

О.М. Гречаний, Т.О. Васильченко, А.О. Власов,
Е.А. Гузь, Д.В. Цімахович

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА КОЕФІЦІЄНТ ДИНАМІЧНОСТІ ОБЛАДНАННЯ

Анотація. Встановлено вплив зміни технологічних режимів прокатки на динамічне навантаження моталок прокатних станів. Досліджена зміна коефіцієнта динамічності для різних товщин намотуємої штаби. Дані рекомендації по оптимальним товщинам намотування штаби з точки зору динамічного навантаження на вузли барабанної моталки. Ключові слова: прокатний стан, моталка, коефіцієнт динамічності, момент сил пружності

Постановка проблеми. Технологічне обладнання металургійної промисловості працює в складних умовах з точки зору динамічних навантажень. З іншого боку до їхніх механізмів пред'являються особливі вимоги – вони мають бути надійні в роботі та допускати легке регулювання, а у випадку поломки допускати швидку заміну або ремонт вузлів та деталей, та одночасно повинні відповідати умовам точності відтворення заданих технологічних операцій [1].

Повна ясність в процесах, що супроводжують роботу механізмів, які перебувають у важких динамічних умовах, дозволяє конструктору вибрати правильне рішення, що забезпечує нормальну роботу машини. У той же час машини не тільки повинні задовольняти умовам міцності при заданій їхній продуктивності, а й мати раціональну металоємність [2].

Незалежно від призначення й конструктивних особливостей всі машини мають загальні властивості – пружність ланок і здатність за певних умов до збудження коливальних процесів. Тому теоретичні методи дослідження динамічних явищ у машинах, включаючи прокатне встаткування, є загальними, відмінність полягає лише в параметрах динамічних систем і режимах технологічного навантаження, що буде позначатися на ступені інтенсивності порушуваних коливань [3].

При такій постановці завдання динамічний розрахунок машини повинен проводитися з урахуванням пружності ланок, у результаті чого можуть бути визначені сили й моменти сил пружності у всіх ланках лінії передачі, що залежать

від величини й характеру зміни зовнішніх моментів рушійних сил і сил опору [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із завершувальних етапів металургійного циклу є прокатне виробництво.

У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються по поточковому і безперервному принципам Створення нового прокатного обладнання і експлуатація складних машин вимагає використання досягнень в різних областях науки та техніки. У поточковій технологічній робочій лінії вбудовуються ножиці, правильні машини, моталки, розмотувачі, кантувачі, маніпулятори, штовхачі, транспортери [3]. І від злагодженої роботи цих механізмів залежить продуктивність технологічної лінії в цілому.

Роботою [4] досить ретельно розглянуто питання динамічних навантажень з точки зору взаємодії прокатних клітей безперервного широкоштабового стану 1680, при цьому вплив зміни технологічних режимів прокатки на обладнання поточної лінії, зокрема моталки, не висвітлено.

Вимірювання моментів сил пружності на станах виконуються в експериментальних цілях обмежений час, як правило в одній, рідше в двох точках лінії приводу. Отримані результати не описують інші вузли лінії. В той же час в практиці виникають питання, коли необхідно знати максимальні динамічні навантаження на різних ділянках лінії, а саме необхідно розуміти закономірності їхньої зміни під час експлуатації прокатного стану з урахуванням технічного стану обладнання та режимів прокатки [5].

Дуже часто при дослідженні динамічних процесів доводиться зустрічатися з аналізом можливих впливів, природа яких повністю не зрозуміла. Ці впливи можуть викликатися як зовнішніми неконтрольованими (випадковими) збурюваннями, так і неконтрольованими змінами геометрії й параметрів системи [6].

