

БОРИСЕНКО В.Ф. (Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина)

СИДОРОВ В.А. (Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина)

ЗЕМЛЯНСКИЙ А.И. (Донецкий национальный технический университет, Донецк, Украина)

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ КЛЕТЕЙ

Для непрерывных прокатных станов одним из важнейших технологических вопросов является настройка скоростных режимов взаимосвязанных клеток линии. Основным законом при установке скоростей прокатки группы последовательно связанных клеток выступает постоянство прокатываемого объема металла $S_1 V_1 = S_2 V_2 = S_3 V_3 = \dots = S_i V_i$. Установка требуемых согласованных частот вращения валков осуществляется оператором стана с пульта управления приводом конкретной клетки. Система электропривода – управляемый преобразователь (ТП) – двигатель постоянного тока (Д) с независимым возбуждением обеспечивает работу в двух зонах ($n_n > n > n_0$), что даёт возможность оперативной подстройки скоростей прокатки при нарушении закона постоянства прокатываемого объема. Конструктивные особенности клеток различных групп (черновой, промежуточной, чистовой) могут существенно сказываться на динамическом взаимовлиянии и, как следствие, на нагрузках взаимосвязанных электромеханических систем клеток. Для оценки взаимовлияния электромеханических систем взаимосвязанных клеток рекомендуется вначале проведения исследование на математических моделях с целью выявления наиболее нагруженных звеньев с последующим их исследованием на реальном стане с использованием методов тепловых и вибрационных полей.

Ключевые слова: прокатный стан, комбинированный редуктор, вибрационные поля, тепловые поля, электромеханическая система, динамическое моделирование.

Введение

Современный сортовой непрерывный прокатный стан включает 15...30 клеток, имеющих индивидуальный или групповой привод. Мощность привода прокатной клетки – 300...1000 кВт, частота вращения входного вала – 300...1000 об/мин, частота вращения выходных валов 10...1000 об/мин, а для чистовых блоков мелкосортных станов может составлять 1000...10000 об/мин. Часто используется схема привода с комбинированным редуктором, совмещающая в себе функции редуктора и шестеренной клетки (рис. 1) [7, 9].

В общем случае кинематическая схема привода состоит из двигателя, зубчатой муфты, редуктора, совмещенного с шестеренной клетью, шпиндельного соединения и прокатных валков, установленных горизонтально или вертикально в станине. В непрерывном стане прокатываемая заготовка находится одновременно в нескольких клетях, имеющих различные скоростные характеристики. Ско-

рость прокатки плавно регулируется по цепи: управляемый преобразователь → двигатель → комбинированный редуктор → шпиндели → прокатные валки [14, 16, 19]. Изменение диаметра прокатных валков после переточки требует подстройки частоты вращения при том же режиме прокатки для обеспечения неизменной линейной скорости.

Несмотря на то что конструкции комбинированного редуктора давно известны, применялись они крайне редко только для привода узкоспециализированных станов. Они не соответствуют требованиям обжимных станов, имеющих большую мощность привода и большой диапазон перемещения рабочих валков [4, 12].

Типовые конструкции кинематических цепей клеток стана

Мощности приводов клеток сортопрокатных станов значительно ниже, чем клеток обжимных станов, а перемещения валков относительно малы – этот фактор дал толчок к использованию комбиниро-

ванных редукторов. Такая конструкция привода прокатной клетки позволяет существенно снизить длину валопроводов, уменьшить общую металлоёмкость конструкции, повысить компактность оборудования и, как следствие, сократить площадь, необходимую для установки про-

катного стана. Единый подход при конструировании станов позволяет использовать комбинированные редукторы как в раздельном и универсальном исполнении (рис. 2), так и для привода горизонтальных (рис. 3), вертикальных (рис. 4) прокатных валков.

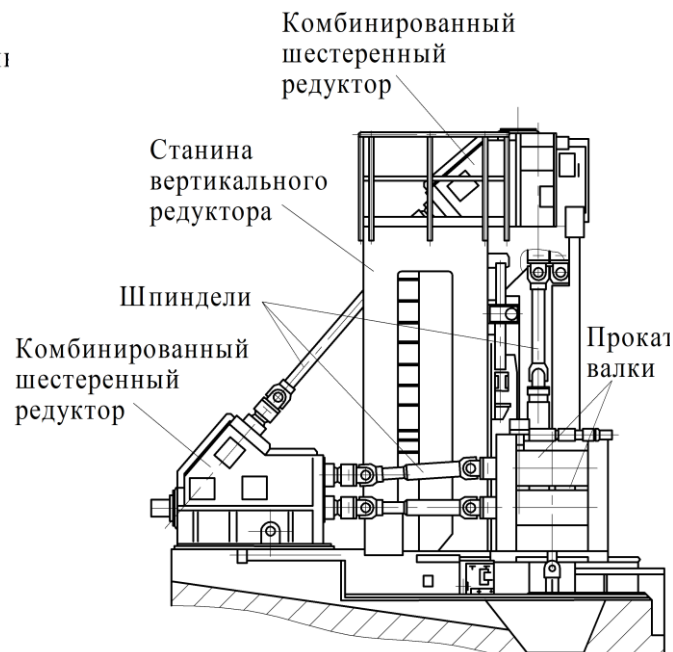
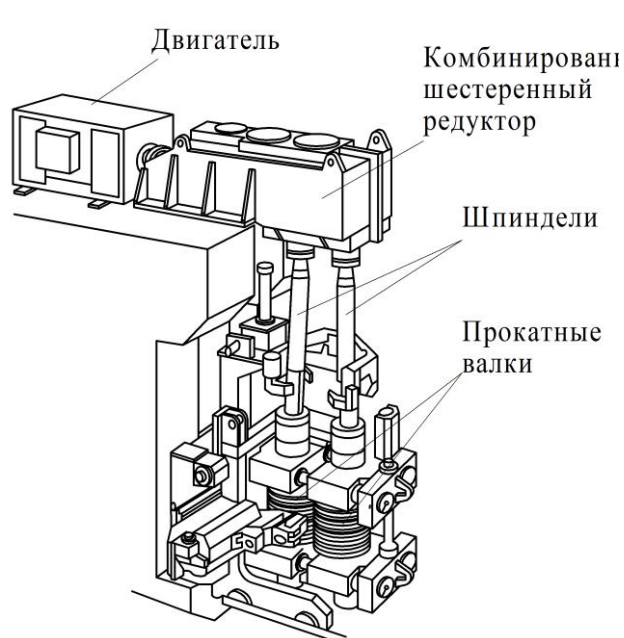


