

АНОТАЦІЯ

Баглай А.В. Розвиток наукових основ визначення технічного стану прокатного обладнання за допомогою стаціонарної системи вібраційного моніторингу – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування (Галузь знань 13 – Механічна інженерія). – Національна металургійна академія України Міністерства освіти і науки України, Дніпро, 2021.

Дисертація присвячена питанням обґрунтування та розробки способів, методів, принципів і систем вібраційного моніторингу та діагностування технічного стану (ТС) обладнання клітей безперервного широкоштабового стана (БШШС) гарячої прокатки, а також перевірки їх працездатності та ефективності у виробничих умовах.

У дисертаційній роботі отримані нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що у сукупності є суттєвими для рішення актуальної науково-технічної задачі підвищення надійності обладнання клітей БШШС гарячої прокатки завдяки розробці способів, методів, принципів і систем вібраційного моніторингу та діагностування ТС контрольованого обладнання.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше для корпусного обладнання лінії приводу кожної кліті багатоклітьового безперервного стана шляхом вимірювань отримані дані про вібраційне поле у вигляді реалізації віброшвидкості в 7-9 точках під час робочого і холостого режиму, гістограм і середньоквадратичного відхилення;
- вперше на базі великої кількості вимірювань для всіх клітей встановлений статистичний зв'язок відносного часу запізнювання реакції ділянок лінії приводу від часу напруцювання шпинделів (зносу бронзових вкладишів) з урахуванням прокатаного сортаменту. Визначено граничні кількісні значення часу запізнювання, при досягненні яких рекомендується проведення технічного обслуговування;

- вперше обґрунтована та розроблена концепція визначення технічного стану обладнання за допомогою діагностичних ознак, які отримують для двох режимів роботи стана: а) захоплення смуги валками і б) сталий режим роботи;
- встановлено, що максимальне значення розмаху віброшвидкості корпусного обладнання редуктора і шестеренної кліті під час захоплення смуги валками статистично пов'язано з технічним станом (зносом бронзових вкладишів) шпиндельного зчленування і є діагностичною ознакою. Вперше встановлена кореляційна залежність максимального розмаху віброшвидкості при захопленні смуги валками від статичного моменту прокатки на валу двигуна;
- вперше встановлена залежність часу поширення ударного імпульсу через смугу що прокочується до попередньої кліті з урахуванням температури металу і міжклітьової відстані. Це дозволяє використовувати дану залежність для оцінки стану технології і обладнання.

Практичне значення розробленої методики полягає в можливості вибору періодів цілеспрямованих вібраційних вимірювань, коли в найбільшій мірі проявляється зв'язок діагностичних ознак зі станом обладнання, що сприяє підвищенню ефективності та достовірності процесу діагностування.

У першому розділі виконано аналіз сучасного стану розробки систем вібраційного діагностування обладнання прокатних станів, систематизовані конструктивні і технологічні особливості БШШС, аналізуються поломки і відмови елементів обладнання, розглядається проблематика розробки способів і систем діагностування прокатних станів.

Показано, що в Україні технічне діагностування металургійного устаткування отримало розвиток з 80-х років минулого сторіччя як засіб підвищення надійності. За цей час в цьому напрямку утворилися три наукові школи. В першій школі з Донецької Політехніки (В.Я. Седуш, М.О. Ченцов, В.А. Сидоров) розробляються методи діагностування переносними засобами вібраційного аналізу з контролем його параметрів. В другій школі Національній Металургійній Академії України (А.В. Гордієнко, В.К. Цапко, С.В. Білодіденко) розроблено теоретичні основи обслуговування і діагностування технологічного устаткування за контро-

лем комплексних показників надійності, ризику і безпеки. Третя школа, яка сформувалася у м. Дніпро в ІЧМ НАНУ (В.І. Большаков, В.В. Вереньов), культивує використання перехідних процесів у якості діагностичних показників технічного стану прокатного обладнання.

