

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 4 (2024)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания

№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/FYZZ1289>

Бас редакторы – главный редактор

Талипов О. М.

доктор PhD, ассоц. профессор (доцент)

Заместитель главного редактора

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Сағындық Ә.Б., *доктор PhD*

Редакция алкасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никифоров А. С.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Новожилов А. Н.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Никитин К. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Алиферов А. И.,	<i>д.т.н., профессор (Российская Федерация)</i>
Кошеков К. Т.,	<i>д.т.н., профессор</i>
Приходько Е. В.,	<i>к.т.н., профессор</i>
Кислов А. П.,	<i>к.т.н., доцент</i>
Нефтисов А. В.,	<i>доктор PhD</i>
Омарова А. Р.	<i>технический редактор</i>

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

<https://doi.org/10.48081/GGXQ5661>***Ә. Е. Батырбек¹, Г. А. Сивякова²**^{1,2}Қарағандық индустриальдық университет,

Республика Қазақстан, г. Теміртау

¹ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-3369-6804>²ORCID:<https://orcid.org/0000-0001-7689-8433>*e-mail:alibek_batyrbek@mail.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛЕТУЧИХ НОЖНИЦ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В данной статье представлена система автоматического регулирования электропривода летучих ножниц горячей прокатки, которая разработана в рамках докторской диссертации «Автоматизация процесса резки проката на летучих ножницах стана горячей прокатки». В статье рассмотрены основные конструкции системы автоматического регулирования летучих ножниц и определены их требования. Рассмотрены принцип работы, механизм регулирования, технологический процесс и схема регулирования (контур напряжения, тока, скорости и положения) летучих ножниц. Построены структурные схемы по каждому контурам и определены передаточная функция объекта регулирования. Вычисления и анализ качества системы автоматического регулирования (САР) электропривода летучих ножниц был выполнен в программном комплексе MATLAB. Для определения анализа и качества регулирования построены (переходной процесс и логарифмической амплитудно-частотной с фазо-частотной характеристикой) модели контуров в Matlab. По результатам исследования получены следующие параметры: частота среза, запас устойчивости по фазе, перерегулирование, время достижения первого согласования, время достижения первого максимума и время регулирования. В результате работы можно сделать следующий вывод: все контуры имеют необходимый запас устойчивости по фазе и по частоте в соответствии с теорией классических систем подчиненного регулирования.

Ключевые слова: стан, ПК MATLAB, система автоматического регулирования, летучие ножницы, математическое моделирование, электропривод.

Введение

Техника прокатного производства развивается в направлении широкого применения непрерывных прокатных станов (листовых, сортовых, заготовочных). Весьма ответственной машиной в этих поточных линиях являются ножницы, используемые для резки металла.

Летучие ножницы предназначены для резки металла во время его движения, причем с высокой скоростью. Во многих случаях работоспособность этих ножниц определяет производительность прокатного стана [1, с. 257].

Объект исследования – электропривод летучих ножниц стана горячей прокатки листопркатного цеха №1 АО «Qarmet» [2].

Идея работы состоит в разработке САР электропривода ножей летучих ножниц, обеспечивающей эффективное управление при резке металла. Исследования касаются разделов теории автоматического управления, систем управления электроприводом и математического моделирования электромеханических систем [3; 4; 5].

Основное место в современных прокатных станах занимают тиристорный электропривод постоянного тока [6, с. 87]. Структурная схема САР будет представлять собой систему подчинённого регулирования. Для управления каждой координатой организуется отдельный контур со своей обратной связью и своим регулятором [7, с. 14]. Конструкция САР должна удовлетворять следующим требованиям: требуемую точность реза; минимальные нагрузки на механизм; минимальные потери в двигателе.

Материалы и методы

Ножницы барабанного типа с наклонным верхним ножом установлены между черновой и чистовой группами клетей стана горячей прокатки «1700» листопркатного цеха №1 АО «Qarmet» и предназначены для обрезки переднего и заднего концов подката.

Для фиксации барабанов ножниц в исходном положении на валу нижнего барабана установлен командоаппарат и сельсин. При отключении привода во время длительной остановки ножницы затормаживаются тормозом [8, с. 21].

Ножницы снабжены механизмом регулировки бокового зазора между ножами. Регулирование зазора между ножами производится за счет осевого перемещения верхнего барабана, при неподвижном нижнем [8, с. 21].