Рис. 1. Общий вид привода прокатной клетки с комбинированным редуктором

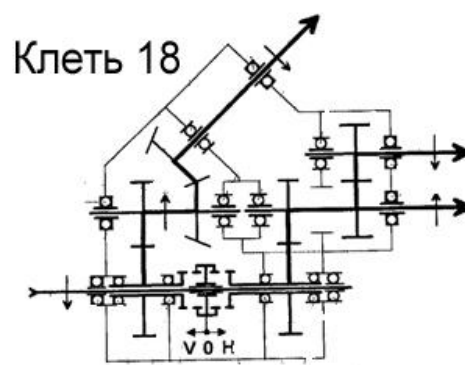
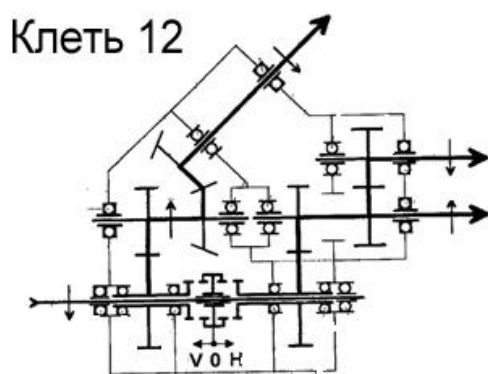


Рис. 2. Кинематические схемы универсальных комбинированных редукторов непрерывного прокатного стана

Динамические характеристики линии привода существенно зависят от приведенного момента инерции системы. Это следует учитывать при построении динамических моделей для автоматизированной системы управления, работающей при переменных нагрузках. Вероятностный характер нагрузки определяется тем,

что меняется сортамент проката, его температура, марка стали, состояние оборудования, усилия, необходимые для выполнения технологических операций. При захвате заготовки валками происходит удар, который передается по главной линии прокатной клетки ко всем элементам привода [3, 8, 10, 11].

Высокие скорости машин и механизмов, отсутствие комплексной автоматизации технологических процессов приводят к возникновению различных, как правило, нежелательных динамических явлений, которые искажают движение рабочих органов или создают в трансмиссиях машин дополнительные нагрузки, снижающие долговечность деталей и ухудшающие качество продукции.

Анализ технологических параметров клеток непрерывного стана

В металлургии, как и в других отраслях промышленности, возникает так называемая «проблема скоростей», от решения которой зависят как объёмы производства, так и качество продукции, долговечность и безаварийность машин. Все вышеперечисленные факторы отри-

цательно влияют на надёжность механического оборудования, снижая её. Именно поэтому, актуальным является подход к определению оптимальных параметров элементов электромеханической системы непрерывных прокатных станов [1, 2, 5, 15, 18, 20].

На рис. 5 представлены зависимости допустимой частоты вращения клеток $n_{\text{доп}}(N)$, мощности приводных двигателей $P_{1-18}(N)$, их номинальные частоты вращения $n_n(N)$, моменты инерции $J_{\text{д+мех}}(N)$, величины запаса кинетической энергии $J_{(\text{д+м})} \times \omega^2 / 2$ клеток при номинальных частотах вращения, а также указаны типы клеток при прокатке сортамента №14×2. Расчёты проведены исходя из параметров привода 18-ти рабочих клеток непрерывного прокатного стана.