У роботах іноземних авторів (Пекельс Ж., Міттен К., Гайгемюллер Г., Шварц М., Аренс М., Мекель Дж., Хелекаль Г. та ін.) наведено приклади застосування систем діагностики прокатних станів і їх економічної ефективності. Зроблено висновки про актуальність створення і обґрунтування методів і способів діагностування та відповідних систем, спрямованих на підвищення ефективності роботи прокатних станів.

У **другому розділі** приведено аналіз вібродинамічних процесів в прокатних станах, представлених в літературних джерелах. Вперше виділені парціальні динамічні системи і точки вимірів в механічному обладнанні лінії головного приводу і власне прокатної кліті, в яких встановлено взаємозв'язок динамічних процесів, що мають відношення до способів діагностування.

Визначені точки і місця обладнання, яким найбільшою мірою властива інформативність та зв'язок з ТС і зносом зчленувань.

Розглянуто фактори що провокують та впливають на вібродинамічні процеси під час захоплення смуги валками та в сталому режимі прокатки (спільно з холостим ходом).

Визначені закономірності періодичності зносу та утворення зазорів на шпиндельній і моторній ділянках та їх зв'язку з тривалим часом роботи стану і заміною елементів.

Обґрунтовано та запропоновано метод визначення цілеспрямованих періодів вібраційних вимірювань, під час яких досягається найбільший ефект в діагностуванні ТС обладнання. Він дозволяє отримати значення «найкращих» діагностичних параметрів при нормальному стані обладнання та «найгірших» після тривалої роботи клітей або перед капітальним ремонтом. Знання «крайніх» значень параметрів та їх порівняльний аналіз з поточними значеннями сприяє підвищенню достовірності встановлення діагнозу.

БШШС гарячої прокатки відноситься до довгих (до 1000 м) просторових об'єктів і складається з 10 - 12 машин. У зв'язку з цим розроблені загальна концепція та принципи побудови вібродіагностичної системи моніторингу ТС обладнання. Вирішені питання вимірювальних засобів, кількості каналів і ліній передачі сигналів до єдиного реєстратора, зв'язку з штатними системами вимірювання та регулювання.

Розроблено технічні вимоги до системи вібраційного моніторингу та діагностування ТС обладнання клітей БШШС гарячої прокатки.

У третьому розділі наведено аналіз виконаних на стані 1680 ПрАТ «Запоріжсталь» цілеспрямованих дослідно-промислових вібровимірювань, представлена методика та засоби вимірювань.

Для кожної з десяти клітей визначені візуальні образи вібраційних процесів одночасно у всіх точках обладнання при нормальному (після ремонту або встановлення нового шпинделя) і погіршеному (перед ремонтом) стані. Тим самим вперше отримані образи вібраційного поля клітей в холостому режимі, при захопленні смуги валками і в процесі прокатки.

У всіх клітях підтверджено раніше встановлену властивість запізнювання реакції ділянок лінії приводу на дію ударного навантаження до робочої кліті. Чим далі від кліті розташована точка (датчик вібрації), тим більше час запізнювання τ_3 . Вперше встановлено, що час запізнювання τ_3 не залежить від швидкості прокатки, а тільки від стану зносу в зчленуваннях. Для кожної i -тої точки клітей визначені граничні значення τ_{3i} , при досягненні яких слід здійснювати заміну шпинделів.

У парі клітей ДУО - № 1 під час безперервної прокатки встановлено, що залежність амплітуди вібрації власне кліті ДУО та шестеренної кліті від швидкості неузгодженості задання сляба в кліті № 1 має мінімум. На цій підставі запропоновано спосіб корекції швидкості завдання сляба.

Незважаючи на велику відстань між клітями № 2 - № 3 (19 м) і № 3 - № 4 (25 м) в даних парах клітей також встановлено взаємодію обладнання по вібрації під час безперервної прокатки, коли відбувається захоплення смуги в наступній кліті.

