

УДК 621.771:658.58

EDN: HEITUM

Пичахчи А. В., Закарлюка С. В., Ошовская Е. В., Сидоров В. А.Донецкий национальный технический университет***E-mail: pichakhchi.a.v@yandex.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УДАРА ВЕРХНЕГО ВАЛКА ШЕСТЕРЁННОЙ КЛЕТИ ПРИ ЗАХВАТЕ ЗАГОТОВКИ

В статье приведены результаты исследования динамики процесса захвата заготовки прокатными валками горизонтальной клетки, при котором происходит резкое увеличение крутящего момента и динамическое перемещение верхнего вала с выборкой зазора в подшипниках, что может приводить к ударам тел качения о наружное кольцо. Важность переходных процессов и ударных воздействий позволяет предположить их использование для оценки технического состояния подшипников и зубчатой передачи шестерённой клетки.

Ключевые слова: шестерённая клеть, подшипник вала, удар, виброускорение, экспериментальные исследования.

Анализ публикаций. Оценка технического состояния подшипников качения по значениям показателей вибрации на протяжении длительного времени представляет предмет исследовательских работ [1–4]. Среди многочисленных публикаций по определению состояния подшипников качения можно выделить направления: исследование ударов в подшипнике; создание математических моделей, описывающих взаимодействие деталей подшипника; изучение динамических нагрузок, действующих на элементы прокатных клеток, в том числе и подшипниковые опоры. Взаимодействие элементов подшипников качения определяет их техническое состояние и становится объектом изучения. В работе [5] приведены результаты исследований распределения деформаций сепаратора в зависимости от ударных сил, приложенных к сепаратору игольчатого роликового подшипника. Анализ динамических характеристик цилиндрического роликового подшипника с отклонениями размеров в сепараторе посвящена статья [6]. В динамической модели цилиндрического роликового подшипника [7] исследуются трение роликового сепаратора и сила удара для оценки проскальзывания. Работа [8] представляет результаты исследования сотового каркаса с двойным режимом деформации для повышения жесткости

и изоляции окружающей вибрации в численном и экспериментальном аспекте.

Динамическая модель, иллюстрирующая характеристики вибрации дефектного подшипника [9], учитывает движение ролика и удар между роликом и сепаратором. Анализ вибрации сопряженной системы «гребной вал — корпус» на основе численных и полуаналитических методов определяет основное содержание работы [10]. Для исследования повторных динамических процессов, возникающих в электромеханических системах клеток прокатных станов при захвате полосы валками, разработана математическая модель [11] и выполнен анализ осциллограмм переходных процессов токов и скоростей электроприводов для определения причин, вызывающих недопустимые динамические нагрузки.

В работе [12] приведены числовые значения ключевых факторов, определяющих оптимальные условия для проверки подшипников при входном контроле с учетом критерия чувствительности. Исследование основано на принципах теории планирования эксперимента, что обеспечивает достоверность полученных результатов и их применимость в диагностике состояния подшипников.

Проведенный анализ публикаций позволил установить отсутствие работ, объ-

единяющих состояние подшипников качения, определяемое на основании кратковременных динамических воздействий при захвате заготовки, что характерно для редукторов привода прокатных клетей и исследования на лабораторных моделях.

Постановка задачи. При захвате заготовки прокатными валками горизонтальной клетки, происходит резкое увеличение крутящего момента. При этом, в шестерённой клетке привода происходит динамическое перемещение верхнего вала с выборкой зазора в подшипниках до удара роликов о наружное кольцо. Высокая информативность переходных процессов позволяет предположить возможность общей оценки технического состояния шестерённой клетки на основании характеристик ударного воздействия.

На первом этапе исследования целесообразным является проведение лабораторного эксперимента при известном хорошем состоянии шестерённой клетки для определения зависимостей характеристик удара от величины обжатия заготовки и скорости прокатки. Второй этап предполагает проведение измерений на корпусе верхнего подшипника шестерённой клетки комбинированного редуктора привода валков клетей непрерывного прокатного стана. Третий этап включает обобщение полученных результатов в рамках экспертного модуля оценки состояния для стационарной системы вибрационного контроля. В работе рассматривается последовательность решения задачи первого этапа предложенного комплекса исследований.

Объект исследования — динамические процессы, возникающие в шестерённой клетке привода прокатного стана при захвате заготовки рабочими валками, которые сопровождаются ударами в подшипниках верхнего вала.

Предмет исследования — характеристики ударного взаимодействия тел качения и беговых дорожек подшипников верхнего вала шестерённой клетки, проявляющиеся в параметрах виброускорения и

их зависимости от скорости прокатки и величины обжатия.