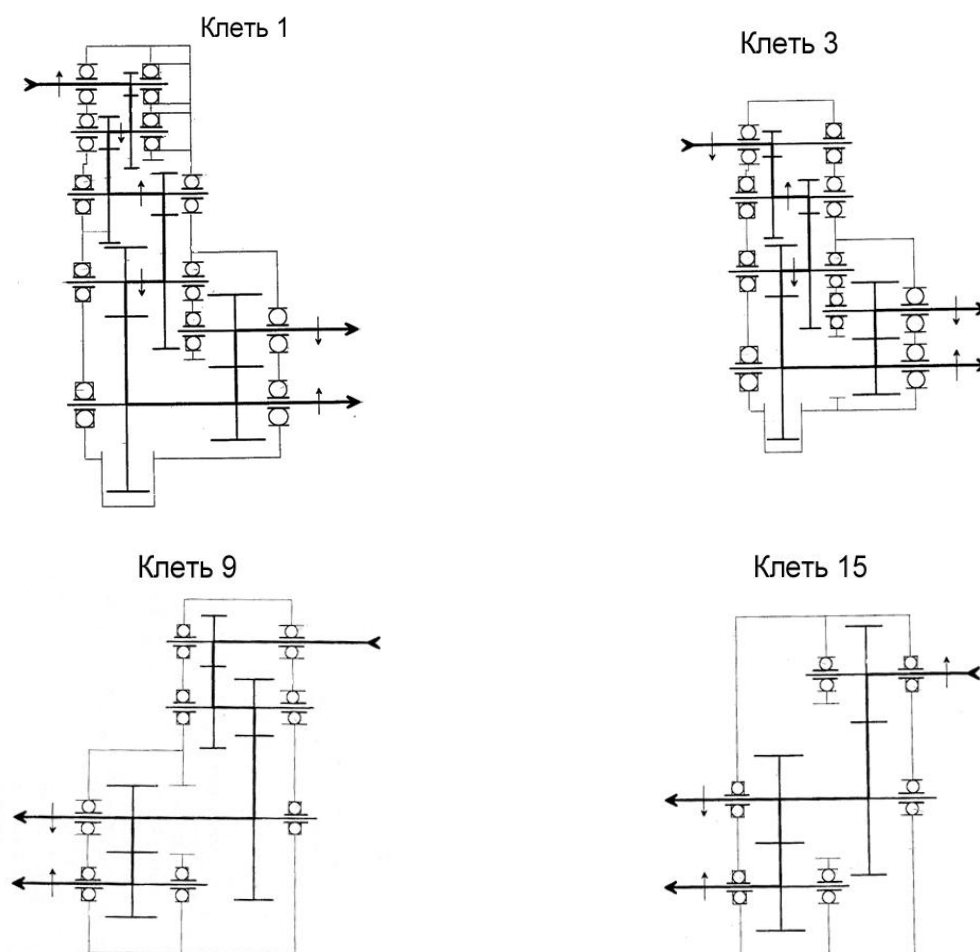


Рис. 3. Кинематические схемы горизонтальных комбинированных редукторов непрерывного прокатного стана

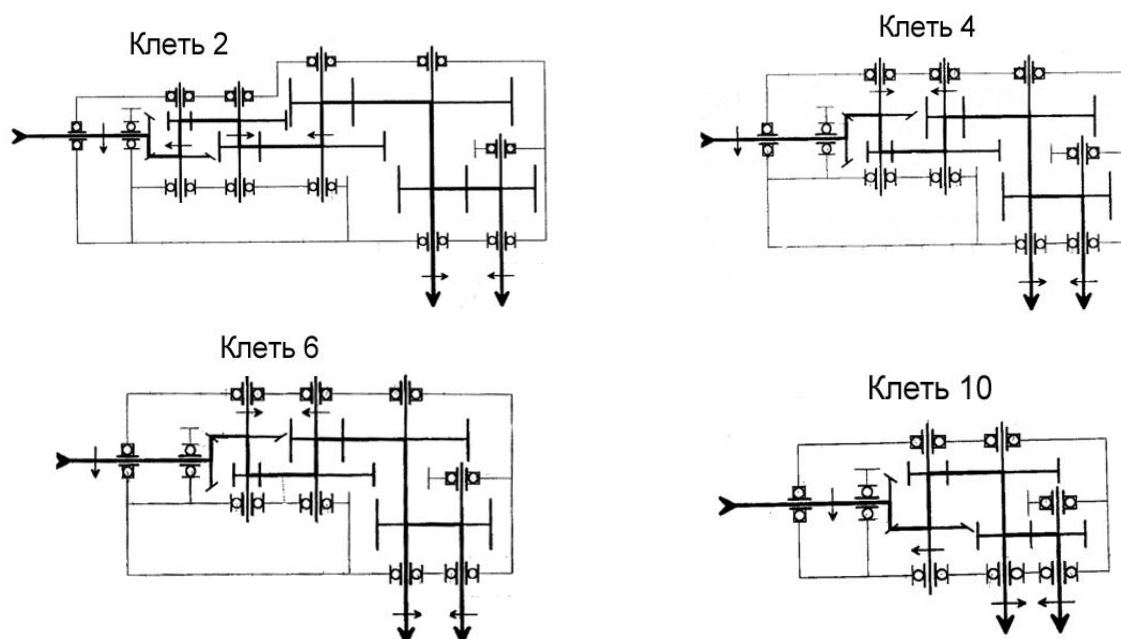


Рис. 4. Кинематические схемы вертикальных комбинированных редукторов непрерывного прокатного стана