Поскольку электропривод летучих ножниц представляет собой двухдвигательный привод, причем оба двигателя связаны между собой через

Поскольку увеличение быстродействия контура тока ограничено соображениями устойчивости, то оказалось целесообразно выполнить быстродействующий контур регулирования напряжения.

Работа регулятора напряжения (РН) протекает следующим образом: в зоне прерывистого тока на регулятор РН, имеющий интегральную характеристику, поступает сигнал задания. Поскольку в режиме прерывистого тока из-за нелинейности регулировочной характеристики напряжение преобразователя меняется незначительно, сигнал обратной связи по напряжению также меняется незначительно. Таким образом, сигнал управления, значительно усиленный регулятором РН, поступает на СИФУ преобразователя и тем самым ускоряет рост напряжения преобразователя. После замыкания цепи обратной связи по напряжению контур регулирования напряжения превращается в периодическое звено с малой постоянной времени, практически не влияющее на устойчивость и быстродействие системы управления. Таким образом структура модели контура регулирования напряжения будет иметь вид, представленный на рисунке 2.

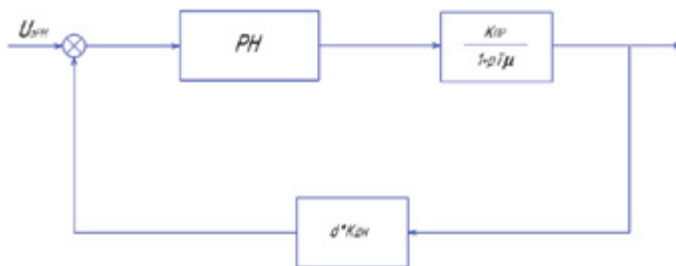


Рисунок 2 – Структурная схема контура регулирования напряжения

Передаточная функция регулятора напряжения:

$$W_{РН}(p) = \frac{K}{1 + pT_1} \quad (1)$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура напряжения:

$$W_{прн}(p) = \frac{K}{1 + pT_1} \cdot \frac{K_{пр}}{1 + pT_н} \cdot \alpha \cdot K_н \quad (2)$$

Контур регулирования тока.

Требования, предъявляемые к этому контуру очень высокие, т.к. своими параметрами точности и быстродействия он определяет параметры

последующих контуров. Регулятор тока (РТ) выполнен пропорционально-интегральным (ПИ) с целью преодоления инерционности якорной цепи, связанной с большой величиной ее индуктивности. Ограничение динамического тока двигателя обеспечивается ограничением входного напряжения регулятора РС. Структура математической модели контура регулирования тока представлена на рисунке 3.

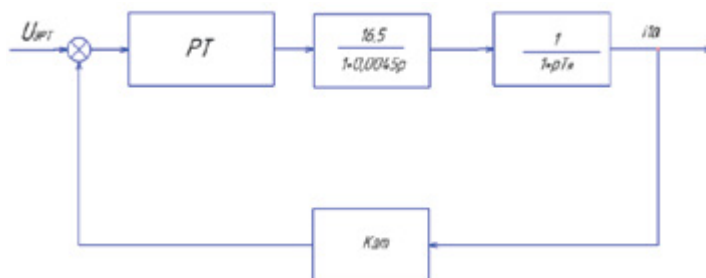


Рисунок 3 – Структурная схема контура регулирования тока

Передаточная функция регулятора тока:

$$W_{pm}(p) = \frac{1 + pT_3}{pT_4} \quad (3)$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура тока:

$$W_{ppm}(p) = \frac{1 + pT_3}{pT_4} \cdot \frac{16,5}{1 + 0,0045p} \cdot \frac{1}{1 + pT_э} \cdot K_{дт} \quad (4)$$

Контур регулирования скорости.

Регулятор скорости (РС) будет иметь ПИ-структуру для избежания возможных статических ошибок в регулировании скорости привода. Заданием по скорости является сигнал от тахогенератора (ТГ) механизма, с которым должны синхронизироваться ножницы, либо задание на непрерывное вращение ножей, либо задание от регулятора положения (РП). Сигнал обратной связи поступает на вход РС от ТГ летучих ножниц через датчик напряжения (ДН), следующий для гальванического разделения цепей. Структура математической модели контура регулирования скорости представлена на рисунке 4.