Задачи исследования:

- проведение лабораторного эксперимента по регистрации параметров виброускорения при захвате заготовки валками и определение зависимостей характеристик удара от скорости прокатки и величины обжатия;

- выявление закономерностей изменения размаха виброускорения, времени удара и времени затухания колебаний при различных технологических режимах;

- оценка диагностической значимости характеристик ударного взаимодействия для определения технического состояния подшипников и зубчатых передач шестерённой клетки.

Цель эксперимента — определить зависимость силы удара в подшипниках верхнего вала при хорошем состоянии контактирующих поверхностей тел качения и беговых дорожек колец, пропорциональной мгновенному значению виброускорения, от величины обжатия и скорости прокатки при захвате заготовки.

Идея эксперимента — при захвате заготовки рабочими валками прокатной клетки верхний шестерённый валок под влиянием радиальной силы в зацеплении выбирает зазор в подшипнике при перемещении вверх. Сила удара тел качения и беговой дорожки наружного кольца подшипника зависит от силы прокатки, обусловленной обжатием (относительным или абсолютным), от скорости прокатки, от состояния контактирующих поверхностей.

Изложение материала. Эксперимент проводился на автоматизированном лабораторном прокатном стане, включающем прокатную клетку ДУО-130 (диаметр рабочих валков 130 мм, длина бочки вала 160 мм), привод и пульт управления на базе программируемого логического контроллера (рис. 1). Привод стана включает мотор-редуктор, в составе асинхронного двигателя (частота вращения 1470 об/мин, мощность 5,0 кВт), планетарного редукто-

МАШИНОСТРОЕНИЕ

ра (передаточное число 32,66), шестерённой клетки (передаточное число 1) и шпинделей (карданных валов). Регулировка частоты вращения двигателя в диапазоне 120...1470 об/мин и абсолютного обжатия в диапазоне 1,0...2,0 мм (относительное обжатие 0,125...0,20) осуществляется с пульта управления.

Предварительная группа экспериментов включала 12 опытов из трех серий:

– серия 1 — прокатка заготовки с начальной толщиной 11,7 мм с абсолютным обжатием 1,7 мм;

– серия 2 — прокатка заготовки с начальной толщиной 10,0 мм с абсолютным обжатием 2,0 мм;

– серия 3 — прокатка заготовки с начальной толщиной 8,0 мм с абсолютным обжатием 1,0 мм.

В каждой серии проводилась прокатка свинцовых заготовок на средней, минимальной и максимальной частотах вращения двигателя. Соответственно частоте вращения валков скорость прокатки составляла: 41,5 мм/с, 170,8 мм/с, 300 мм/с. Условия проведения опытов приведены в таблице 1.

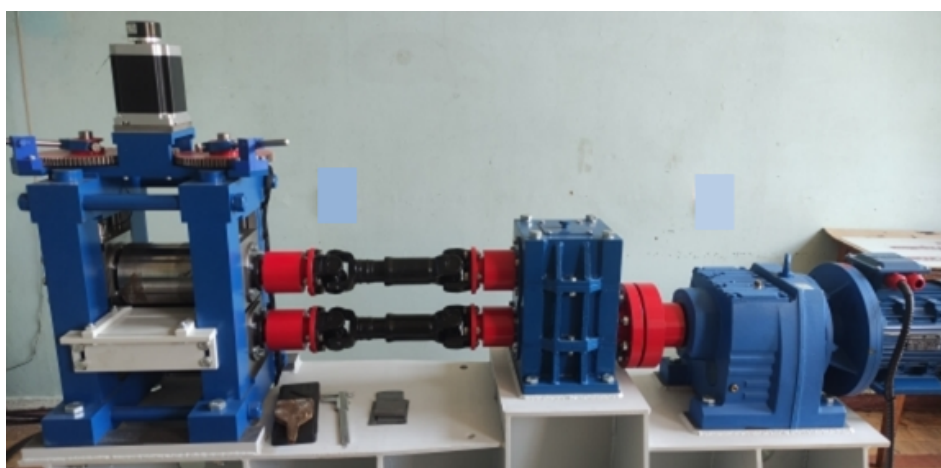


Рисунок 1 — Общий вид лабораторного прокатного стана ДУО-130

Таблица 1

Условия проведения опытов

№ опыта	Исходная толщина h_1 , мм	Абсолютное обжатие Δh , мм	Конечная толщина h_2 , мм	Относительное обжатие ε	Частота вращения рабочих валков n , об/мин
1	11,7	1,7	10	0,15	25,1
2	11,7	1,7	10	0,15	25,1
3	11,7	1,7	10	0,15	6,1
4	11,7	1,7	10	0,15	44,1
5	10	2	8	0,20	25,1
6	10	2	8	0,20	25,1
7	10	2	8	0,20	6,1
8	10	2	8	0,20	44,1
9	8	1	7	0,125	25,1
10	8	1	7	0,125	25,1
11	8	1	7	0,125	6,1
12	8	1	7	0,125	44,1

