

Волосова Наталя Миколаївна, доцент кафедри, кандидат технічних наук Дніпровський державний технічний університет м. Кам'янське, ORCID 0000-0002-1314-1991

Мазур Ігор Анатолійович, доцент кафедри, кандидат технічних наук, 0000-Український державний університет науки та технологій, Дніпро, ORCID 0003-2177-7110

Волох Віталій Іванович, аспірант, Український державний університет науки та технологій, Дніпро, ORCID 0000-0002-9476-2465

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ РІВНЯ МЕТАЛУ У КРИСТАЛІЗАТОРАХ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ РОЗЛИВКИ СТАЛІ

Виробництво сталі має велике значення в обороноздатності країни. На сьогодні в Україні залишилось чотири діючих металургійні підприємства, які виробляють сталь, як для військових потреб, так і для будівельної галузі.

Безперервна розливка сталі у сучасних умовах є перспективний напрямок у металургійній галузі.

Через економічну не доцільність розливки сталі у виливниці, відбувається перехід на методи безперервного лиття заготовок, тому необхідно підвищити вимоги до діагностування та технічного стану елементів конструкцій машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ).

З метою зниження тривалості непрогнозованих простоїв, зумовлених технічними несправностями, а також для уникнення аварій з важкими економічними наслідками, необхідно підвищити вимоги до діагностування, технічного стану елементів конструкцій обладнання, які використовуються на МБЛЗ.

Одним з основних факторів, який впливає на продуктивність роботи МБЛЗ це методи діагностування обладнання за результатами діаграм коливань кристалізатора, що в цілому визначається на стабільній роботі машини.

З початку будівництва МБЛЗ, а саме з 2003 року і до теперішнього часу продовжуються дослідження та удосконалення методів діагностування, як окремих вузлів так і працездатності машини в цілому, тому дану роботу слід вважати актуальною. Представлена робота спрямована на удосконалення працездатності вузлів МБЛЗ за рахунок своєчасного визначення та ідентифікації поломок за допомогою визначення рівня сплесків коливань у кристалізаторі.

В роботі проведений аналіз з визначенням основних відхилень у роботі МБЛЗ. Основні відхилення зведені у класифікаційний перелік з визначенням відносного впливу на струмок в цілому. В роботі основна увага приділена по діагностуванню обладнання та визначення поломки того чи іншого вузла, де необхідно робити превентивне обслуговування або заміну вузла в цілому.

У роботі приведені практичні розрахунки з ймовірним визначенням відхилень у роботі обладнання МБЛЗ.

Ключові слова: машина неперервного лиття заготовок, безперервне розливання, коливання рівня, діагностика обладнання, відстріл струмка, металургійне обладнання.

Вступ. У сучасних умовах виробництва важливе значення набуває проблема експлуатаційної надійності технологічного обладнання – одна з найважливіших у металургійному комплексі виробництва сталі [1]. Через економічну не доцільність розливки сталі у виливниці, відбувається перехід на методи безперервного лиття заготовок. Розливки сталі по струмках на машині безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) наведено на рис. 1. З метою зниження тривалості непрогнозованих простоїв, зумовлених технічними несправностями, а також для уникнення аварій з важкими наслідками, необхідно підвищити вимоги до діагностування, технічного стану елементів конструкцій обладнання які використовуються на МБЛЗ [1, 2].