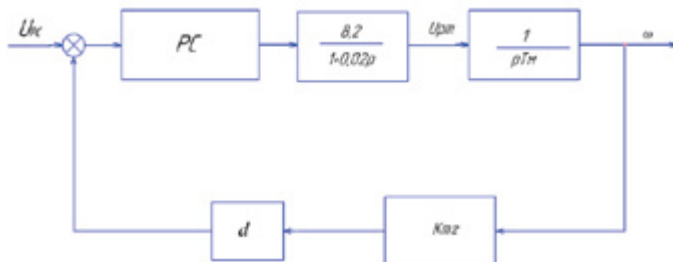


Рисунок 4 – Структурная схема контура регулирования скорости

Передаточная функция регулятора скорости:

$$W_{pc}(p) = \frac{1+pT_5}{pT_6} \quad (5)$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура скорости:

$$W_{ppc}(p) = \frac{1+pT_5}{pT_6} \cdot \frac{8,2}{1+0,02p} \cdot \frac{K_{mz}}{1+pT_m} \quad (6)$$

Контур регулирования положения.

Регулятор положения (РП) выполнен с линейной характеристикой. Датчиком положения является сельсин на механизме.

Регулятор положения обеспечивает надежную установку ножей в исходном положении. Структура математической модели контура регулирования положения представлена на рисунке 5.

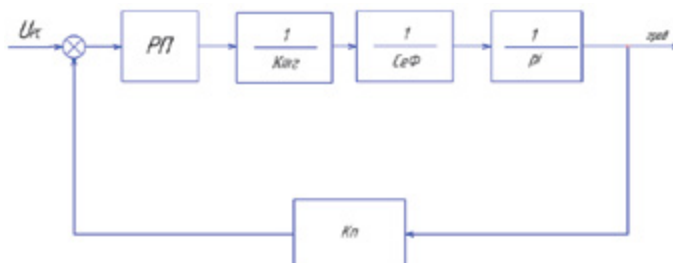


Рисунок 5 – Структурная схема контура регулирования положения

Передаточная функция регулятора положения:

$$W_{pn}(p) = K_{pn} = 5,4 \quad (7)$$

Передаточная функция объекта регулирования разомкнутого контура положения:

$$W_{ppn}(p) = K_{pn} \cdot \frac{1}{K_{m2}} \cdot \frac{1}{C_e \Phi} \cdot \frac{1}{p i} \cdot K_n = \frac{K_{pn} \cdot K_n}{K_{m2} \cdot C_e \Phi \cdot p i} \quad (8)$$

Результаты вычисления и анализа качества САР электропривода летучих ножниц будут приведены ниже. Для вычисления и анализа качества САР электропривода летучих ножниц используется ПК MATLAB [9].

Результаты и обсуждение

Построим модели контуров регулирования в Matlab с целью определения устойчивости и качества регулирования [10, с. 21].

Графики логарифмических частотных характеристик (ЛЧХ) – логарифмической амплитудно-частотной и логарифмической фазо-частотной характеристик (ЛАЧХ и ЛФЧХ), переходного процесса для контура регулирования напряжения показаны на рисунке 6.

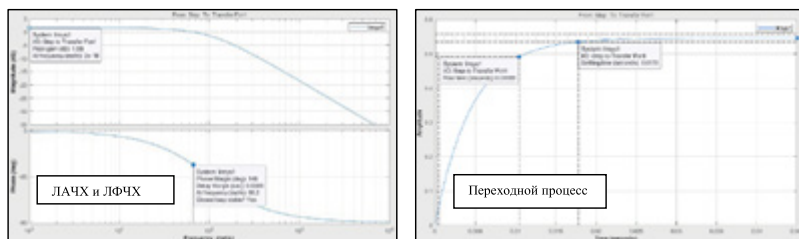


Рисунок 6 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РН

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура напряжения:

- 1 частота среза $\omega_{cp} = 66,2 \text{ с}^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 146^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 0\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,00999 \text{ с}$;
- 5 время регулирования $t_p = 0,0178 \text{ с}$.

Графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и переходного процесса контура регулирования тока показаны на рисунке 7.