Измерения мгновенных значений размаха виброускорения проводились при помощи анализатора вибрации 795М. Контрольная точка измерений находилась на корпусе подшипника холостой стороны верхнего валка. Фиксировался момент захвата заготовки и прокатки.

Параметры настройки прибора: временной анализ виброускорения без усреднения; режим интегратора — линейный; настройка усилителя — ручной режим — коэффициент усиления — 5; чувствительность датчика — 7,775 пКл/м/с²; режим запуска — свободный от внешнего триггера; частотный диапазон — 10...4000 Гц; период между измерениями — 200 мкс; количество точек измерений — 16384. Общее время измерения одной реализации — 3,27 с. Кратковременность протекания процесса захвата не позволила использовать режим автоматического определения коэффициента усиления. Полученные результаты обрабатывались с использованием компьютерной программы «КонСпект» в виде временных реализаций виброускорения, приведенных на рисунке 2.

Захват заготовки во всех реализациях сопровождается ударом с различной амплитудой. Различия между холостым и рабочим ходом при малых обжатиях и средней частоте вращения валков незначительны (рис. 2, а). Увеличение скорости прокатки до максимальной в данной серии опытов позволяет зафиксировать время прокатки (момент выхода раската) из клетки) и легкие удары при работе привода, находящегося в процессе приработки (рис. 2, б). Для каждой реализации захвата заготовки выделяются размах виброускорения, время затухания и период колебаний (рис. 3).

Цель эксперимента — получить зависимость размаха виброускорения (а) от частоты вращения валков (n) и усилия прокатки (Р):

$$a = f(n, P). \quad (1)$$

Время затухания должно увеличиваться по мере износа механизма, являясь диа-

гностическим симптомом. В эксперименте данная величина фиксировалась дополнительно. Уменьшение частоты вращения увеличивает время затухания вибрационного сигнала после удара. Период, определяющий частоту колебаний (250...500 Гц), связан с частотой взаимодействия зубьев шестерённых валков при замыкании сил между валками при прокатке и отличен от информативной частоты повреждений зубчатой передачи.

Значения усилия прокатки определялись по показаниям месдоз, расположенных в станинах прокатной клетки. Фотографии экрана пульта управления с изменением силы в процессе прокатки приведены на рисунке 4.

Результаты измерения параметров удара приведены в таблице 2.

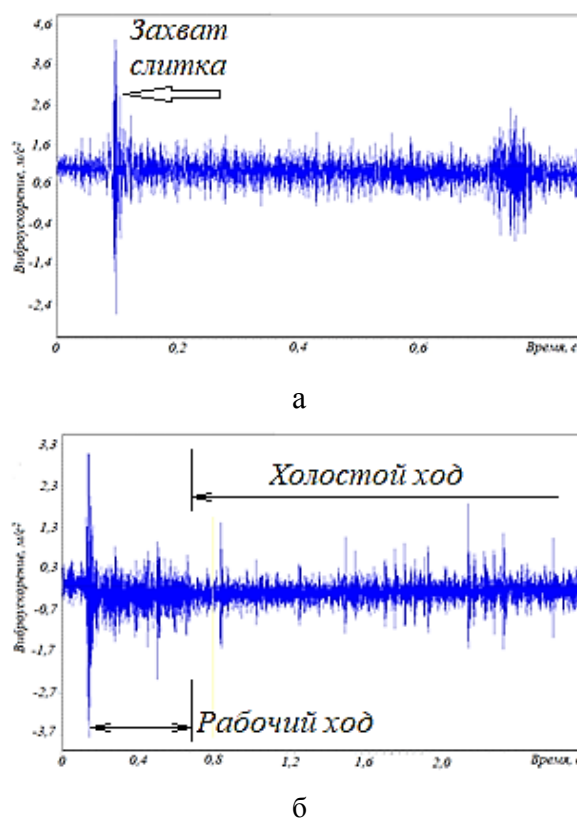


Рисунок 2 — Реализации временного сигнала виброускорения при прокатке заготовки:

- а) серия 1 — средняя скорость;
- б) серия 4 — максимальная скорость

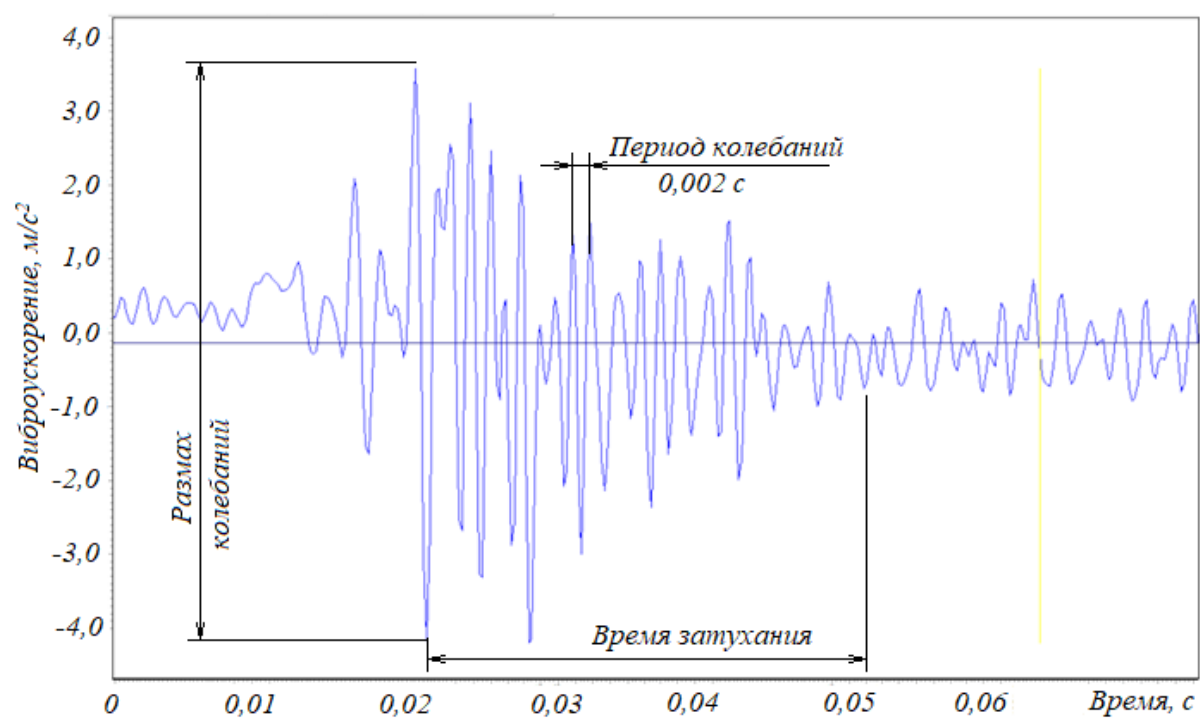


Рисунок 3 — Величины, характеризующие захват заготовки при эксперименте

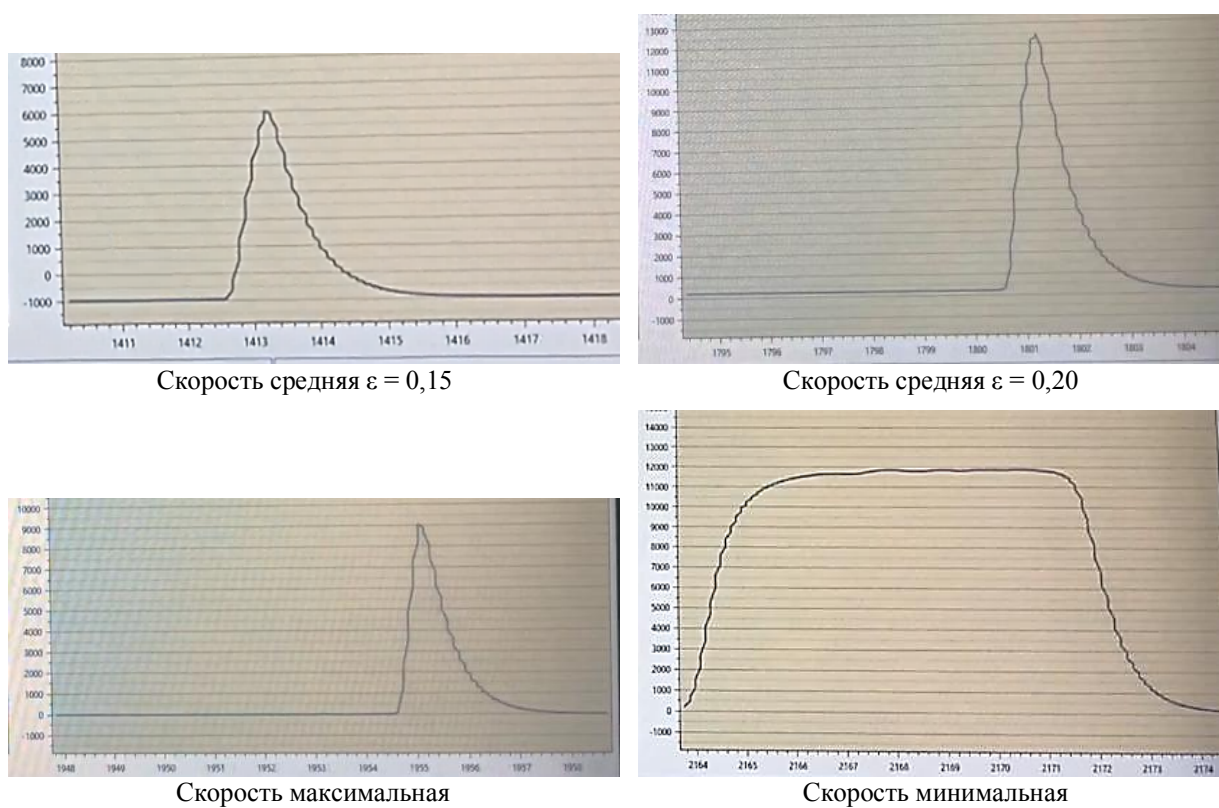


Рисунок 4 — Фото экрана пульта управления при проведении экспериментальных исследований с изменением силы в процессе прокатки

Таблица 2

Результаты измерения параметров удара

№ опыта	Относительное обжатие ε	Частота вращения рабочих валков n , об/мин	Максимальное усилие прокатки, H	Размах виброускорения, m/s^2	Время удара, мс	Время затухания, мс
1	0,15	25,1	6037,69	6,88	11	13
2	0,15	25,1	5875,88	5,078	15	38
3	0,15	6,1	11145,3	2,043	26	22
4	0,15	44,1	3944,89	6,039	15	61
5	0,20	25,1	12464,77	4,747	17	23/55
6	0,20	25,1	12308,23	6,700	16	34
7	0,20	6,1	-	1,713	-	-
8	0,20	44,1	9057,83	16,135	16	49
9	0,125	25,1	8472,54	7,777	16	33
10	0,125	25,1	9141,54	3,403	23	67
11	0,125	6,1	11872,44	0,295	25	71
12	0,125	44,1	6470,85	6,839	19	25