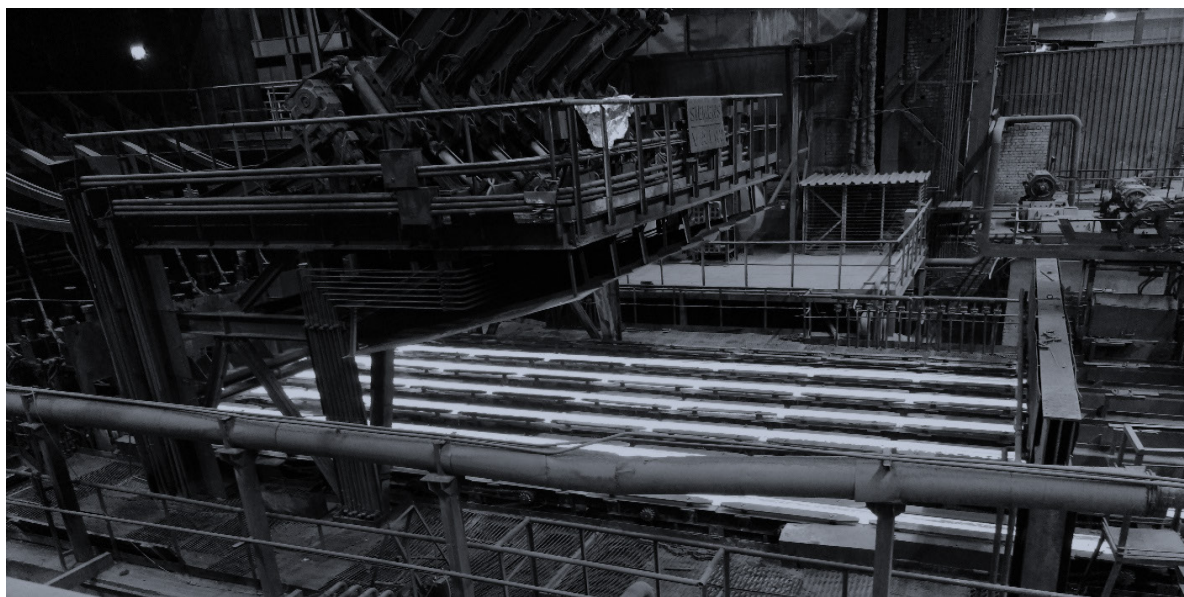


Рисунок 1 – Загальний вигляд МБЛЗ під час розливи сталі

Одним із характерних ознак по визначенню поломок у процесі розливання є діаграми коливання рівня металу. По коливанню рівня металу визначають не лише технологічні параметри, зокрема, швидкість лиття, але й показники довговічності окремих вузлів машини, тривалість підготовки машини до роботи, зручність обслуговування і ремонту. Одним з найважливіших дистанційних параметрів по яким визначаються поломки, або збоїв у роботі системі в цілому є діаграми коливань. Проте, не зважаючи на певні успіхи, досягнуті у підвищенні надійності роботи, не завжди вдається уникнути не прогнозованого виходу з ладу обладнання [3]. Це пояснюється, насамперед, жорсткими технологічними умовами роботи, а саме високою температурою, вологістю та вібрацією в реальних експлуатаційних умовах [4–6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Відомі праці та підходи до автоматизованого діагностування технічного стану елементів металургійного обладнання [5, 6], методи та процедури прогнозування пошкоджень конструкцій [7, 8], оцінювання допустимого граничного стану їх експлуатації, ризик-аналіз для встановлення такого стану [9] показують, що прогнозувати залишковий ресурс кристалізаторів під час використання можна лише на основі характеристик міцності, пластичності та тріщиностійкості конструкційних матеріалів з урахуванням їх експлуатаційної деградації. Проте, не описується як проводити діагностування обладнання МБЛЗ за діаграмами коливань.

Постановка проблеми. Дослідження та аналіз діаграм коливань у процесі безперервного розливання металу. Прогнозування зупинок за діаграмами коливань та виходів з ладу обладнання, яке призводить до зупинки струмка МБЛЗ, що призводить до незапланованих витрат у виробництві.

Основні дослідження. У даній статі приведені не всі відхилення у роботі МБЛЗ. Показані найбільш впливові які привели до виведення струмка з роботи у процесі розливи сталі.

Діагностування обладнання по діаграмам коливань дозволяє у процесі розливи сталі або його зупинки та ремонту достовірно визначити несправності [10]. В процесі розливи на МБЛЗ періодично відбуваються незаплановані зупинки пов'язані з відстрілом струмка. На рис. 2. наведено діаграму роботи струмка де розлижник виконав заміну стакана-дозатора, та видно високу амплітуду яка досягає 90% .