Вперше за даними вимірів визначена швидкість поширення енергії (крутильного ударного навантаження) уздовж лінії приводу і між клітями через розпечену смугу, що прокочується.

Встановлено, що швидкість поширення ударного навантаження від робочої кліті до і-тої точки вимірювання як і час τ_i залежить від зазору $\delta_{\text{ш}}$ в шпindelьному зчленуванні. У той же час між точками «всередині» лінії вона від зазору $\delta_{\text{ш}}$ не залежить, а визначається конструктивною особливістю і технічним станом ділянки. Наприклад, це передача навантаження через зубчасте зчеплення колеса і шестерні редуктора або валу з зубчастими муфтами.

Встановлено, що розмах віброшвидкості в момент захоплення смуги валками через жорсткість осередку деформації залежить від марки сталі і режиму обтиснень. Чим жорсткіше осередок, тим більше розмах віброшвидкості, тим більше сила удару в кліті (за інших рівних умов). При прокатці товстих смуг (4 - 6 мм) розмах віброшвидкості виявився в 1,3...1,6 рази менше, ніж при прокатці тонких смуг (2 - 2,5 мм). Жорсткість осередка збільшується до останніх клітей чистової групи, разом з цим зростає розмах вібрації.

Вперше встановлена кореляційна залежність розмаху вібрації A_p при захопленні смуги від статичного моменту $M_{\text{ст}}$. Зі збільшенням статичного моменту $M_{\text{ст}}$ розмах вібрації A_{max} зростає. Чим більший знос бронзових вкладишів шпindelів та кутових зазорів $\delta_{\text{ш}}$, тим більше A_{max} . Надано обґрунтування зазначеним залежностям. Представлені графічні зображення кореляційних полів $\{A_{\text{max}}, M_{\text{ст}}\}$ при нормальному та погіршеному технічному стані устаткування. Визначено кількісні характеристики, за якими можна оцінювати поля, порівнювати їх між собою та з технічним станом (коефіцієнт кореляції r , апроксимуюча залежність $A_{\text{max}}(M_{\text{ст}})$).

У четвертому розділі виконані дослідження впровадженої на стані 1680 1680 ПрАТ «Запоріжсталь» системи діагностування. Надано аналіз способів визначення ТС обладнання прокатних клітей за результатами вібровимірювань. Уза-

гальнені та розглянуті інформативні і діагностичні ознаки та їх зв'язок з параметрами технічного стану редуктора.

Розглянуто питання використання параметрів вібраційних процесів в суміжних клітках в перехідних процесах захоплення та викиду смуги валками.

Розроблено ряд нових способів діагностування та вдосконалені відомі способи і методи визначення та розпізнавання технічного стану вузлів.

У п'ятому розділі представлені структура і технічні характеристики системи, методи обробки та візуалізації результатів вимірювань, описані принципи обробки, формування та зберігання бази даних вимірювань.

Надано опис методики моніторингу вібраційних процесів одночасно у всіх клітках багатоклітьового стану.

Наведено практичні приклади діагностування деградації вузлів і попередження поломок. Надана оцінка ефективності роботи системи в цеху гарячої прокатки тонкого листа технічним керівництвом ПрАТ «Запоріжсталь» (відгук про роботу стаціонарної системи на прокатному стані 1680 в ЦГПТЛ від 16.06.2021р).

Ключові слова: безперервний широкоштабовий стан, гаряча прокатка, кліть, лінія головного приводу, динаміка, вібраційні процеси, моніторинг, технічний стан, час запізнення, діагностика.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА (LIST OF PUBLICATION)

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Публікації в періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до Організації економічного співробітництва та розвитку та/або Європейського Союзу у виданнях:

1. **A. Baglay.** Fatigue Resistance Models of Structural for Risk Based Inspection / S. Belodedenko, V. Hanush and other. *Civil Engineering Journal*. 2020. Vol. 6. Issue 2. P. 375–383. <http://dx.doi.org/10.28991/cej-2020-03091477> (Web of Science, Scopus).