Обсуждение результатов. Снижение частоты вращения валков приводит к увеличению усилия прокатки. Данные таблицы 2 были подтверждены результатами измерения усилия месдозами (рис. 5). В каждой из трех серий третий опыт проводился на минимальной частоте вращения. Возможное объяснение — низкое быстродействие силовой измерительной системы.

Обработка результатов экспериментов указывает на наличие экспоненциальной зависимости между виброускорением в момент захвата и частотой вращения вал-

ков (рис. 6, а). Изменение усилия прокатки почти не сказывается на виброускорении (рис. 6, б), значение которого равнялось $6,0 m/s^2$ при практически любой реализации. Исключение составляет значение $16,1 m/s^2$, полученное при частоте вращения рабочих валков 44,1 об/мин и относительном обжатии 0,2. Это позволяет предположить наличие границы ступенчатого перехода, связанного с изменением сопротивления деформации прокатываемого материала при высоких относительных обжатиях.

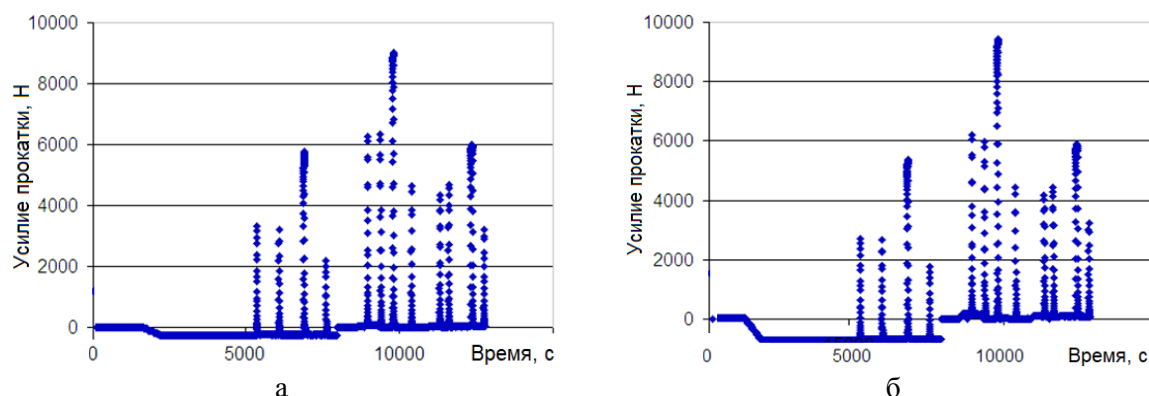


Рисунок 5 — Значения усилия прокатки, зафиксированные месдозами левой (а) и правой (б) станины прокатного стана ДУО-130