Ця стандартна операція яка передбачає заміну стакана-дозатора у процесі розливи в наслідок «заростання» коли прохідний переріз стає меншим. Таке разове підвищення рівня амплітуди не свідчить про поломки обладнання.

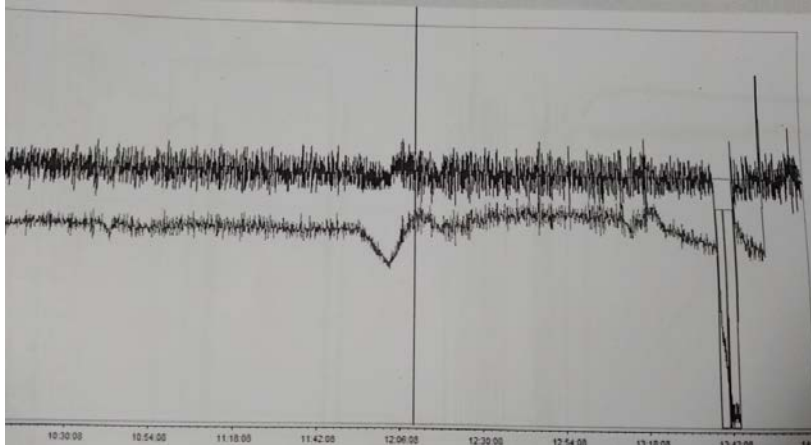


Рисунок 2 – Фото відстрілу струмка по верхньому рівні, по заміні стакана-дозатора

Трапляється момент підвищення навантаження на двигун тягучо-правильного пристрою (ТПП) на МБЛЗ. Аналізуючи роботу в умовах наведеного прикладу, можливо зробити висновок, що відбувається заклинювання двигуна або ТПП та підвищення току до 30 А, що впливає на нормальну роботу струмка. При детальному розгляді зрозуміло, що вийшов з ладу електродвигун який працює в парі з ТПП. При таких обставинах потребує ремонту електродвигун або його повна заміна.

На кривизну злитка впливає охолодження яке відбувається в зоні вторинного охолодження (ЗВО). Погіршення процесу охолодження пов'язане із засміченням форсунок для подачі холодної води які потребують чищення або заміни.

У процесі роботи також відбувається засмічення перепускних клапанів які також потребують ревізії або заміни у процесі перепідготовки.

Доволі часто відбуваються збій у роботі механізму коливання кристалізатору. Причини такого явища полягають у неякісному обтискання штуцерів рукавів високого тиску. Також можуть бути помилки у роботі службі автоматичних систем управління, які потребують заміни кабельно-провідникової продукції.

Аналізуючи відхилення у роботі МБЛЗ складений кваліфікаційний перелік ознак, які найчастіше виникають у процесі розливки струмків. Результати аналізу наведено у табл. 1.

Для аналізу отриманих в дослідженні статистичних даних про кількість випадків певних відхилень протягом місяця було застосовано математичний апарат мереж Бейєса (МБ). Першою компонентою даної мережі є множина змінних $V = \{V_1, V_2, \dots, V_{15}\}$ - ознак відхилень, а другою компонентою є розподіл ймовірностей змінних $P = \{P_1, P_2, \dots, P_{15}\}$. При цьому виконується умова: кожна змінна мережі не залежить від усіх інших. Процес обчислення ймовірностей слугує основою для формування рішень в умовах невизначеності на основі МБ [11].