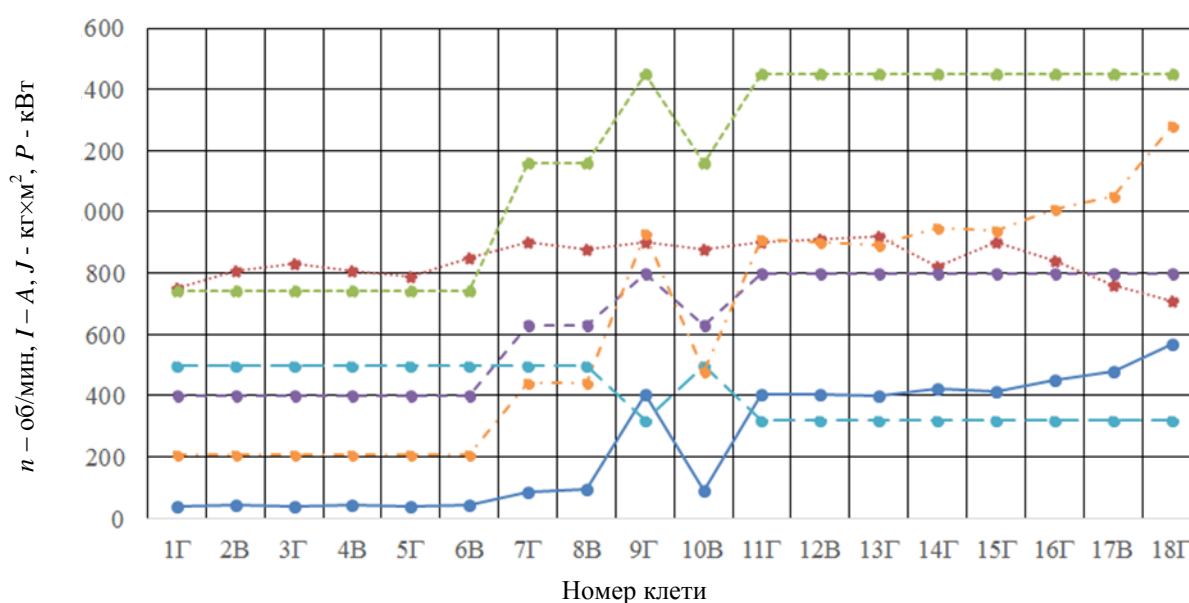


Рис. 5. Зависимости $n_{\text{доп}}(N)$; $I_{\text{дин}}(N)$; $P_n(N)$; $J_{\text{д+мех}}(N)$; $J_{\text{д+м}} \times \omega^2 / 2$ - запас кинетической энергии при ω_n ; Г, В – тип клетки (горизонтальная, вертикальная); $n_n(N)$

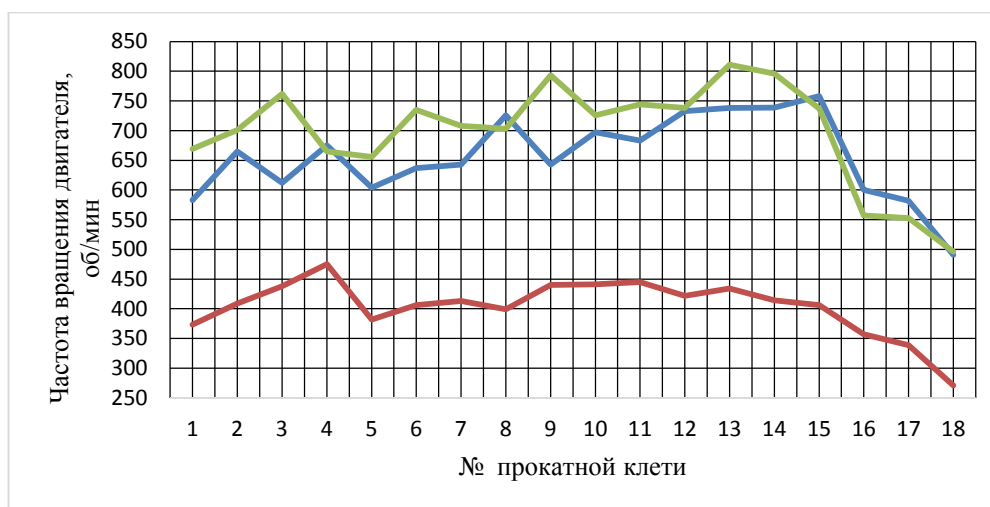
Анализируя приведенные величины и параметры, можно заметить, что в интервале 8...10-й клеток имеет место резкое увеличение момента инерции $J_{\text{д}}$, мощности приводного двигателя $P_{\text{д}}$, запаса кинетической энергии $W_{\text{к}} = \frac{J_{\text{д+м}} \omega_{\text{нд}}^2}{2}$ по сравнению с показателями предыдущих клеток.

Это позволяет предположить, что могут возникать существенные перегрузки в механической части приводных систем, смежных с клетью № 9 (№ 8 и № 10). В практике эксплуатации отмечено наибольшее количество неисправностей на приводе прокатной клетки № 10 – ослабление и разрушение резьбовых соединений, что связано с повышенными нагрузками в редукторе привода.

Оценка вибродинамических показателей приводов клеток стана

Выполненные измерения частоты вращения и тока якоря двигателей привода

да прокатных клеток, значений общего уровня виброскорости для рассматриваемого сортамента приведены для случая трёх реализаций на рис. 6 [17, 21].



Частоты вращения двигателей по клетям стана



Ток якоря двигателя по клетям стана



Виброскорость прокатных клеток стана

Рис. 6. Реальные зависимости для сортамента 14×2

Техническое состояние привода прокатных клетей может быть охарактеризовано изменением токовых характеристик двигателя при изменении частоты вращения (рис. 7, а), изменением спек-

тральной картины виброскорости при появлении и развитии повреждения (рис 7, б, в) или временной формой вибрационного сигнала при захвате слитка (рис. 7, г).