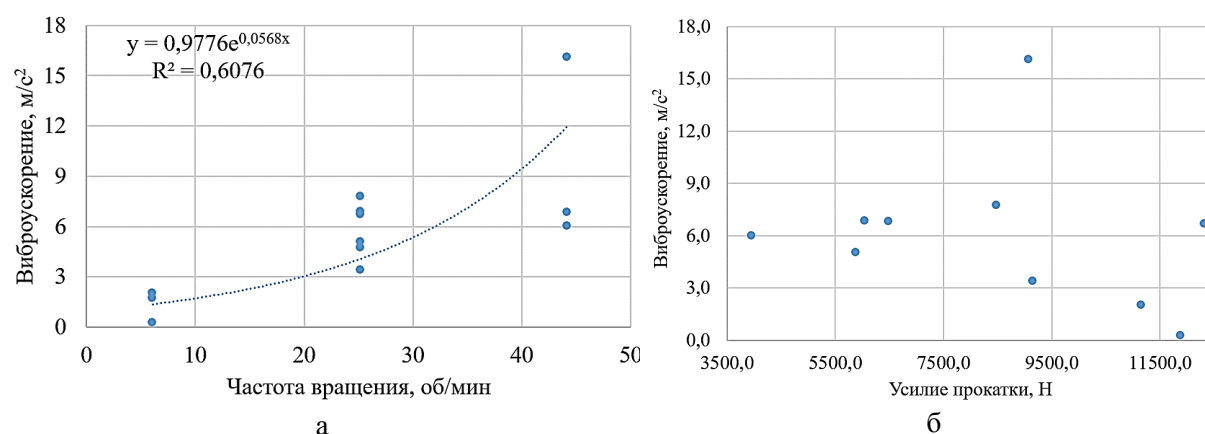


Рисунок 6 — Графическая и аналитическая интерпретации зависимостей:

а) $a = f(n)$ — виброускорение — частота вращения;

б) $a = f(P)$ — виброускорение — усилие прокатки

Частота вращения в большей степени оказывает влияние на значение виброускорения при захвате слитка, чем усилие прокатки. Данный вывод может быть использован при разработке диагностических моделей поведения подшипников шестерённых клеток комбинированных редукторов непрерывных прокатных станов при формировании «эталонного» распределения.

Выводы:

1. В ходе экспериментальных исследований установлено, что зависимость размаха виброускорения от частоты вращения валков и усилия прокатки проявляется через экспоненциальные изменения. Наибольшее влияние на виброускорение оказывает изменение частоты вращения валков, в то время как усилие прокатки при стабильных условиях практически не изменяет амплитуду вибраций.

2. Результаты подтверждают, что повышение относительного обжата и скорости прокатки может вызывать увеличение вибрационного воздействия, что связано с изменением сопротивления деформации прокатываемого материала. Эти данные имеют важное значение для разработки диагностических моделей оценки состояния подшипников шестерённой клетки в рамках системы вибрационного контроля.

3. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают возможность использования виброускорения как диагностического параметра для оценки технического состояния оборудования, что открывает перспективы для дальнейших исследований и улучшения методик контроля и мониторинга состояния прокатных клеток.

Список источников

1. *Evaluation of the Diagnostic Sensitivity of Digital Vibration Sensors Based on Capacitive MEMS Accelerometers* / M. Fidali, D. Augustyn, J. Ochmann, W. Uchman // *Sensors (Basel)*. 2024. Vol. 24. Iss. 14. Article 4463. DOI: 10.3390/s24144463 EDN KGSTIP
2. Герике П. Б., Герике Б. Л. Моделирование деградации фактического состояния подшипников качения на основе единого диагностического критерия // *Горная промышленность России*. 2023. № S2. С. 32–36. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-32-36 EDN ICAWAX
3. *Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox: A review* / T. Wang, Q. Han, F. Chu, Zh. Feng // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 126. P. 662–685. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.02.051