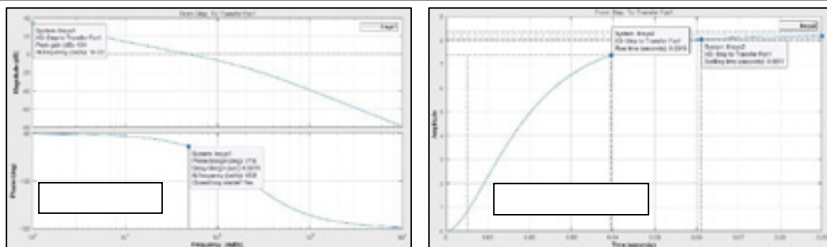


Рисунок 7 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РТ

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура тока:

- 1 частота среза $\omega_{\text{ср}} = 48,8\text{с}^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 77,6^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 0\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,0345\text{с}$;
- 5 время регулирования $t_p = 0,0611\text{с}$.

Графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и переходного процесса контура регулирования скорости показаны на рисунке 8.

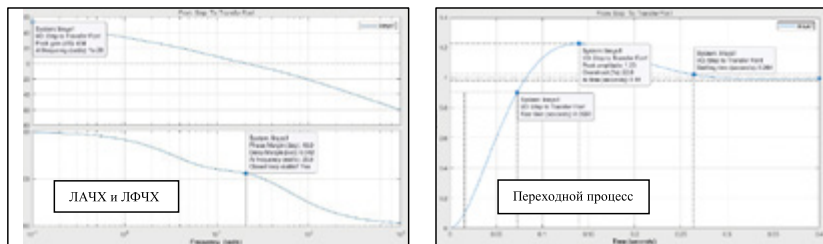


Рисунок 8 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РС

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура скорости:

- 1 частота среза $\omega_{\text{ср}} = 20,8\text{с}^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 49,9^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 22,6\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,0569\text{с}$;
- 5 время достижения первого максимума $t_m = 0,14\text{с}$;
- 6 время регулирования $t_p = 0,264\text{с}$.

Графики ЛАЧХ, ЛФЧХ и переходного процесса контура регулирования положения показаны на рисунке 9.

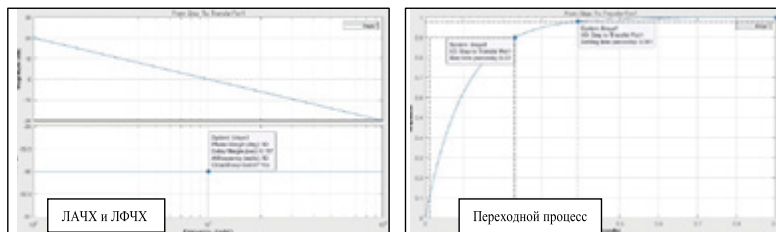


Рисунок 9 – ЛЧХ и график переходного процесса контура РП

По результатам исследования производим анализ качества регулирования контура положения:

- 1 частота среза $\omega_{\text{ср}} = 10 \text{ с}^{-1}$;
- 2 запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi = 90^\circ$;
- 3 перерегулирование $\delta = 0\%$;
- 4 время достижения первого согласования $t_c = 0,22 \text{ с}$;
- 5 время регулирования $t_p = 0,391 \text{ с}$.

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) внутренним контуром является контур регулирования напряжения со следующими показателями качества регулирования: $\omega_{\text{ср}} = 66,2 \text{ с}^{-1}$, $\Delta\varphi = 146^\circ$, $t_c = 0,00999 \text{ с}$, $\sigma = 0\%$, $t_p = 0,0178 \text{ с}$
- 2) контур регулирования тока является внешним по отношению к контуру регулирования напряжения по результатам показателей качества регулирования: $\omega_{\text{ср}} = 48,8 \text{ с}^{-1}$, $\Delta\varphi = 77,6^\circ$, $t_c = 0,0345 \text{ с}$, $\sigma = 0\%$, $t_p = 0,0611 \text{ с}$.
- 3) контур регулирования скорости является внешним по отношению к контуру регулирования тока по результатам показателей качества регулирования: $\omega_{\text{ср}} = 20,8 \text{ с}^{-1}$, $\Delta\varphi = 49,9^\circ$, $t_c = 0,0569 \text{ с}$, $\sigma = 22,6\%$, $t_M = 0,14 \text{ с}$, $t_p = 0,264 \text{ с}$;
- 4) контур регулирования положения является внешним по отношению к контуру регулирования скорости по результатам показателей качества регулирования: $\omega_{\text{ср}} = 10 \text{ с}^{-1}$, $\Delta\varphi = 90^\circ$, $\Delta\varphi = 90^\circ$, $t_c = 0,22 \text{ с}$, $\sigma = 0\%$, $t_p = 0,391 \text{ с}$.