2. **Baglay A.V.** Vibrodiagnostics system for rolling mill equipment / A.V.Baglay M.M. Kipin and other. *Chernye Metally*. 2020 Vol. 2. P. 62–69 (Scopus).

Публікації в наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, затверджених МОН України:

3. **Баглай А.В.** Вибрационное обследование стана 1150. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2017. № 1. С 54–57. <https://doi.org/10.15407/tdnk2017.01.09>
4. **Баглай А.В.**, Веренев В.В. Сравнительный диагностический анализ вибропереходных процессов в смежных прокатных клетях. *Системні технології*. 2018. Вип. 4. №117. С. 3–9.
5. Веренев В.В., **Баглай А.В.**, Белодеденко С.В. Вопросы вибрационного диагностирования оборудования прокатных станов. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2018. № 2. С. 59–62. <https://doi.org/10.15407/tdnk2018.02.08>
6. Веренев В.В., **Баглай А.В.**, Белодеденко С.В. Особенности вибрационных измерений в прокатных клетях. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2018. № 3. С. 43–46. <https://doi.org/10.15407/tdnk2018.03.05>
7. Веренев В.В., **Баглай А.В.**, Кипин М.М. Динамика парциальных упругих систем прокатных клетей. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. № 7. С. 104–107.
8. **Баглай А.В.**, Кипин М.М., Дубина М.А. Вибрационная диагностика редуктора широкополосного прокатного стана 1680. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2019. № 1. С 53–57. <https://doi.org/10.15407/tdnk2019.01.07>
9. **Баглай А.В.** Комплекс автоматической вибрационной диагностики оборудования прокатного стана / А.В.Баглай, А.Н.Гузеев и др. *Техническая диагностика и неразрушающий контроль*. 2019. № 3. С 30–35. <https://doi.org/10.15407/tdnk2019.03.05>
10. **Баглай А.В.**, Вереньов В.В. Динаміка та діагностика зазорів в клітях з багатонитковою прокаткою. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*. 2020. № 3. С 58–60. <https://doi.org/10.37434/tdnk2020.03.09>

11. **Баглай А.В.** Використання особливостей технології та режимів роботи прокатних клітей з діагностичною метою. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*. 2020. № 4. С 50–52. <https://doi.org/10.37434/tdnk2020.04.08>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

12. **Баглай А.В.** Диагностическая информативность вибраций корпусного оборудования линии привода прокатной клетки. *Приладобудування: стан і перспективи*: зб. матеріалів доп. учасн. XVI Міжнар. наук.-техніч. конф. Київ: НТУУ КПІ ім. І. Сікорського, 2017. С. 109–110.

13. Білодіденко С.В., **Баглай А.В.**, Гречаний О.М. Пошук функцій розподілу довговічностей для параметричних моделей. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: Book of Abstracts International research and practice conference*. Radom, Republic of Poland: Radom Academy of Economics, 2017. P. 102–106

14. S. Belodedenko, G. Bilichenko, **A. Baglay**, A. Grechany Fatigue resistance models of structural for RBI-maintenance. *Proceedings of the 19th International Colloquium on Mechanical Fatigue of Metals: Book of Abstracts*. Porto: Universidade do Porto – Faculdade de Engenharia, 2018. P. 77–78.

15. **Баглай А.В.** Стационарні системи моніторингу технічного стану промислового обладнання металургійного виробництва. *Сучасні методи та засоби неруйнівного контролю і технічної діагностики*: зб. матеріалів доп. учасн. XXII Міжнар. конф. Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2018. С. 30

16. Веренев В.В., **Баглай А.В.** Обратные удары в клетях прокатных станов. *Машины і пластична деформація металу*: зб. матеріалів доп. учасн. IV Міжнар. наук.-техніч. конф. Кам'янське: ДДТУ, 2018. С. 48

17. **Баглай А.В.**, Веренев В.В. Сравнительный диагностический анализ вибропереходных процессов в смежных прокатных клетях. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ-2018*: зб. матеріалів доп. учасн. X Міжнар. наук.-практич. конф. Дніпро: НМетАУ, 2018. С. 5.