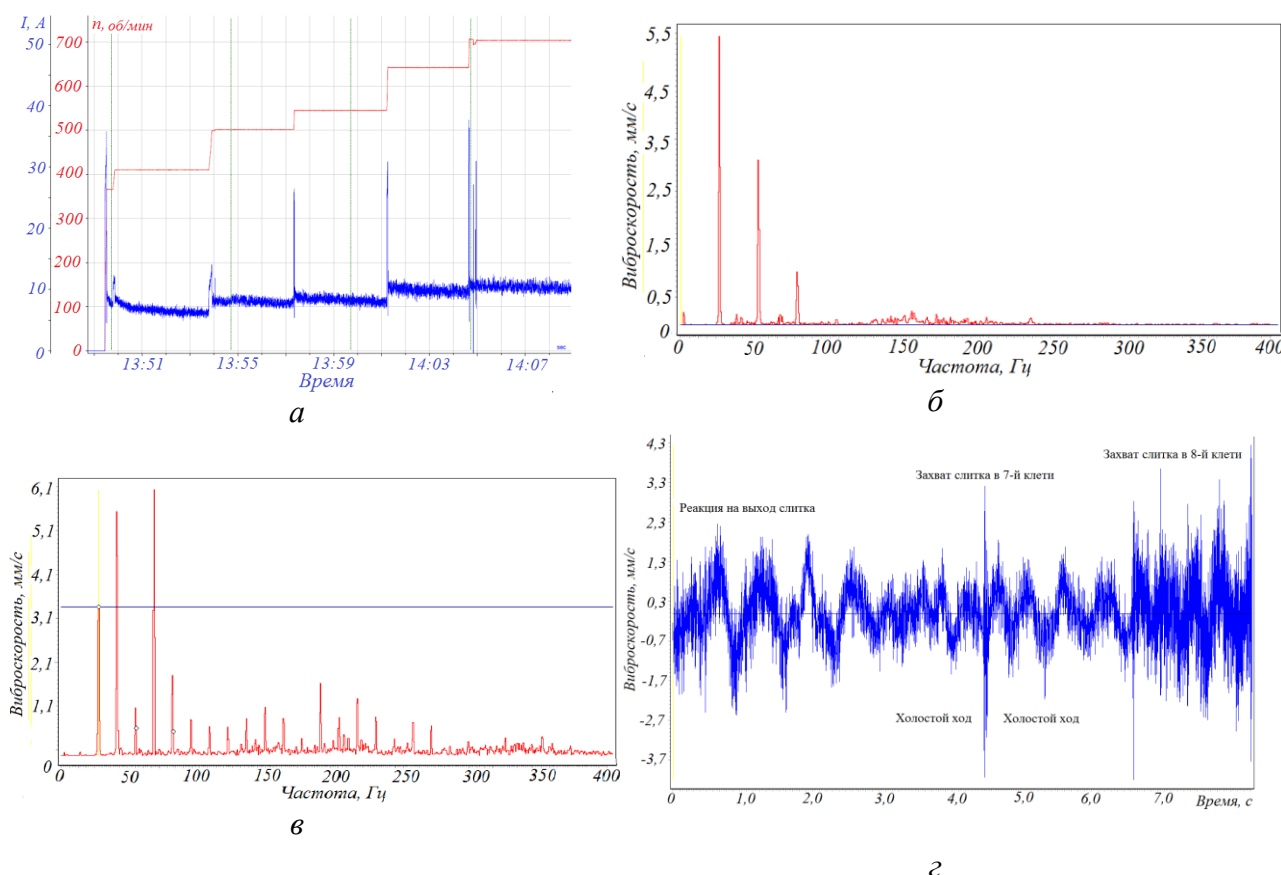


Рис. 7. Диагностические параметры технического состояния привода прокатной клетки: а – изменение частоты вращения и тока двигателя привода клетки; б – спектр виброскорости при появлении повреждения; в – спектр виброскорости при развитии повреждения; г – временной сигнал виброскорости на подшипнике двигателя при захвате слитка

Увеличенные вибрации на вертикальных клетях (№ 2, № 4, № 6, № 10, № 14) указывают на повышенную податливость основания. Плавность изменения таких характеристик электромеханической системы, как частота вращения и ток якоря двигателя, не соблюдается, что требует постоянной коррекции при настройке стана на прокатку определенного сортамента относительно принятой калибровке.

Динамические нагрузки в электро-механической системе прокатной клетки существенно влияют на характер и величину температуры нагрева основных элементов прокатной клетки.

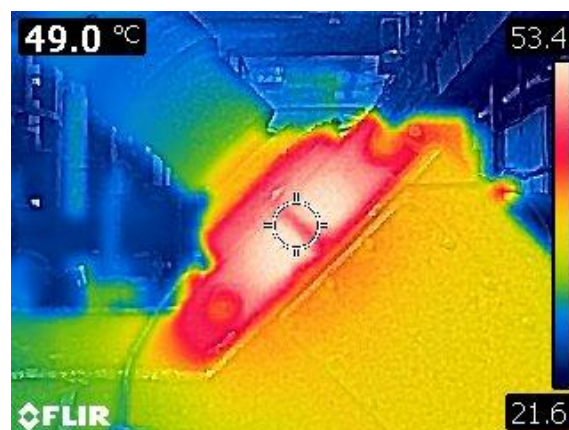
Метод тепловых потоков при оценке нагрузок элементов клетей

В качестве примера приведены результаты фиксации тепловой картины таких элементов, как редукторы клетей №14, 17 и 18 (рис. 8 и 9). Эти снимки выполнены при прокатке на стане.

Анализ температуры нагрева поверхности редукторов позволяет сделать вывод о том, что наиболее нагруженными узлами являются подшипники выходных валов. Повышенные нагрузки промежуточных шестерён редуктора приводят к нагреву его корпуса (рис. 9, б).



а



б

Рис. 8. Подшипники выходных наклонных валов редукторов:

а – клеть № 14, б – клеть № 17



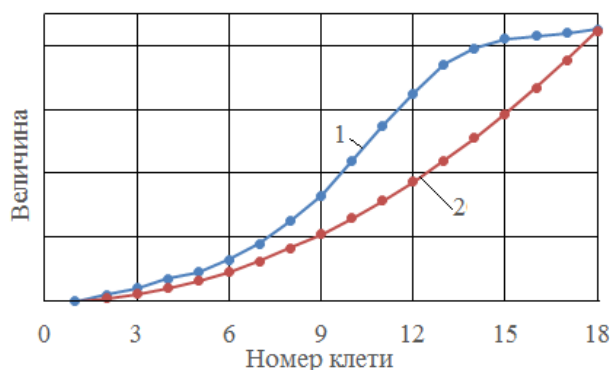
а



б

Рис. 9. Редуктор клетки № 18: а – нагрев подшипников горизонтальных выходных валов; б – нагрев корпуса редуктора

Для снижения динамических нагрузок необходимо, чтобы величины и параметры электромеханической системы клеток линии стана подчинялись оптимальному (S -образному) закону или параболической зависимости (рис. 10) [6, 13].