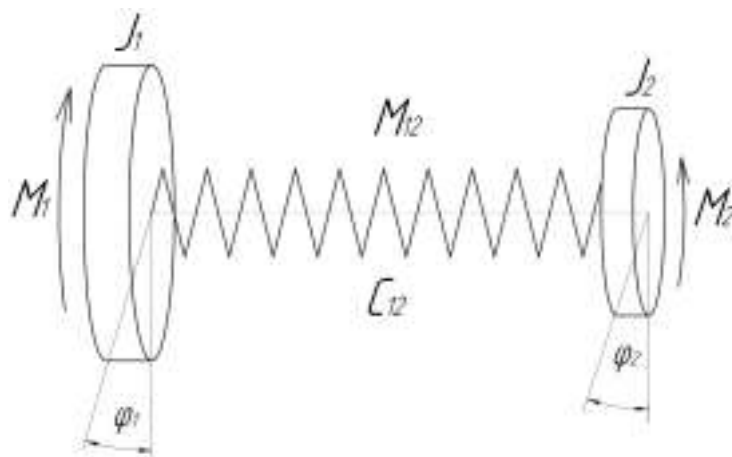
На сучасному етапі єдиним можливим шляхом наукового пошуку розв'язання задач оптимізації в механіці є метод математичного моделювання. Отримане рішення дає певне уявлення про взаємозв'язки елементів проектованої машини чи механізму, а також дозволяє цілеспрямовано змінювати параметри, а при необхідності і конструкцію, механізму. За даними моделювання можна перевірити поведінку механізму в ідеальних та екстремальних умовах його роботи [7].

Мета дослідження. З врахуванням вище наведеного з метою зниження простоїв обладнання, по причині аварійних відмов, пов'язаних зі збільшенням динамічних навантажень від неправильно обраних технологічних режимів по-

ставлена задача по аналітичному дослідженню впливу зміни технологічного процесу прокатки на коефіцієнт динамічності на прикладі ролик-барабанних моталок прокатних станів.

Викладення основного матеріалу дослідження. Привод будь-якої машини складається із зосереджених мас, що з'єднанні між собою валами, муфтами, зубчатими та іншими передачами. Всі ці з'єднувальні елементи, якими б жорсткими вони не здавалися на перший погляд, володіють пружними властивостям. Тому під дією зовнішніх навантажень вони деформуються і зосереджені маси здійснюють, крім основного обертального руху, крутильні коливання. У зв'язку з цим ділянки валів закручуються або розкручуються відповідно зростанню чи зменшенню моментів сил пружності відносно середнього крутного моменту, який передається валом. Моменти сил пружності у деяких випадках можуть бути настільки великі, що в декілька раз будуть перевищувати статичні й інерційні навантаження, а це дуже небезпечно з точки зору міцності найбільш навантажених деталей та вузлів. Крім того, негативний вплив на міцність деталей чинить циклічність навантаження. Тому при розрахунку важко-навантажених машин необхідно враховувати пружні сили і характер їх змінності у часі [8].

Для аналізу вимушених коливань виникаючих в приводі барабана моталки стану 1680 розглянемо двомасову крутильну систему (рис.1), до якої прикладені зовнішні моменти M_1 – момент технологічного опору робочого органу, приведенного до вала двигуна, та M_2 – номінальний момент електродвигуна.



J_1 – момент інерції барабана моталки з рулоном, J_2 – момент інерції якоря електродвигуна привода барабана моталки, C_{12} – приведена жорсткість проміжного вала, M_1 – момент технологічного опору робочого органу,
 M_2 – момент двигуна

Рисунок 1 – Дослідження вимушених коливань в приводі барабана моталки

Номінальний момент електродвигуна можна розрахувати за формулою [9]:

$$M_2 = \frac{30 \cdot N_d}{\pi \cdot n_d}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (1)$$

де N_d – номінальна потужність, електродвигуна, Вт, для розглядаємого випадку $N_d = 100$ кВт;

n_d – номінальні оберти електродвигуна, хв^{-1} , для розглядаємого випадку $n_d = 475$ хв^{-1} ;

В зв'язку з тим, що намотування ведеться з попереднім натягом штаби, то величину моменту від натягу штаби на барабані приймаємо як момент технологічного опору робочого органу [10]:

$$M_1 = T \cdot R, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2)$$

де R – поточний радіус рулону, з огляду на те, що динамічні складові мають великий вплив при пуску та гальмуванні, приймаємо поточний радіус рулону рівним радіусу барабана, $R = 0,375$ м

T – максимальне зусилля натягу, що розраховується за методикою наведеною в роботі [10].