18. Баглай А.В. Развитие системы диагностики широкополосного стана. *Університетська наука – 2019*. зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-техніч. конф.

Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. С. 69–71.

19. **Баглай А.В.**, Кипин М.М. Системный подход к обеспечению надежности работы многоклетевых станов. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ-2020*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-практич. конф. ім. проф. Михальова О.І. Дніпро: НМетАУ, 2020. С. 8–12.

20. **Баглай А.В.** Использование особенностей технологии и режимов работы прокатных клетей в диагностических целях. *Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану*: зб. матеріалів доп. учасн. XXIII Міжнар. конф. Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2020. С. 5.

21. **Баглай А.В.**, Веренев В.В. Динамика и диагностика зазоров в клетях с многониточной прокаткой. *Неруйнівний контроль та моніторинг технічного стану*: зб. матеріалів доп. учасн. XXIII Міжнар. конф. Київ: Міжнародна Асоціація «Зварювання», 2020. С. 6.

22. **Баглай А.В.** Зв'язок вібраційних процесів в устаткуванні з технологією гарячої прокатки. *Машина та технології обробки металів тиском*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-техніч. конф. Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. С. 37–40.

23. **Баглай А.В.** Визначення технічного стану обладнання лінії приводу прокатних валків по швидкості расповсюдження ударного іпульсу. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ-2021*: зб. матеріалів доп. учасн. Міжнар. наук.-практич. конф. Дніпро: НМетАУ, 2021. С. 21–24.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

24. **Баглай А.В.**, Білодіденко С.В. Передові технології контролю якості виготовлення і ремонту для підприємств залізничного машинобудування. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2017. № 6. С. 18–23.

25. **Баглай А.В.**, Кіпін М.М., Дубіна М.О. Впровадження автоматичної системи контролю та діагностики технічного стану вентиляторів газоочищення мартенівських печей. *Технічна діагностика та неруйнівний контроль*. 2020. № 3. С. 48–52. <https://doi.org/10.37434/tdnk2020.03.07>

ANNOTATION

A.V. Baglai. Development of scientific bases for determining the technical condition of rolling equipment using a stationary vibration monitoring system. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis submitted for obtaining the Doctor of Philosophy degree in Mechanical engineering sciences, speciality 133 – Industry engineering. – National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, 2021.

The dissertation is devoted to the issues of substantiation and development of methods, methods, principles and systems of vibration monitoring and diagnostics of the technical condition (TC) of the equipment of the stands of a continuous broadband hot rolling mill, as well as checking their operability and efficiency in production conditions.

In the dissertation work new scientifically substantiated theoretical and experimental results are obtained, which together are essential for solving the current scientific and technical problem of increasing the reliability of hot rolling mill equipment by developing methods, methods, principles and systems of vibration monitoring and diagnosing controlled vehicles. equipment.

Scientific novelty of the obtained results:

- for the first time for the case equipment of the drive line of each cage of the multicellular continuous state by measuring the data on the vibration field in the form of vibration velocity realization at 7-9 points during operating and idle mode, histograms and standard deviation;
- for the first time on the basis of a large number of measurements for all stands established a statistical relationship of the relative delay time of the reaction of the drive line sections from the time of operation of the spindles (wear of bronze inserts) taking into account the rolled range. The maximum quantitative values of the delay time are determined, at the achievement of which it is recommended to carry out maintenance;
- for the first time the concept of determination of a technical condition of the

equipment by means of diagnostic signs which receive for two modes of work of a condition is proved and developed: a) capture of a strip by rolls and b) a steady mode of work;

- it is established that the maximum value of the vibration velocity of the gear equipment of the gearbox and the gear stand during the capture of the strip by rollers is statistically related to the technical condition (wear of bronze liners) of the spindle joint and is a diagnostic feature. For the first time the correlation dependence of the maximum scope of vibration speed at capture of a strip by rolls on the static moment of rolling on a motor shaft is established;
- for the first time the dependence of the time of propagation of the shock pulse through the strip that is rolled to the previous cage, taking into account the temperature of the metal and the intercellular distance. This allows you to use this dependence to assess the state of technology and equipment.