Рис. 10. Возможные зависимости изменения параметров системы: 1 – S -образная кривая; 2 – параболическая зависимость ($y = kt^2$)

При проектировании и настройке стана необходимо выбирать оптимальные соотношения между величинами и параметрами электромеханической системы клеток линии стана. В качестве оптимальности можно положить минимум динамических нагрузок в приводных элементах клеток стана. В этом случае должно соблюдаться условие П. Чебышева:

$$\Omega_{12} = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1 + J_2)}{J_1 J_2}};$$

$$\Omega_{23} = 2\Omega_{12}; \Omega_{34} = 3\Omega_{12}; \Omega_{(n-1)n} = (n-1)\Omega_{12};$$

$$\Omega_{(n-1)n} = \sqrt{\frac{C_{(n-1)n}(J_{(n-1)} + J_n)}{J_{(n-1)} J_n}},$$



где Ω_{ij} – частота собственных колебаний; J_i – момент инерции элемента расчётной схемы; C_{ij} – жёсткость связи.

Заключение

Реальная электромеханическая система группы прокатных клетей является многомассовой со сложными взаимовлияниями между отдельными элементами её звеньев. На практике возможны незначительные рассогласования в настройке скоростных режимов прокатных клетей, что приводит к работе механизмов петлеобразования и нарушению динамического равновесия при прокатке, главным образом в области натяжений металла в промежутке между клетями. Предварительно перед натурными испытаниями поведения группы взаимосвязанных клетей (в рассматриваемом случае, проблемные клетки – 8...11) является целесообразным создание расчётной модели электромеханической системы, учитывающей основные инерционные звенья смежных клетей и предполагаемый характер изменения натяжения в металле в этом промежутке. Полученные результаты в ходе динамического моделирования процессов в межклетьевом промежутке позволят провести дополнительную коррекцию настройки скоростных режимов взаимосвязанных клетей, а также укажут на наиболее нагруженные звенья, исследование которых рекомендуется провести с помощью тепловых и вибрационных полей.

Библиографический список

1. Борисенко В.Ф. Сидоров В.А., Мельник А.А. Подходы к оценке состояния электромеханических систем / Научные труды Донецкого национального технического университета. Сер.: Электротехника и энергетика. Вып. 79: Донецк: ДонНТУ, 2004. С. 23–26.
2. Борисенко В.Ф. Концепция диагностирования технического состояния электромеханической системы / В.Ф. Борисенко, В.А. Сидоров, В.Н. Хоменко // Научные труды Донецкого национального технического университета. Сер.: Электротехника и энергетика. Вып. 9 (158). Донецк.: ДВНЗ «ДонНТУ». 2009. С. 30–34.

3. Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. М.: Высшая школа, 1977. 391 с.
4. Королев А.А. Конструкция и расчёт машин и механизмов прокатных станов: Учеб. пособие для вузов. М.: Металлургия, 1985. 480 с.
5. Кравченко В.М. Использование принципов многомерности для оценки технического состояния электромеханических систем / В.М. Кравченко, В.Ф. Борисенко, В.А. Сидоров // Вестник Приазовского государственного технического университета. Сер.: Технические науки: Сб. науч. р. – Мариуполь: Приазов. гос. техн. ун-т, 2011. Вып. 22. 2011. С. 205–212.
6. Основы технической диагностики. В 2-х кн. / Под. ред. П.П. Пархоменко. М.: Энергия, 1976.
7. Повышение информативности систем вибрационного контроля комбинированных редукторов привода прокатных клетей среднесортных станов / В.А. Сидоров, Д.Ю. Подоприхин // Научно-технический прогресс в черной металлургии: Материалы II Международной научно-технической конф. (7 – 9 октября 2015 г.) / Отв. ред. А.Л. Кузьминов. – Череповец: ФГБОУ ВПО «Череповецкий государственный университет», 2015. С. 204–207.
8. Сидоров В.А. Выбор диагностических параметров стационарных систем контроля технического состояния металлургических машин / В.А. Сидоров, А.Е. Сушко // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. Ежеквартальный научно-технический и производственный журнал. 2010. №4. С. 46–50.
9. Сидоров В.А. Особенности оценки технического состояния вертикальных комбинированных редукторов среднесортного прокатного стана / В.А. Сидоров, А.Л. Серебров // Надёжность металлургического оборудования. Сборник научных трудов по материалам Междунар. науч.-техн. конф. (28–31 октября 2013 г.) Днепропетровск (Украина) / Отв. ред. В.И. Большаков. – Днепропетровск: ИМА-прес, 2013. С. 245 – 251.
10. Сидоров В.А. Информационное обеспечение управления безотказностью механического оборудования / В.А. Сидоров // Научные труды ДонНТУ. Серия: Металлургия, выпуск 11 (159). – Донецк.: ДВНЗ «ДонНТУ». 2009. С. 220–228.
11. Сидоров В.А. Современные задачи диагностирования технического состояния механического оборудования / В.А. Сидоров // Техническая диагностика и неразрушающий

контроль. Ежеквартальный научно-технический и производственный журнал. 2010 г. №3. С.47–52.

12. Целиков А.И. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. В 3-х томах. Том 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: Учеб. для вузов / А.И. Целиков, П.И. Полухин, В.М. Гребеник, Ф.К. Иванченко, М.А. Тылкин, А.А. Королев, В.П. Лопухин, Д.А. Сторожик, Б.А. Павленко, А.А. Целиков, И.М. Елинсон, В.И. Зюзин. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия. 1988. – 680 с.