Таким образом, все контуры имеют необходимый запас устойчивости по фазе и по частоте в соответствии с теорией классических систем подчиненного регулирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 **Liu Qi, Li Shuo¹, Wang Ying, Liang Kai, Li Baohua¹, Mo Huili, Liu Jinran.** Design of flying shear device and algorithm based on motion control system [Text]. – International Conference on New Materials and Intelligent Manufacturing (ICNMIM), 2018. – No. 1. – P. 257-259 <http://dx.doi.org/10.26480/icnmim.01.2018.257.259>.
- 2 АО «Qarmet» [Электронный ресурс]. – URL : <https://qarmet.kz>.
- 3 **Страшинин, Е. Э., Заколяпин, А. Д., Трофимов, С. П., Юрлова А. А.** Теория автоматического управления : учебник [Текст]. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, – 2019. – 456 с.
- 4 **Ким, Д. П.** Теория автоматического управления : учебник и практикум для вузов [Текст]. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 276 с.
- 5 **Reyes, C., Gerena, G.** Mathematical modeling of a DC motor with separate excitation [Text]. – Tekhnê, 2018. – Vol. 15, – No. 1, – P. 13 – 20.
- 6 **Юсупова, С. А., Чигамбаев, Т. О.** Системы автоматизирован- ного электропривода : Учебное пособие [Текст]. – Алматы, 2019. – 157 с.
- 7 **Королёв, В. И.** Системы управления электроприводом : учебно- методическое пособие [Текст]. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 79 с.
- 8 **Климушкин, А. Н.** Горячая прокатка полос в листопрокатном цехе № 1 : Технологическая инструкция [Текст]. – Темиртау, 2017. – 125 с.
- 9 Программный комплекс MATLAB [Электронный ресурс] – URL : <https://exponenta.ru/matlab>.
- 10 **Михайлова, П. Г.** Моделирование систем автоматического управления с использованием программной среды MATLAB/Simulink : Лабораторный практикум: учеб. пособие [Текст]. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 76 с.

REFERENCES

- 1 **Liu Qi, Li Shuo¹, Wang Ying, Liang Kai, Li Baohua¹, Mo Huili, Liu Jinran.** Design of flying shear device and algorithm based on motion control system [Text]. – International Conference on New Materials and Intelligent Manufacturing (ICNMIM), 2018, – No. 1. – P. 257–259. <http://dx.doi.org/10.26480/icnmim.01.2018.257.259>.
- 2 АО «Qarmet» [JSC «Qarmet»] [Electronic resource]. – URL : <https://qarmet.kz>.
- 3 **Strashinin, E. E., Zakalyapin, A. D., Trofimov, S. P., Yurlova A. A.** Teoria avtomaticheskogo upravleniya : ýchebnik [Theory of automatic control : textbook] [Text]. – Yekaterinburg : Ural University Publishing House, 2019. – 456 p.

4 **Kim, D. P.** Teoria avtomaticheskogo úpravleniá : ýchebník i praktikým dlá výzov [Theory of automatic control : textbook and workshop for universities] [Text]. – Moscow : Yurait Publishing House, 2024. – 276 p.

5 **Reyes, C., Gerena, G.** Mathematical modeling of a DC motor with separate excitation [Text]. – Tekhnê, 2018. – Vol. 15, – No. 1, – P. 13 – 20.

6 **Yusupova, S. A., Chigambaev, T. O.** Sistemy avtomatizirovannogo elektroprivoda : Ýchebnoe posobie [Automated electric drive systems : a tutorial] [Text]. – Almaty, 2019. – 157 p.

7 **Korolev, V. I.** Sistemy úpravleniá elektroprivodom : ýchebno-metodicheskoe posobie [Electric drive control systems : an educational and methodological manual] [Text]. – SPb : HSTE SPbSUITD, 2022. – 79 p.

8 **Klimushkin, A. N.** Goráchaia prokatka polos v listoprokatnom shee № 1 : Tehnologicheskaiá instrýksiá [Hot rolling of strips in sheet rolling shop No. 1 : Technological instruction] [Text]. – Temirtau, 2017. – 125 p.

9 Programmnyí kompleks MATLAB [MATLAB software package] [Electronic resource]. – URL: <https://exponenta.ru/matlab>.

10 **Mikhailova, P. G.** Modelirovanié sistem avtomaticheskogo úpravleniá s ispolzovaniém programmnoi sredi MATLAB/Simulink : Laboratornyí praktikým: ýcheb. posobie [Modeling of automatic control systems using the MATLAB/Simulink software environment : Laboratory practice : studies. the manual] [Text]. – Moscow : D. I. Mendelev Russian university of chemical technology, 2016. – 76 p.

