to transfer the remainder to waste, the last bar and the remainder are cut into two bars of normal length.

The work shows that the amount of the remainder, starting from which it is necessary to cut into two bars of normal length, is determined by economic feasibility, which is more expensive – a bar of measured length and a remainder or two bars of normal length.

An expression is given for obtaining the residual value depending on the size of the bar of the measured length, the cost coefficients of the bars of the normal length and waste. For the conditions of rolling the channel 24 on the mill 800, the remainder value is 0.86 m.

It is shown that to ensure maximum profit depending on the remainder value, the last bar of the measured length can be cut in the following ways: into a bar of the measured length and the remainder, into two bars of the normal length or into a bar of the measured length and a bar of the normal length.

Keywords: *rolling length, cutting, bar of measured length, bar of normal length, remainder.*

Received 30.05.2025.
Accepted 03.06.2025.

Зінченко Михайло Дмитрович - к.т.н., доцент, кафедра автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

Потап Олег Юхимович - к.т.н., професор, кафедра автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

Бурчак Андрій Анатолійович - старший викладач, кафедра автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

Михайловський Микола Володимирович - доцент, кафедра автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

Шибакінський Володимир Іванович - доцент кафедри автоматизації виробничих процесів, Український державний університет науки і технологій.

Іванова Людмила Харитонівна - доктор технічних наук, професор, Кафедра ливарного виробництва, Український державний університет науки і технологій.

Zinchenko Mykhailo Dmytrovych – Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

Potap Oleh Yukhymovych – Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

Burchak Andrii Anatoliyovych – Senior Lecturer of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

Mykhailovskyi Mykola Volodymyrovych – Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

Shybakinskyi Vladimir Ivanovych – Associate Professor of the Department of Automation of Production Processes, Ukrainian State University of Science and Technology.

Yvanova Lyudmyla - doctor of engineering's sciences, professor, Department of casting production, Ukrainian state university of science and technologies.