Момент M_2 має напрямок, протилежний напрямку момента M_1 (тобто, моменти від рушійних сил і від сил опору завжди направлені в протилежні боки).

З урахуванням положень описаних в роботі [11] запишемо функціональне рівняння руху для даного випадку:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + C_0(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_1, \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + C_0(\varphi_1 - \varphi_2) &= M_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Цю систему рівнянь розв'яжемо наступним чином. Помножимо перше рівняння на C_0 / J_1 , а друге – на C_0 / J_2 і, відрахувавши з першого рівняння друге, отримаємо:

$$C_0(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) + C_0 \left(\frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \right) C_0(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 J_2} C_0 \quad (4)$$

Якщо в цьому рівнянні позначити момент сил пружності через $C_0(\varphi_1 - \varphi_2) = M_{12}$ і, отже, $C_0(\ddot{\varphi}_1 - \ddot{\varphi}_2) = \ddot{M}_{12}$, то його можна записати в формі диференціального рівняння моментів сил пружності, тобто:

$$M_{12} + C_0 \frac{J_1 + J_2}{J_1 \cdot J_2} \cdot M_{12} = \left(\frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 J_2} \right) C_0 \quad (5)$$

Взаємозв'язок моментів сил пружності між розподіленими масами дає інтеграл цього рівняння:

$$M_{12} = A \cos pt + B \sin pt + \frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 + J_2}, \quad (6)$$

де A, B – сталі інтегрування (амплітуди коливань моментів);
 p – власна кругова частота.

Для визначення A і B необхідно встановити початкові умови. Якщо при пуску, до початку виникнення коливань, система перебуває в спокої і навантаження в пружному зв'язку $\dot{\phi}_1 = \dot{\phi}_2$; $M_{12} = 0$ відсутні, то при $t=0$,

Тоді отримаємо:

$$A = -\frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 + J_2}; \quad B = 0 \quad (7)$$

Підставивши отримані сталі інтегрування в (6) та виконавши необхідні перетворення момент сил пружності можна розрахувати як:

$$M_{12} = \frac{J_2 M_1 + J_1 M_2}{J_1 + J_2} (1 - \cos pt) \quad (8)$$

Виконавши розрахунки за формулами (1)–(8) для товщин намотуємої штаби $h=1,5; 2; 3; 4$ отримаємо значення моменту сил пружності у функції часу (рис.2).

Для характеристики динамічного навантаження вводять коефіцієнт динамічності k_d , який визначається як відношення максимального момента сил пружності до сталого його значення [12]:

$$k_d = \frac{M_{\max}}{M_a} \quad (9)$$

Взявши з графіка (рис.2) значення максимального момента пружних сил та розрахувавши величину M_a , як суму статичного момента від сил опору робочої машини і момента від сил інерції її рухомих мас, для кожного типорозміру намотуємої штаби, отримаємо:

$$K_{d4}=1,98; K_{d3}=1,988; K_{d2}=1,9991; K_{d1,5}=1,9999;$$

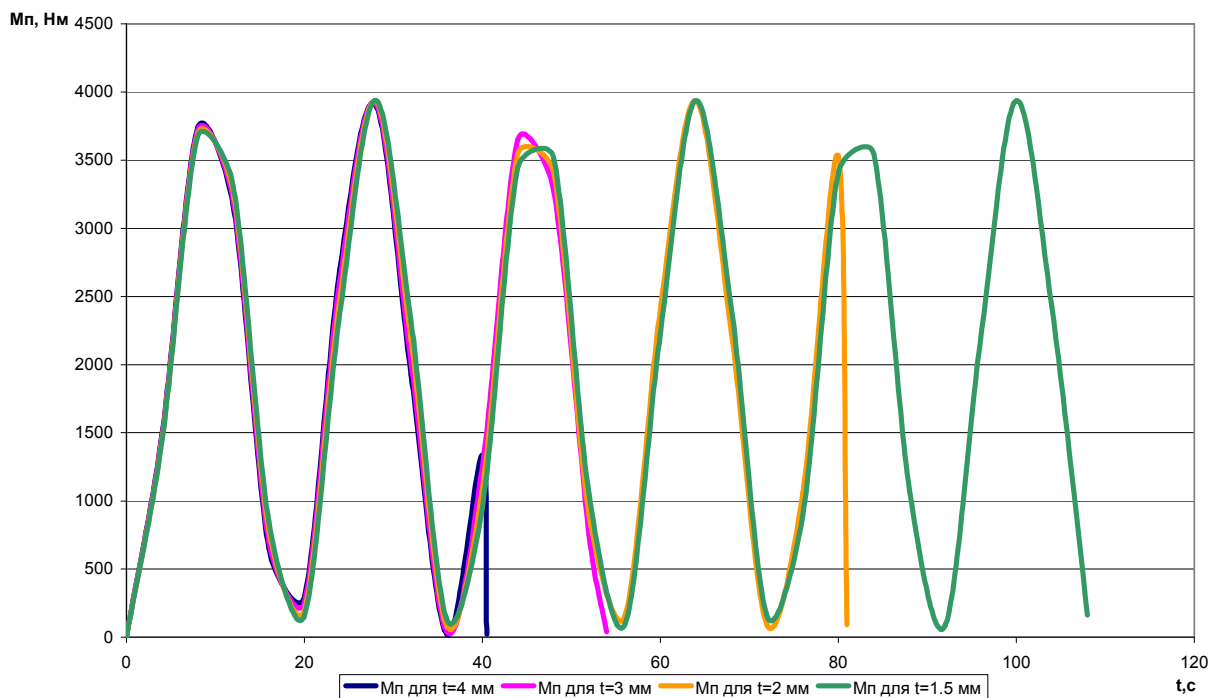


Рисунок 2 – Графік моменту сил пружності у функції часу

Висновки. Проаналізувавши виконані розрахунки можна зробити висновки, що оптимальними товщинами намотуємої штаби на розглянутій конструкції моталки є 1,5-4 мм, для яких отримані значення $k_d < [k_d] = 2$ (для металургійних машин за відсутності зазорів) Найважчим режимом з точки зору впливу динамічних складових являється намотка штаби товщиною 1,5 мм.

Граничною товщиною, з точки зору динамічних навантажень, являється штаба товщиною 1,5 мм, штабу меншою товщини не варто намотувати на даному обладнанні. Таким чином зміна технологічних режимів прокатки, при переході на прокатку більш тонкої штаби, має значний вплив з точки зору динамічних навантажень не тільки безпосередньо на сам прокатний стан, а й на механізми поточної лінії в цілому.

Розглянута методика дозволяє доволі легко і без занадто громіздких розрахунків виконувати моделювання процесу намотування штаби на барабанних моталках з точки зору динамічних навантажень.

ЛІТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА

1. Гречаний О. М. Обґрунтування вибору технічних параметрів гільйотинних ножиць прокатного стану / О. М. Гречаний // Металургія : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2017. – Вип. 2 (38). – С. 126-130.

2. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями / С. Н. Кожевников. – Киев: Академия наук Украинской ССР, 1961. – 160 с.
3. Динамика и прочность прокатного оборудования / Ф. К.Иванченко, П. И. Полухин, М. А. Тылкин, В. П. Полухин. – Москва: "Металлургия", 1970. – 486 с.
4. Веренев В. В. Переходные процессы при непрерывной прокатке. Монография. / В. В. Веренев, А. Ю. Путноки, Н. И. Подобедов. – Д.: Літограф, 2017.–116 с.
5. Веренев В. В. Динамические процессы в широкополосных станах горячей прокатки.. Монография. / В. В. Веренев. – Д.: Літограф, 2018. – 158 с.
6. Светлицкий В. А. Случайные колебания механических систем / В. А. Светлицкий. – М.: Машиностроение, 1976. – 216 с.
7. Дослідження динаміки, міцності і технологічності механічних систем : монографія / Л. М. Мамаєв, О. Д. Романюк, О. В. Нікулін та ін. — Кам'янське : ДДТУ, 2017. — 183 с.
8. Жук А. Я. Основы расчетов приводов машин: Навчальний посібник. / А. Я. Жук, Н. К. Желябіна. – Запоріжжя: ЗДІА, 1996. – 145 с.
9. Жук А.Я. Теория и практика приводов.:Учебн.пос. в 3–х кн. Кн. 1 Электромеханический привод. / А.Я. Жук, Н.К. Желябина – Запорожье:Издательство ЗГИА, 2001. – 398 с., ил.
10. Королев А. А. Конструкция и расчет машин и механизмов, прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. / А. А. Королев. – М.: "Металлургия", 1985. – 376 с.
11. Дослідження динамічних процесів, виникаючих у вузлах приводу ножиць з паралельними ножами. / [О. М. Гречаний, Ю. Г. Кобрін, Т. О. Васильченко та ін.]. // Збірник наукових праць "Металургія". – 2019. – №1. – С. 96–100.
12. Жук А. Я. Основы научных исследований. Книга 1. Теоретичні дослідження: Навчальний посібник. / А. Я. Жук, Н. К. Желябіна, Г. П. Малишев. – Запоріжжя: ЗДІА, 2008. – 195 с.

REFERENCE

1. Hrechanyi O. M. Obgruntuvannya viboru tehnicnih parametriv gilyotinnih nozhits prokatnogo stanu / O. M. Hrechanyi // Metalurgiya : naukovI pratsI ZaporIzkoyi derzhavnoyi Inzhenernoyi akademiyi. – Zaporizhzhya : RVV ZDIA, 2017. – Vip. 2 (38). – S. 126-130.
2. Kozhevnikov S. N. Dinamika mashin s uprugimi zvenyami / S. N. Kozhevnikov. – Kiev: Akademiya nauk Ukrainskoy SSR, 1961. – 160 s.
3. Dinamika i prochnost prokatnogo oborudovaniya / F. K.Ivanchenko, P. I. Poluhin, M. A. Tyilkin, V. P. Poluhin. – Moskva: "Metallurgiya", 1970. – 486 s.

4. Verenev V. V. Perehodnyie protsessyi pri nepreryivnoy prokatke. Monografiya. / V. V. Verenev, A. Yu. Putnoki, N. I. Podobedov. – D.: Litograf, 2017. – 116 s.
5. Verenev V. V. Dinamicheskie protsessyi v shirokopolosnyih stanah goryachey prokatki.. Monografiya. / V. V. Verenev. – D.: Litograf, 2018. – 158 s.
6. Svetlitskiy V. A. Sluchaynyie kolebaniya mehanicheskikh sistem / V. A. Svetlitskiy. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 216 s.
7. Doslidzhennya dinamiki, mitsnosti i tehnologichnosti mehanichnih sistem : monografiya / L. M. Mamaev, O. D. Romanyuk, O. V. Nikulin ta in. – Kam'yan'ske : DDTU, 2017. – 183 s.
8. Zhuk A. Ya. Osnovi rozrahunkiv privodiv mashin: Navchalniy posibnik. / A. Ya. Zhuk, N. K. Zhelyabina. – Zaporizhzhya: ZDIA, 1996. – 145 s.
9. Zhuk A.Ya. Teoriya i praktika privodov.:Uchebn.pos. v 3-h kn. Kn. 1 Elektromechanicheskiy privod. / A.Ya. Zhuk, N.K. Zhelyabina – Zaporozhe:Izdatelstvo ZGIA, 2001. – 398 s., il.
10. Korolev A. A. Konstruktsiya i raschet mashin i mehanizmov, prokatnyih stanov: Ucheb. posobie dlya vuzov. / A. A. Korolev. – M.: "Metallurgiya", 1985. – 376 s.
11. Doslidzhennya dinamichnih protsesiv, vinikayuchih u vuzlah privodu nozhits z paralelnimi nozhami. / [O. M. Hrechanyi, Yu. G. Kobrin, T. O. Vasilchenko ta In.]. // Zbirnik naukovih prats "Metallurgiya". – 2019. – #1. – S. 96–100.
12. Zhuk A. Ya. Osnovi naukovih doslidzhen. Kniga 1. Teoretichni doslidzhennya: Navchalniy posibnik. / A. Ya. Zhuk, N. K. Zhelyabina, G. P. Malishev. – Zaporizhzhya: ZDIA, 2008. – 195 s.