Спільна ймовірність події A визначається за формулою повної ймовірності:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(H_i) \cdot P\left(\frac{A}{H_i}\right) = P(H_1) \cdot P\left(\frac{A}{H_1}\right) + P(H_2) \cdot P\left(\frac{A}{H_2}\right) + \dots + P(H_n) \cdot P\left(\frac{A}{H_n}\right) \quad (1)$$

Умовні ймовірності подій-гіпотези H_i при допущенні, що подія A вже відбулася – нові ймовірності, визначаються за формулою Бейєса:

$$P\left(\frac{H_i}{A}\right) = \frac{P\left(\frac{A}{H_i}\right) \cdot P(H_i)}{\sum_{i=1}^n P\left(\frac{A}{H_i}\right) \cdot P(H_i)} \quad (2)$$

У табл. 2 наведено результати обробки кваліфікаційних поломок (ознак), та отримані значення нових ймовірностей - умовних ймовірностей гіпотез – при виникненні відхилень (при отриманому значенні ймовірності 0,728125 виникнення відхилень роботи МБЛЗ за формулою повної ймовірності) [12].

Таблиця 1 – Класифікаційних перелік відхилень роботи МБЛЗ

№ з/п	Ознаки відхилень	Кількість випадків за місяць	Значення у процесі розливки	Відносний вплив поломки на струмок в цілому, у %
1	Відстріл по максимальному рівню	5	Заміна сцинтиляційного детектора після закінчення розливки	100
2	Відстріл по двигуну машини газової різки	3	Заміна під час розливки машини.	50
3	Злиток зіткнувся у направляючу	4	Регулювання роботи потопаючого ролика	80
4	Помилка механізму хитання кристалізатора (автоматизація)	3	Заміна плат управління тільки після закінчення розливки.	70
5	Злиток зіткнувся з утопаючим роликом	5	Регулювання положення ролику, після закінчення розливки	60
6	«Земля» у двигуні правильного пристрою, що тягне	4	Заміна двигуна, після закінчення розливки	80
7	Підвищений рівень коливань рівня металу у кристалізаторі	3	Заміна сцинтиляційного детектора після закінчення розливки	100
8	Збій у роботі клапанів механізму хитання (гідравліка)	4	Після заміни, розливка продовжується	60
9	Падіння тиску основної гідравліки	4	Приведе до зупинки МБЛЗ в цілому по усіх струмках. Перезапуск МБЛЗ	100
10	Заклинювання електроду двигуна правильного пристрою, що тягне	3	Заміна двигуна під час розливки МБЛЗ	50
11	Вихід з ладу пропорційних клапанів гідроциліндру	2	Приведе до зупинки МБЛЗ в цілому по усіх струмках. Перезапуск МБЛЗ	100
12	Вихід з ладу мотору редуктора	3	Заміна мотор редуктора тільки після закінчення розливки.	100
13	Збій у роботі електромагнітної котушки підйому утопаючого ролика	1	Незначна поломка, після заміни розливка струмка продовжується	25
14	Вихід з ладу рукава підводу кисню на МГР	2	Незначна поломка, після заміни під час розливки: розливка струмка продовжується	20
15	Вихід з ладу роз'єму кабелеукладника МРГ	2	Незначна поломка, після заміни розливка продовжується	20

Розподіл умовної ймовірності поломки струмка до їх кількості представлена на рис. 3.



Рисунок 3 – Умовні ймовірності впливу поломки на струмок в цілому

Необхідно провести превентивне обслуговування обладнанню струмків по поз. 1, 7, 9, 11, 12.

Таблиця 2 – Розрахункова таблиця ймовірностей досліджуваних поломок при виникненні відхилень

V_i	Частота, n	Статистична ймовірність, P_i	Умовна ймовірність	$n \cdot P_i$	Ймовірність поломки, V_i
1	5	0,104166667	1	0,104166667	0,143061516
2	3	0,0625	0,5	0,03125	0,042918455
3	4	0,083333333	0,8	0,066666667	0,091559371
4	3	0,0625	0,7	0,04375	0,060085837
5	5	0,104166667	0,6	0,0625	0,08583691
6	4	0,083333333	0,8	0,066666667	0,091559371
7	3	0,0625	1	0,0625	0,08583691
8	4	0,083333333	0,6	0,05	0,068669528
9	4	0,083333333	1	0,083333333	0,114449213
10	3	0,0625	0,5	0,03125	0,042918455
11	2	0,041666667	1	0,041666667	0,057224607
12	3	0,0625	1	0,0625	0,08583691
13	1	0,020833333	0,25	0,005208333	0,007153076
14	2	0,041666667	0,2	0,008333333	0,011444921
15	2	0,041666667	0,2	0,008333333	0,011444921

На рис. 4 представлена ймовірність виходу з ладу обладнання в залежності від кількості зупинок струмка.