4. Сергеев К. О. Результаты применения безразборной диагностики судовых вспомогательных механизмов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2024. № 2-1 (64). С. 90–96. DOI: 10.37220/MIT.2024.64.2.011 EDN MLSHTN
5. Shi Zh., Liu J. A novel test rig for the investigation of roller-cage impact of a needle roller bearing // *Measurement Science and Technology*. 2023. DOI: 10.1088/1361-6501/acb809 EDN RGMTAJ
6. Dynamic Characteristics Analysis of Cylindrical Roller Bearing with Dimensional Deviations in Cage Pocket / J. Xin, Z. Wang, X. Hao [et al.] // *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. Article 9433. DOI: 10.3390/app14209433 EDN YVEOFD
7. Shi Zh., Liu J., Xiao G. Analysis of cage slip and impact force in a cylindrical roller bearing with race defects // *Tribology International*. 2023. Vol. 180. Article 108208. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.108208 EDN ETBTLZ
8. A novel honeycomb sandwich cylindrical shell with dual deformation mode for circumferential vibration isolation and enhanced stiffness / H. Ni, J. Liu, D. Liu [et al.] // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2025. Vol. 226. Article 112359. DOI: 10.1016/j.ymssp.2025.112359 EDN SSILKG
9. A dynamic model of defective bearing considering the detailed motion of the roller and the impact between the roller and the cage / W. Tu, B. Yang, W. Yu, Ya Luo // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part K : Journal of Multi-Body Dynamics*. 2023. Vol. 237. Iss. 3. P. 494–510. DOI: 10.1177/14644193231180242 EDN DHMLOL
10. Vibration analysis of a coupled propulsion shaft-shell system based on the numerical and semi-analytical methods / J. Liu, X. Li, J. Liu [et al.] // *Journal of Sound and Vibration*. 2025. Vol. 599. Article 118845. DOI: 10.1016/j.jsv.2024.118845 EDN CDUBXM
11. Математическое моделирование взаимосвязанных электромеханических систем непрерывной подгруппы клеток прокатного стана. Часть 2. Исследование динамических нагрузок в универсальных клетях / А. А. Радионов, А. С. Карандаев, В. Р. Храминин [и др.]. // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика*. 2015. Т. 15. № 2. С. 67–76. DOI: 10.14529/power150209 EDN TNUSNB
12. Исследование влияния условий испытаний подшипников качения на информативность оценки их технического состояния / И. С. Кудрявцева, А. П. Науменко, А. И. Одинец, В. В. Басакин // *Проблемы машиноведения : материалы IV международной научно-технической конференции / науч. ред. П. Д. Балакин*. Омск : Омский государственный технический университет, 2020. С. 361–367.

© Пичахчи А. В., Закарлюка С. В., Ошовская Е. В., Сидоров В. А., 2025

**Рекомендована к печати д.т.н., зав. каф. «Горные машины» ДонНТУ Шабеевым О. Е.,
к.э.н., зав. каф. ТОМП ДонГТУ Зинченко А. М.**

Статья поступила в редакцию 19.09.2025.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пичахчи Александр Владимирович, аспирант каф. механического оборудования заводов черной металлургии

Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия, e-mail: pichakhi.a.v@yandex.ru

Закарлюка Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. обработки металлов давлением
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия

Ошовская Елена Владимировна, канд. техн. наук, доцент каф. механического оборудования заводов черной металлургии
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия

Сидоров Владимир Анатольевич, д-р техн. наук, доцент, профессор каф. механического оборудования заводов черной металлургии
Донецкий национальный технический университет,
г. Донецк, Россия

***Pichakhchi A. V., Zakarlyuka S. V., Oshovskaya E. V., Sidorov V. A.** (Donetsk National Technical University, Donetsk, Russia, *e-mail: pichakhi.a.v@yandex.ru)

STUDYING THE IMPACT CHARACTERISTICS OF THE UPPER ROLL OF A SPINDLE BOX AT GRIPPING A WORKPIECE

The article presents the results of studying the dynamic process of gripping a workpiece by rolling rolls of a horizontal stand, during which there is a sharp increase in torque and dynamic movement of the upper roll with a clearance adjustment in bearings, which can lead to impacts of the rolling elements on the outer ring. The importance of transient processes and impact effects allows us to assume their use for assessing the technical condition of bearings and gear transmission of a gear stand.

Key words: spindle box, roll bearing, impact, vibration acceleration, experimental studies.