13. Электромеханические системы транспортирующих механизмов / [В.Ф. Борисенко, А.А. Чепак, В.А. Сидоров и др.; под общ. ред. В.Ф. Борисенко]. Донецк: «Вебер» (Донецкое отделение), 2007. – 332 с.

14. Amin B. Induction Motors. Analysis and Torque Control. – Berlin: Springer, 2002.-262p.

15. An Online Fault Pre-warning System of the Rolling Mill Screw-down Device Based on Virtual Instrument / Q. Bai, B. Jin, Y. Gao, H. Zhang // Sensors & Transducers. – 2014. – Vol.168, Issue 4. – P. 1-7.

16. Electromécanique. Convertisseurs d'énergie et actionneurs / D. Grenier, F.Labrique, H.Buyse, E. Matqgne. – Paris: Dunod, 2001. – 307p.

17. Frequency analysis of chatter vibrations in tandem rolling mills / M.R. Niroomand, M.R. Forouzan, M. Salimi et al. / Journal of Vibroengineering. – 2012. – Vol.14, Issue 2. – P. 852-865.

18. J. R. Rodríguez, J. Pontt, P. Newman, R. Musalem, H. Miranda, L. Morán, G. Alzamora, “Technical Evaluation and Practical Experience of High-Power Grinding Mill Drives in Mining Applications” *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 41, no. 3, pp. 866-873, May/June 2005.

19. Leonard W. Control of Electrical Drives. – Berlin: Springer, 1977.

20. Mikell P. Groover “Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes and Systems” John Wiley & Sons, 4th edition, pp. 395-403, 2010.

21. Surveillance des machines par analyse des vibrations. Du dépistage au diagnostic/ Boulenger A., Pachaud C. 2c tirage. – Paris: AFNOR, 1998. – 262p.

“Gornye nauki i tehnologii”/ “Mining science and technology”, 2017, No. 4, pp. 40-48

Title:	INITIAL DATA FOR ANALYSIS OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM THE INTERCONNECTED STANDS
Author 1:	Name & Surname: Volodymyr Borysenko Company: The National Technical University from Donetsk DonNTU Address: 83001, Donetsk, Artiom street, 58 Scientific Degree: Dr. Sci. (Tech), assistant of professor Work Position: Professor Contacts: borissenko.vp@gmail.com
Author 2:	Name & Surname: Vladimir Sydorov Company: The National Technical University from Donetsk DonNTU Address: 83001, Donetsk, Artiom street, 58 Scientific Degree: Dr. Sci. (Tech), assistant of professor Work Position: Professor
Author 3:	Name & Surname: Andrey Zemliansky Company: The National Technical University from Donetsk DonNTU Address: 83001, Donetsk, Artiom street, 58 Work Position: assistant Contacts: andrewiz@yandex.ru
DOI:	10.17073/2500-0632-2017-4-40-48
Abstract:	For continuous rolling mills one of the most important technical issues is to configure the speed interrelated stands line. The basic law when setting speed rolling of the group of sequentially connected mill stands is the constancy of the volume of rolled metal $S_1 \cdot V_1 = S_2 \cdot V_2 = S_3 \cdot V_3 = \dots = S_i \cdot V_i$. Setting the desired coherent frequencies of rotation of the rolls carried by the mill operator with the drive control specific panel. The electric drive system driven Converter (TP) – DC motor (D) with independent excitation allows operation in two zones ($n_H > n > n_0$), which gives the possibility of rapid adjustment of speed of rolling, in violation of the



	law of constancy of volume rolled. Construction properties of different groups of stands (roughing, intermediate, finishing) can have a considerable effect on the dynamic interaction and, as a consequence, loads on the interconnected Electromechanical systems stands. To assess the interaction of Electromechanical systems of interconnected mill stands it is recommended to first conduct a research on mathematical models to identify the most loaded units with their further study on a real mill using the methods of thermal and vibration field.
Keywords:	<i>rolling mill, combination gear box, technological parameters, vibration fields, thermal fields, electromechanical system, dynamic simulation</i>
References:	<p>1. Borisenko V.F. Sidorov V.A., Melnik A.A. Podhody k ocenke sostoyaniya ehlektromekhanicheskikh system [Approach of estimation a state of electrical systems] / Nauchnye trudy Doneckogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: "Elektrotekhnika i ehnergetika", [Ed. DonNTU, Ser. "Electromechanical and energetics"], No. 79, 2004, pp. 23-26. In Ukraine</p> <p>2. Borisenko V.F. Konceptiya diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya ehlektromekhanicheskoy sistemy [Conception the diagnostic of technical state the electromechanical systems]/ V.F. Borisenko, V.A. Sidorov, V.N. Homenko // Nauchnye trudy Doneckogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: "Elektrotekhnika i ehnergetika" [Ed. DonNTU, Ser. "Electromechanical and energetics"], No. 9(158), 2009, pp. 30-34. In Ukraine.</p> <p>3. Bychkov V.P. Elektropriwod i avtomatizaciya metallurgicheskogo proizvodstva. [Electric drive and automation off metallurgic industry]. M.: High school, 1977, 391 p.</p> <p>4. Korolev A.A. Konstrukciya i raschyot mashin i mekhanizmov prokatnyh stanov. Uchebnoe posobie dlya vuzov. [Construction and design the machines and mechanisms of rolling stands. Textbook for high schools]. M.: Metallurgy, 1985. – 480 p.</p> <p>5. Kravchenko V.M. Ispolzovanie principov mnogomernosti dlya ocenki tekhnicheskogo sostoyaniya ehlektromekhanicheskikh sistem [Utilizatis of principles a measurement multiquantities for estimation the technical state of electromechanical systems] / V.M. Kravchenko, V.F. Borisenko, V.A. Sidorov // Vestnik Priazovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Tekhnicheskie nauki: Sb. nauch. r. [Mariupol Herald PSTU, Ser. Tech.], 2011, ed. 22, pp. 205-212.</p> <p>6. Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki. V 2-h knigah. Pod. Red P.P. Parhomenko. [The base of technical diagnostic. In 2 books, under editing P.P. Parkhomenko]. M., Energy, 1976. In Russian</p> <p>7. Sidorov V.A., Podoprihin D.U. Povyshenie informativnosti sistem vibracionnogo kontrolya kombinirovannyh reduktorov privoda prokatnyh kletej srednesortnyh stanov. [The increase of informativity systems vibration control combined gear drive rolling stands of medium section mills] // Nauchno-tekhnicheskij progress v chernoj metallurgii: Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii (7 – 9 oktyabrya 2015 g.). Otv. red. A.L. Kuz'minov. [Mater. of II Intern. conf. in Tch. State univ. (7-9 oct., 2015)] – Cherepovets: state educational institution of higher professional education "Cherepovets state University", 2015. – 355 p., pp. 204-207. In Russian.</p> <p>8. Sidorov V.A. Vybor diagnosticheskikh parametrov stacionarnykh sistem kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya metallurgicheskikh mashin [Choice of diagnostic parameters the stationary systems control of technical state the metallurgy machines] / V.A. Sidorov, A.E. Sushko // Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchij kontrol'. Ezhekvertal'nyj nauchno-tekhnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal [Tech. diagnostic and control without failure]. Donetsk., No. 4, 2010, pp. 46-50. In Ukraine.</p> <p>9. Sidorov V.A. Osobennosti otsenki technitsheskogo sostoyania vertikalnykh kombinirovannykh reduktorov srednesortovogo prokatnogo stana [Characteristic property of technical states the vertical combine box gear of middle section mill]</p>