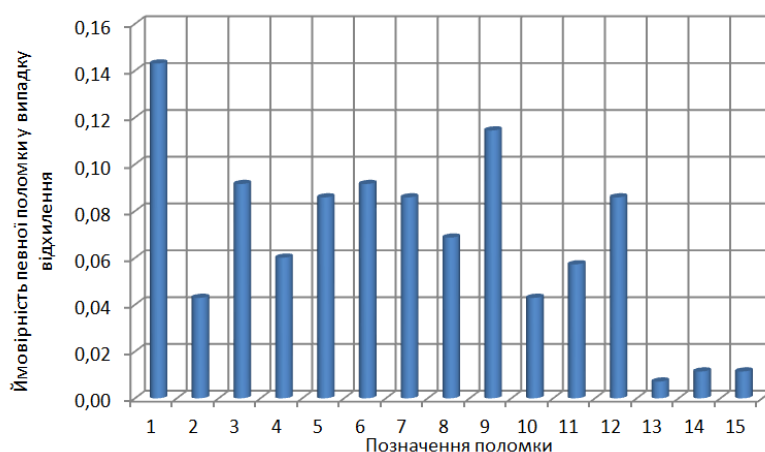


Рисунок 4 – Гістограма ймовірностей досліджуваних поломок при виникненні відхилень

За результатами обробки, таблиці 2 отримано, що при виникненні відхилень роботи МБЛЗ найбільш ймовірними є відстріл по максимальному рівню (14%) та падіння тиску основної гідравліки (11%), тому рекомендовано превентивне обслуговування обладнання та його вчасне відновлення для запобігання виникнення відхилень в роботі МБЛЗ.

Для запобігання зупинки струмків необхідно проводити завчасне обслуговування обладнання у період перепідготовки та у ремонтний період.

Аналізуючи роботу діаграми коливачів, оператор машини та технологічний та допоміжний персонал (механо-, електро-, енерго-) служби повинні вміти розшифровувати діаграми та вміти виявляти негаразди у роботі обладнання та превентивно їх усунути.

Висновки. Головними чинниками, які впливають на рівень металу в кристалізаторі, є зміни рівня наливу металу в промковці (наприклад, при заміні сталерозливного ковша), розмивання або заростання внутрішньої порожнини склянки дозатора або занурювальної склянки, розмивання або руйнування головки стопора моноблока, також налипаюче контактне тертя приводних роликів з поверхнею зливка, сприяє їх «прослиз», порушуючи синхронність між швидкістю обертання приводних роликів і витягування зливка.

Аналізуючи математичні розрахунки, показано, що найбільша вірогідність виходу з ладу ознаки 1 та 9, це робота сцинтиляційних детекторів та гідравлічного обладнання де вихід з ладу досягає до 14%. Також виходячи з технології процесу, високий вплив також мають ознаки 3 і 6 – це роботи ролику який «потопає» та не надійність двигунів правильного пристрою, що тягне, яке досягає по 9 % по кожному випадку.

Проведений та запропонований механізм практичного застосування за допомогою математичних розрахунків, по якому визначатися з вірогідністю 80% виходу з ладу механізмів МБЛЗ.

По вибірковому аналізу коливань роботи струмків дозволяє оцінити працездатність обладнання роботи МБЛЗ та своєчасно виявити та прогнозувати залишковий ресурс у процесі його подальшої експлуатації.

Бібліографічний перелік

1. Ясний П. В., Марущак П. О., Пилипенко А. П., Бішак Р. Т., Закієв І. М. Діагностування робото здатності теплотривкої сталі металургійного обладнання після термоцикування. *Фізико хімічна механіка матеріалів*. 2011. №2. С.99-108.