The practical significance of the developed technique lies in the possibility of choosing the periods of purposeful vibration measurements, when the connection of diagnostic features with the condition of the equipment is most manifested, which increases the efficiency and reliability of the diagnostic process.

The first section analyzes the current state of development of vibration diagnostics systems for rolling mill equipment, systematizes the design and technological features of broadband mills, analyzes breakdowns and failures of equipment elements, considers the development of methods and systems for diagnosing rolling mills.

It is shown that in Ukraine technical diagnostics of metallurgical equipment has been developed since the 80s of the last century as a means of increasing reliability. During this time, three scientific schools were formed in this direction. In the first school of Donetsk Polytechnic (V.Y. Sedush, M.O. Chentsov, V.A. Sidorov) methods of diagnosing by means of portable means of vibration analysis with control of its parameters are developed. In the second school of the National Metallurgical Academy of Ukraine (A.V. Gordienko, V.K. Tsapko, S.V. Belodedenko) the theoretical bases of service and diagnostics of the technological equipment under control of complex indicators of reliability, risk and safety are developed. The third school, which was

formed in Dnipro at the Iron and Steel Institute of NAS of Ukraine (V.I. Bolshakov, V.V. Verenev), cultivates the use of transients as diagnostic indicators of the technical condition of rolling equipment.

In the works of foreign authors (Pekels J., Mitten K., Geigemüller G., Schwartz M., Arens M., Meikel J., Helekal G., etc.) give examples of the application of diagnostic systems for rolling mills and their economic efficiency. The conclusion is made about the relevance of the creation and substantiation of methods and methods of diagnostics and corresponding systems aimed at improving the efficiency of rolling mills.

The second section provides an analysis of vibrodynamic processes in rolling mills, presented in the literature. For the first time, partial dynamic systems and measurement points in the mechanical equipment of the main drive line and the rolling stand itself are identified, in which the relationship of dynamic processes related to diagnostic methods is established.

The points and places of the equipment, which are most inherently informative and related to the technical condition and wear of the joints, have been determined.

The disturbing factors influencing vibrodynamic processes in the modes of strip gripping by rolls and steady rolling (together with idling) are considered.

The regularities of the periodicity of wear and gap formation on the spindle and motor sections are determined in connection with the operating time of the mill and the replacement of elements.

A method for determining purposeful periods of vibration measurements, during which the greatest effect in diagnosing equipment TC is achieved, is substantiated and proposed. It allows one to obtain the values of the "best" diagnostic parameters in the normal state of the equipment and the "worst" ones after long-term operation of the stands or before major repairs. Knowledge of the "extreme" values of the parameters and their comparative analysis with the current ones helps to increase the reliability of the diagnosis.

Continuous broadband hot rolling mill refers to an extended (up to 1000 m) spatial object, consisting of 10-12 machines. In this regard, a general concept and principles for constructing a vibration diagnostic system and monitoring the technical condition of

equipment have been developed. Issues of measuring instruments, the number of channels and signal transmission lines to a single recorder, communication with standard measurement and regulation systems have been resolved.

Technical requirements to the system of vibration monitoring and diagnostics of technical condition of equipment of stands of continuous large-scale state of hot rolling are developed.

In the third section, the analysis of the purposeful experimental-industrial vibration measurements performed at the mill 1680 is presented, the methodology and measuring instruments are presented.

For each of the ten stands, visual images of vibration processes were determined simultaneously at all points of the equipment in normal (after repair or installation of a new spindle) and deteriorated (before repair) condition. Thus, for the first time, the images vibration field of stands in idle mode, when the strip is gripped by rolls and during rolling.