- / V.A. Sidorov, A.L. Serebrov // Nadyozhnost' metallurgicheskogo oborudovaniya. Sbornik nauchnyh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, 28-31 oktyabrya 2013 g. Dnepropetrovsk (Ukraina) / Otvetstvennyj redaktor V.I. Bol'shakov. [Mater. of Intern. conf (28-31 oct. 2013)]. Dnepropetrovsk, IMA-press, 2013, pp 245-251.
10. Sidorov V.A. Informacionnoe obespechenie upravleniya bezotkaznost'yu mekhanicheskogo oborudovaniya [Information support of managment by no-failure of mechanical equipment] / V.A. Sidorov // Nauchnye trudy DonNTU. Seriya: «Metallurgiya», vypusk 11 (159)// Donetsk, Ser. "Metallurgy", ed. 11(159): DonNTU, 2009, pp. 220-228. In Ukraine.
11. Sidorov V.A. Sovremennye zadachi diagnostirovaniya tekhnicheskogo sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya [Modern problems of diagnostic the technical state of mechanical equipment]. V.A. Sidorov. Tekhnicheskaya diagnostika i nerazrushayushchij kontrol'. Ezhekvartal'nyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal [Tech. diagnostic and control without failure]. Donetsk, , No. 3, 2010, pp. 47-52. In Ukraine.
12. Celikov A.I. i dr. Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov. V 3-h tomah. Tom 3. Mashiny i agregaty dlya proizvodstva i otdelki prokata. Uchebnik dlya vuzov [Machines and agregats of the metallurgical plants. In 3 v. V. 3. Machines and agregats for production fnd finishing of rolled stock]. Sch. appl., 2-ed. M: Metallurgy, 1988, 680 p.
13. Elektromekhanicheskie sistemy transportiruyushchih mekhanizmov [Electromechanical systems of transporting mechanism]. V.F. Borisenko, A.A. Chepak, V.A. Sidorov, etc. Under the general. Ed. V.F. Borisenko. Donetsk: Veber, 2007, 332 p. In Ukraine
14. Amin B. *Induction Motors. Analysis and Torque Control*. Berlin: Springer, 2002, 262 p.
15. *An Online Fault Pre-warning System of the Rolling Mill Screw-down Device Based on Virtual Instrument*. Q. Bai, B. Jin, Y. Gao, H. Zhang. Sensors & Transducers, 2014, Vol.168, Issue 4, P. 1-7.
16. Electromécanique. *Convertisseurs d'énergie et actionneurs*. D. Grenier, F.Labrique, H.Buyse, E. Matqgne. Paris: Dunod, 2001. -307p.
17. *Frequency analysis of chatter vibrations in tandem rolling mills*. M.R. Niroomand, M.R. Forouzan, M. Salimi et al. Journal of Vibroengineering, 2012, Vol.14, Issue 2, pp. 852-865.
18. J. R. Rodríguez, J. Pontt, P. Newman, R. Musalem, H. Miranda, L. Morán, G. Alzamora. *Technical Evaluation and Practical Experience of High-Power Grinding Mill Drives in Mining Applications*, IEEE Trans. on Industry Applications, vol. 41, no. 3, pp. 866-873, May/June 2005.
19. Leonard W. *Control of Electrical Drives*. Berlin: Springer, 1977.
20. Mikell P. Groover *Fundamentals of Modern Manufacturing. Materials, Processes and Systems*. John Wiley & Sons, 4th edition, pp. 395-403, 2010
21. *Surveillance des machines par analyse des vibrations. Du depistage au diagnostic*. Boulenger A., Pachaud C. 2c tirage. Paris: AFNOR, 1998, 262 p.