2. Ковальов Р.В., Лисіков Н.Н., Сидоров В.А., Сотніков О. Л., Моделювання несправних станів механізму хитання кристалізатора МБЛЗ. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*, 2007 Вип.41. С.116-127.

3. Кожевников А.В., Разработка методика прогнозирования сталеразливочного оборудования на основе не четкого управления *Металлургические процессы и оборудование*. 2014. №2(33) С. 43-51

4. Костюков В. Н. и др. Система мониторинга состояния оборудования Компакс для колесно-прокатного стана. *Сталь*, 2008. № 4. С. 58-63.

5. Сидоров В.А., Сушко А.Е. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*, 2010. № 4. С. 46–50.

6. Сотников А.Л. Виброметрический метод диагностирования подшипников рычажного механизма качания кристаллизатора МНЛЗ. *Вибрация машин: измерение, снижение, защита*, 2010. № 3(22). С 27-33.

7. Ротенберг А.М., Шифрин И.Н., Белитченко А.К. и др. Повышение конкурентоспособности сортовых МНЛЗ путем их модернизации. *Электрометаллургия*. 2003. №3. С. 41-46.

8. Сидоров В.А., Сотніков О.Л., Цокур В.П. Аналіз характеру і причин несправностей підшипникових вузлів механізму хитання кристалізатора. *Наукові праці Донець. нац. тех. уні-т. Донецьк* : ДонНТУ, 2009. Вип. 6(154). С. 226-235.

9. Моделювання несправних станів механізму хитання кристалізатора МБЛЗ / Р.В. Ковальов, Н.Н. Лисіков, В.А. Сидоров, О.Л. Сотніков; відп. ред. З.А. Стоцько. *Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні*. Львів : "Львівська політехніка", 2007. Вип. 41. С. 116-127.

10. Сидоров В. А., Сушко А. Е. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2010. № 4. С. 46–50.

11. Камак Ю.О., Нестеренко С.О., Рудніченко С.В., Чигрин Р.М. Застосування ймовірнісних мереж довіри для багатокритеріального оцінювання показників якості озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць Харківського національного університету повітряних сил*. 2021. № 3(69). С. 55-63.

12. Zghurovskiy, M., Bidiuk P., Terentev O. (2007). Systemna metodyka pobudovy baiiesovykh merezh [A systematic method of designing Bayesian networks]. *Naukovi visti "NTUU "KPI" [KPI Science News]*, 4, 47-61. (in Ukrainian).

References

1. Yasny P. V., Marushchak P. O., Pylypenko A. P., Bishchak R. T., Zakiev I. M. Diagnostics of the workability of heat-resistant steel of metallurgical equipment after thermal cycling. *Physico-chemical mechanics of materials*. 2011. No. 2. P.99-108.

2. Kovalev R.V., Lysikov N.N., Sidorov V.A., Sotnikov O.L., Modeling of malfunctioning states of the rocking mechanism of the MBLZ crystallizer. *Automation of production processes in mechanical engineering and instrument engineering*, 2007 Issue 41. P.116-127.

3. Kozhevnikov A.V., Development of a methodology for forecasting steel casting equipment based on unclear control *Metallurgical processes and equipment*. 2014. No. 2(33) pp. 43-51.

4. Kostyukov V. N. et al. Kompaks equipment condition monitoring system for wheel rolling mill. *Steel*. 2008. No. 4. P. 58-63.

5. Sidorov V.A., Sushko A.E. Selection of diagnostic parameters of stationary systems for monitoring the technical condition of metallurgical machines. *Technical diagnostics and non-destructive testing*, 2010. No. 4. P. 46–50.

6. Sotnikov A.L. Vibrometric method of diagnosing the bearings of the rocking lever mechanism of the MNLZ crystallizer. *Vibration of machines: measurement, reduction, protection*, 2010. No. 3(22). С. 27-33.

7. Rotenberg A.M., Shifrin I.N., Belitchenko A.K. etc. Increasing the competitiveness of graded MNLZs by means of their modernization. *Electrometallurgy*. 2003. No. 3. P. 41-46.