References

1. Fidali M., Augustyn D., Ochmann J., Uchman W. Evaluation of the Diagnostic Sensitivity of Digital Vibration Sensors Based on Capacitive MEMS Accelerometers. *Sensors (Basel)*. 2024. Vol. 24. Iss. 14. Article 4463. DOI: 10.3390/s24144463 EDN KGSTIP
2. Gerike P. B., Gerike B. L. Modeling of the degradation of the actual state of rolling bearings based on a single diagnostic criterion [Modelirovanie degradacii fakticheskogo sostoyaniya podshipnikov kacheniya na osnove edinogo diagnosticheskogo kriteriya]. *Mining Industry of Russia*. 2023. No. S2. Pp. 32–36. DOI: 10.30686/1609-9192-2023-S1-32-36 EDN ICAWAX
3. Wang T., Han Q., Chu F., Feng Zh. Vibration based condition monitoring and fault diagnosis of wind turbine planetary gearbox: A review. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 126. Pp. 662–685. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.02.051
4. Sergeev K. O. Results of application of in-place diagnostics of ship auxiliary mechanisms [Rezultaty primeneniya bezrazbornoj diagnostiki sudovyh vspomogatel'nyh mekhanizmov]. *Marine intellectual technologies*. 2024. No. 2-1 (64). Pp. 90–96. DOI: 10.37220/MIT.2024.64.2.011 EDN MLSHTN
5. Shi Zh., Liu J. A novel test rig for the investigation of roller-cage impact of a needle roller bearing. *Measurement Science and Technology*. 2023. DOI: 10.1088/1361-6501/acb809 EDN RGMTAJ
6. Xin J., Wang Z., Hao X. [et al.]. Dynamic Characteristics Analysis of Cylindrical Roller Bearing with Dimensional Deviations in Cage Pocket. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14. Article 9433. DOI: 10.3390/app14209433 EDN YVEOFD
7. Shi Zh., Liu J., Xiao G. Analysis of cage slip and impact force in a cylindrical roller bearing with race defects. *Tribology International*. 2023. Vol. 180. Article 108208. DOI: 10.1016/j.triboint.2022.108208 EDN ETBTLZ
8. Ni H., Liu J., Liu D. [et al.]. A novel honeycomb sandwich cylindrical shell with dual deformation mode for circumferential vibration isolation and enhanced stiffness. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2025. Vol. 226. Article 112359. DOI: 10.1016/j.ymssp.2025.112359 EDN SSILKG
9. Tu W., Yang B., Yu W., Luo Ya. A dynamic model of defective bearing considering the detailed motion of the roller and the impact between the roller and the cage. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part K: Journal of Multi-Body Dynamics*. 2023. Vol. 237. Iss. 3. Pp. 494–510. DOI: 10.1177/14644193231180242 EDN DHMLOL
10. Liu J., Li X., Liu J. [et al.]. Vibration analysis of a coupled propulsion shaft-shell system based on the numerical and semi-analytical methods. *Journal of Sound and Vibration*. 2025. Vol. 599. Article 118845. DOI: 10.1016/j.jsv.2024.118845 EDN CDUBXM
11. Radionov A. A., Karandaev A. S., Khramshin V. R. [et al.]. Mathematical modeling of interconnected electromechanical systems of a continuous sub-group of rolling mill stands. Part 2. Study of dynamic loads in universal stands [Matematicheskoe modelirovanie vzaimosvyazannyh

elektromekhanicheskikh sistem nepreryvnoj podgruppy kletej prokatnogo stana. Chast' 2. Issledovanie dinamicheskikh nagruzok v universal'nyh kletyah]. Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering. 2015. Vol. 15. No. 2. Pp. 67–76. DOI: 10.14529/power150209 EDN TNUSNB

12. Kudryavtseva I. S., Naumenko A. P., Odinetz A. I., Basakin V. V. Examining the influence of rolling bearing test conditions on the informative evaluation of their technical condition [Issledovanie vliyaniya uslovij ispytaniy podshipnikov kacheniya na informativnost' ocenki ih tekhnicheskogo sostoyaniya]. Problems of Mechanical Engineering: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference. Omsk. March 17–19. 2020. Scientific editor Balakin P. D. Omsk : Omsk State Technical University. 2020. Pp. 361–367.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pichakhchi Aleksandr Vladimirovich, Postgraduate student of the Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia, e-mail: pichakhi.a.v@yandex.ru

Zakarlyuka Sergey Vladimirovich, PhD in Engineering, Assistant Professor, Head of the Department of Metal Forming
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia

Oshovskaya Elena Vladimirovna, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia

Sidorov Vladimir Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Professor of the Department of Mechanical Equipment of Ferrous Metallurgy Plants
Donetsk National Technical University,
Donetsk, Russia