In all stands, the previously established property of delaying the response of the drive line sections to the application of a shock load to the working stand was confirmed. The further from the stand is the point (vibration sensor), the longer the delay time τ_3 . It was established for the first time that the time τ_3 does not depend on the rolling speed, but only on the state of wear in the joints. For each i -th point of the stands, the limiting values τ_{3i} , are determined, upon reaching which it is necessary to replace the spindles.

In a pair of stands, DUO - № 1 is installed during continuous rolling. that the dependence of the vibration amplitude of the duo stand and the gear stand on the speed of the mismatch of the slab problem in stand № 1 has a minimum. On this basis, a patent-protected method for correcting the slab setting speed is proposed.

Despite the large distance between stands № 2 – № 3 (19 m) and № 3 – № 4 (25 m), in these pairs of stands, the interaction of equipment for vibration during continuous rolling was also established, when the strip is captured in the next stand. For the first time, according to the measurement data, the velocity of energy propagation (torsional shock load) along the drive line and between the stands through the hot rolled strip was

determined.

It has been established that the speed of propagation of the shock load from the working stand to the i -th measurement point, as well as the time τ_i , depends on the clearance δ_{III} in the spindle joint. At the same time, between the points «inside» the line, it does not depend on the gap δ_{III} , but is determined by the design feature and technical condition of the section. For example, this is the transmission of a load through the gearing of a wheel and pinion of a reducer or a shaft with gear couplings.

It has been established that the range of vibration velocity at the moment when the strip is captured by the rolls through the rigidity of the deformation zone depends on the steel grade and the compression mode. The stiffer the focus, the greater the range of vibration velocity, the greater the impact force in the cage (all other things being equal). When rolling thick strips (4–6 mm), the vibration velocity swing was 1,3...1,6 times less than when rolling thin strips (2–2,5 mm). The rigidity of the hearth increases towards the last stands of the finishing group, along with this, the vibration range increases.

For the first time, the correlation dependence of the vibration amplitude A_p during the capture of the strip on the static moment M_{CT} was established. With an increase in the static moment M_{CT} , the amplitude of vibration A_{max} increases. The more the wear of the bronze spindle liners and the angular clearances δ_{III} , the more A_{max} . The substantiation of the noted dependencies is given. The graphical images of the correlation fields $\{A_{max}, M_{CT}\}$ under normal and deteriorated technical condition of the equipment are presented. Quantitative characteristics were determined by which the fields can be estimated, compared with each other and with TS (correlation coefficient r , approximating the dependence $A_{max}(M_{CT})$).

In the fourth section, studies of the diagnostics system introduced at the 1680 mill are carried out. The analysis of methods for determining the technical condition of the equipment of rolling stands based on the results of vibration measurements. The informative and diagnostic signs and their relationship with the parameters of the gearbox vehicle are generalized and considered. For the first time for a rolling mill,

calculations were performed and the interrelationships of processes at a number of points of equipment were investigated using cross-correlation functions. The features of the signal delay and their propagation are established. Data on the speed of signal propagation were obtained.

The issues of using the parameters of vibration processes in adjacent stands in transient processes of strip capture and ejection by rolls are considered.

A number of new diagnostic methods have been developed and the known methods and methods for determining and recognizing TS nodes have been improved.

The fifth section presents the structure and technical characteristics of the system, methods of processing and visualization of measurement results, describes the principles of processing, formation and storage of the measurement database.

A description of the methodology for monitoring vibration processes simultaneously in all stands of a multi-stand mill is given.

Practical examples of diagnosing the degradation of units and preventing breakdowns are given. An assessment of the efficiency of the system in the shop of hot rolling of thin sheet by the technical management of PJSC «Zaporizhstal» (review of the operation of the stationary system on the rolling mill 1680 in shop of hot rolling of a thin sheet from 16.06.2021).

Key words: continuous broadband mill, hot rolling, stand, main drive line, dynamics, vibration processes, monitoring, technical condition, diagnostics.