8. Sidorov V.A., Sotnikov O.L., Tsokur V.P. Analysis of the nature and causes of malfunctions of the bearing units of the crystallizer rocking mechanism. Scientific works Donets. national technical Univ. Donetsk: DonNTU, 2009. Issue 6(154). P. 226-235.

9. Modeling of faulty states of the rocking mechanism of the MBLZ crystallizer / R.V. Kovaley, N.N. Lysikov, V.A. Sidorov, O.L. Sotnikov; resp. ed. B.Y. Stotsko Automation of production processes in mechanical engineering and instrument engineering. Lviv: "Lviv Polytechnic", 2007. Issue 41. P. 116-127.

10. Sidorov V. A., Sushko A. E. Selection of diagnostic parameters of stationary systems for monitoring the technical condition of metallurgical machines. Technical diagnostics and non-destructive testing. 2010. No. 4. P. 46–50.

11. Yu.O. Kamak, S.O. Nesterenko, S.V. Rudnichenko, R.M. Chygrin. Application of probabilistic trust networks for multi-criteria evaluation of quality indicators of weapons and military equipment. Collection of scientific works of the Kharkiv National Air Force University. 2021. No. 3(69). P. 55-63.

12. Zghurovskyi, M., Bidiuk P., Terentev O. (2007). Systemna metodyka pobudovy baiiesovykh merezh [A systematic method of designing Bayesian networks]. Naukovi visti "NTUU "KPI" [KPI Science News], 4, 47-61. (in Ukrainian).

Volosova Natalya, associate professor candidate technical of sciences. Dnipro state technical university, Kamianske. ORCID 0000-0002-1314-1991

Mazur Ihor, candidate. technical of sciences, associate professor, Ukrainian state university of science and technology. Dnipro ORCID 0003-2177-7110

Volokh Vitaly, graduate student, Ukrainian state university of science and technology. Dnipro ORCID 0000-0002-9476-2465

STUDY OF FLUCTUATIONS OF METAL LEVEL IN CRYSTALLISERS OF CONTINUOUS STEEL CASTING MACHINE

Steel production is of great importance in the country's defense capability. Today, there are four active metallurgical enterprises in Ukraine that produce steel both for military needs and for the construction industry.

Continuous casting of steel in modern conditions is a promising direction in the metallurgical industry.

Due to the economic impracticality of casting steel in a foundry, there is a transition to methods of continuous casting of blanks, therefore it is necessary to increase the requirements for diagnosis and technical condition of the structural elements of the continuous casting machine (CBM).

In order to reduce the duration of unforeseeable downtimes caused by technical malfunctions, as well as to avoid accidents with severe economic consequences, it is necessary to increase the requirements for diagnostics and the technical condition of the elements of equipment structures used at MBLZ.

One of the main factors that affects the performance of the MBLZ is the methods of diagnosing the equipment based on the results of the crystalliser oscillation diagrams, which is generally determined by the stable operation of the machine.

Since the beginning of the construction of the MBLZ, namely from 2003 to the present, research and improvement of diagnostic methods, both of individual nodes and of the machine's performance as a whole, has been continued, therefore this work should be considered relevant. The presented work is aimed at improving the efficiency of the MBLZ nodes due to timely determination and identification of breakdowns by determining the level of oscillation bursts in the crystallizer.

In the work, an analysis was carried out with the determination of the main deviations in the work of the MBLZ. The main deviations are summarized in a classification list with a definition of the relative impact on the stream as a whole. In the work, the main attention is paid to diagnosing the equipment and determining the breakdown of this or that node, where it is necessary to perform preventive maintenance or replace the node as a whole.

The paper presents practical calculations with the probable determination of deviations in the operation of the MBLZ equipment.

Key words: machine for continuous casting of blanks, continuous pouring, level fluctuations, equipment diagnostics, stream shooting, metallurgical equipment.

Стаття надійшла до редакції 23.10.2023 р.