Received 24.02.2021.

Accepted 26.02.2021.

Влияние параметров технологического процесса на коэффициент динамичности оборудования

Установлено влияние изменения технологических режимов прокатки на динамическую нагрузку моталок прокатных станков. Исследовано изменение коэффициента динамичности для разных толщин наматываемой полосы. Даны рекомендации по оптимальной толщине намотки полосы с точки зрения динамической нагрузки на узлы барабанной моталки.

Influence of technological process parameters on equipment dynamic factor

Technological equipment of the metallurgical industry operates in difficult conditions in terms of dynamic loads. On the other hand, special requirements are imposed on their mechanisms - they must be reliable in operation and allow easy regulation, and in the event of breakdowns, allow quick replacement or repair of units and parts, and at the same time must meet the conditions for the accuracy of reproduction of the given technological operations.

In modern rolling shops, technological operations are carried out according to the continuous and continuous principles of creating new rolling equipment and the operation of complex machines requires the use of achievements in various fields of science and technology. Scissors, straightening machines, coilers, uncoilers, tilters, manipulators, pushers, conveyors are built into the flow technological working lines. And the performance of the technological line as a whole depends on the coordinated work of these mechanisms.

The issues of dynamic loads from the point of view of the interaction of the rolling stands of the continuous broadband mill 1680 have been considered rather thoroughly, while the effect of changing the technological modes of rolling on the equipment of the current line, in particular the coiler, is not covered.

In order to reduce equipment downtime due to emergency failures associated with an increase in dynamic loads from incorrectly selected technological modes, the task was set to analytically study the effect of a change in the rolling process on the dynamism coefficient using the example of roller coilers of rolling mills.

To analyze the forced vibrations arising in the drive of the reel drum of the mill 1680, a two-mass torsion system is considered, to which external moments are applied - the moment of the technological resistance of the working body, reduced to the motor shaft, and the nominal torque of the electric motor.

On the basis of the considered calculation scheme, a functional equation of motion was compiled through which the relationship between the change in the parameters of the technological process and the coefficient of dynamism was established.

The solution of the functional equation of motion makes it possible to establish the value of the moment of elastic forces as a function of time, which is used in calculating the dynamic coefficient, which in turn characterizes the dynamic loads on the nodes of technological equipment. Its preliminary calculation allows avoiding emergencies associated with equipment failure in case of incorrect selection of the technological process modes.

Гречаний Олексій Миколайович - викладач, кафедра металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Васильченко Тетяна Олександрівна - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Власов Андрій Олександрович - к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Гузь Едуард Алійович - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Цімахович Дарья Володимирівна - магістр кафедри металургійного обладнання, Запорізький національний університет.

Гречаний Алексей Николаевич - преподаватель, Запорожский национальный университет.

Васильченко Татьяна Александровна - к.т.н., доцент кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Власов Андрей Александрович - к.т.н., доцент кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Гузь Эдуард Алиевич - магистр кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Цимахович Дарья Владимировна - магистр кафедры металлургического оборудования, Запорожский национальный университет.

Hrechanyi Oleksii - lecturer, Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vasilchenko Tatiana - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Vlasov Andrii - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Departament Metallurgical Equipment, Zaporizhzhia National University.

Huz Eduard - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.

Tsimakhovych Daria - magister of Departament Metallurgical Equipment Zaporizhzhia National University.