Поступило в редакцию 07.10.24

Поступило с исправлениями 16.10.24

Принято в печать 04.12.24

**Ә. Е. Батырбек¹, Г. А. Сивякова²*

^{1,2}Қарағанды индустриялық университеті,

Қазақстан Республикасы, Теміртау қ.

07.10.24 ж. баспаға түсті.

16.10.24 ж. түзетулерімен түсті.

04.12.24 ж. басып шығаруға қабылданды.

ЫСТЫҚ ІЛЕМДЕУ ОРНАҒЫНЫҢ ҰШПА ҚАЙШЫСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІН АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕСІ

Бұл мақалада «Ыстық ілемдеу орнағының ұшпа қайшыларында ілемдерді кесу үдерісін автоматтандыру» докторлық диссертациясының аясында жасалған ыстық ілемдеу ұшпа

қайшылардың электр жетегін автоматты реттеу жүйесі ұсынылған. Мақалада ұша қайшыны автоматты реттеу жүйесінің негізгі конструкциялары қарастырылады және олардың талаптары анықталады. Ұша қайшылардың жұмыс істеу принципі, реттеу механизмі, технологиялық үдерісі және реттеу схемасы (кернеу, ток, жылдамдық және орнығу тізбегі) қарастырылады. Әр тізбек бойынша құрылымдық схемалар құрылады және реттеу нысанының берілу функциясы анықталады. MATLAB бағдарламалық кешенінде ұша қайшы электр жетегінің автоматты реттеу жүйесінің (АРЖ) сапасын есептеу және талдау жүргізілді. Талдау мен реттеу сапасын анықтау үшін Matlab бағдарламасында контурлардың модельдері (өтпелі процесс, логарифмдік фазалық-жиілік және амплитудалық жиілік сипаттамалары) құрылды. Зерттеу нәтижелері бойынша келесі параметрлер алынды: кесу жиілігі, фазалық тұрақтылық қоры, қайта реттеу, бірінші келісуге қол жеткізу уақыты, бірінші максимумға жету уақыты және реттеу уақыты. Жұмыстың нәтижесінде келесі қорытынды жасауға болады: барлық контурларда классикалық бағынышты реттеу жүйелерінің теориясына сәйкес фазалық және жиілік бойынша қажетті тұрақтылық шегі бар.

Кілтті сөздер: орнақ, MATLAB БК, автоматты реттеу жүйесі, ұша қайшысы, математикалық модельдеу, электр жетегі.

*A. Y. Batyrbek¹, G. A. Sivyakova²

^{1,2}Karaganda industrial university, Republic of Kazakhstan, Temirtau

Received 07.10.24

Received in revised form 16.10.24

Accepted for publication 04.12.24

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE FLYING SHEARS OF THE HOT ROLLING MILL

This article presents an automatic control system for the electric drive of hot rolling flying shears, which was developed as part of the doctoral dissertation «Automation of the cutting process by rolling on the flying scissors of the hot rolling mill». The article considers the basic designs of the automatic control system of flying scissors and defines their requirements. The principle of operation, the control mechanism, the technological process and the control scheme (voltage, current, speed and position contour) of the flying scissors are considered. Block diagrams for

each contour are constructed and the transfer function of the regulated object is determined. Calculations and analysis of the quality of the automatic control system (ACS) of the electric drive of flying scissors were performed in the MATLAB software package. To determine the analysis and quality of regulation, models of contours in Matlab (transient and logarithmic amplitude-frequency with phase-frequency response) were built. According to the results of the study, the following parameters were obtained: cutoff frequency, phase stability margin, overshoot, time to achieve the first agreement, time to reach the first maximum and control time. As a result of the work, the following conclusion can be drawn: all contours have the necessary stability margin in phase and frequency in accordance with the theory of classical subordinate control systems.

Keywords: mill, MATLAB SP, automatic control system, flying scissors, mathematical modeling, electric drive.

Теруге 04.12.2024 ж. жіберілді. Басуға 30.12.2024 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Mb RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4317

Сдано в набор 04.12.2024 г. Подписано в печать 30.12.2024 г.

Электронное издание

29.9 Mb RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4317

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz