

ЭНЕРГЕТИКА МЕТАЛЛУРГИИ, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ

METALLURGICAL POWER ENGINEERING, ENERGY SAVING AND ELECTRICAL SYSTEMS

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 621.982.47

DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-1-71-79



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИВОДА ИЗГИБО-РАСТЯЖНОЙ МАШИНЫ НЕПРЕРЫВНО-ТРАВильНОГО АГРЕГАТА СТАНА ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ

Корнилов Г.П., Филатов А.М., Филатова О.А., Храмшин Т.Р., Храмшин Р.Р.

Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия

Аннотация. **Постановка задачи (актуальность работы):** в статье проведен анализ формирования натяжений изгибо-растяжной машины (ИРМ) непрерывно-травильного агрегата широкополосного стана холодной прокатки ПАО «ММК». Разработаны математические модели для выявления взаимосвязи действующих электроприводов ИРМ через полосу и сложные планетарные редукторы. **Цель работы:** обеспечение стабильной работы ИРМ за счет корректного задания установок моментов и скоростей электроприводов при различных сортаментах полосы. **Используемые методы:** сбор и обработка экспериментальных данных по распределению натяжения в ИРМ и смежных натяжных станциях путем осциллографирования моментов и скоростей электроприводов; математическое моделирование скоростных и силовых параметров на валах привода ИРМ. **Новизна** заключается в разработке математического описания фактического удлинения полосы в зависимости от диаметров роликов натяжной станции; математическая модель связывает натяжение полосы с заданной толщиной полосы, нагрузками главного привода и привода удлинения. **Результат:** установлено, что фактическое удлинение полосы может меняться в широком диапазоне от 1,5 до 3,1%. Некоторое среднее значение величиной в 2,3% может быть достигнуто при изменении диаметров роликов в достаточно узком диапазоне. Установлено, что изменение диаметра на 1 мм вызывает изменение фактического удлинения приблизительно на 0,1%. На основе анализа изменения заднего и переднего натяжения полосы в функции загрузки двигателей главного привода и привода удлинения получены формулы для расчета натяжения полосы на участке ИРМ. Установлено, что натяжение полосы перед ИРМ напрямую определяется нагрузкой привода удлинения. **Практическая значимость:** полученные зависимости для расчета скоростных и силовых параметров электропривода позволяют скорректировать задания на скорости электроприводов ИРМ таким образом, чтобы поддержать заданное удлинение и избежать недопустимых нагрузок элементов планетарной передачи при различных сортаментах полосы.

Ключевые слова: непрерывно-травильный агрегат, изгибо-растяжная машина, натяжение полосы, планетарные передачи, электропривод, математическая модель, привод удлинения.

© Корнилов Г.П., Филатов А.М., Филатова О.А., Храмшин Т.Р., Храмшин Р.Р., 2020

Для цитирования

Исследование привода изгибо-растяжной машины непрерывно-травильного агрегата стана холодной прокатки / Корнилов Г.П., Филатов А.М., Филатова О.А., Храмшин Т.Р., Храмшин Р.Р. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №1. С. 71–79. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-71-79>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

STUDYING DRIVES OF THE TENSION LEVELLER ON THE CONTINUOUS PICKLING LINE OF THE COLD ROLLING MILL

Gennadiy P. Kornilov, Olga A. Filatova, Anatoliy M. Filatov, Timur R. Khramshin, Rifkhat R. Khramshin

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance): The paper analyzes tension formation on the tension leveller (TL) of the continuous pickling line of the wide-strip cold rolling mill at PJSC MMK. Mathematical models were developed to identify a relation between the operating electric drives of TL and the parameters of strips and complex planetary gearboxes. **Objectives:** To ensure a steady operation of TL due to a correct setting of electric drive torque and speed parameters for various strip grades. **Methods Applied:** Collection and processing of experimental data on the distribution of strip tension in TL and adjacent tension stations by oscillographic testing of torques and speeds of electric drives; mathematical modelling of speed and power parameters on the drive shafts of TL. **Novelty:** It lies in the development of a mathematical description of the actual strip elongation depending on a bridle roll diameter; the mathematical model shows a relation between strip tension and the set strip thickness, between loads of the main drive and the lengthening drive. **Findings:** It was found that the actual strip elongation can vary in a wide range from 1.5% to 3.1%. Some average value of 2.3% can be achieved by changing roll diameters in a fairly narrow range. It was found that a change in diameter of 1 mm causes a change in the actual elongation of approximately 0.1%. By analyzing changes in back and front strip tension in the function of the main drive motor load and the lengthening drive, the authors worked out the formulas to calculate the strip tension on the TL section. It is established that the load of the lengthening drive directly determines the strip tension before entering TL. **Practical Relevance:** The resulting dependencies used to calculate speed and power parameters of electric drives make it possible to correct the set speed of electric drives of TL to maintain the specified elongation and avoid unacceptable loads of planetary gear elements for various strip grades.

Keywords: continuous pickling line, tension leveller, strip tension, planetary gear, electric drive, mathematical model, lengthening drive

For citation

Kornilov G.P., Filatova O.A., Filatov A.M., Khramshin T.R., Khramshin R.R. Studying Drives of the Tension Leveller on the Continuous Pickling Line of the Cold Rolling Mill. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 1, pp. 71–79. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-1-71-79>

Введение

Непрерывно-равильный агрегат (НТА) находится в самом начале технологической линии цеха холодного проката. В процессе прохождения через НТА осуществляются следующие процессы: размотка полосы, ломка окалины, сварка концов, снятие грата, травление, промывка, сушка и намотка в рулоны. Одним из компонентов НТА является изгибо-растяжная машина, предназначенная для взрыхления поверхностной окалины и правки профиля полосы [1, 3, 4]. Сортамент обрабатываемых полос достаточно широк, максимальная толщина полосы достигает 4 мм. Стабильная работа ИРМ оказывает существенное влияние на работу всего агрегата НТА [2, 5, 7, 10]. Изгибо-растяжная машина изготовлена и поставлена для широкополосного стана холодной прокатки итальянской фирмой Techint. Особенностью ее конструкции (рис. 1) является применение планетарных редукторов в электроприводах натяжных станций (НС). Спустя непродолжительное время эксплуатации обнаружен ряд поломок в элементах планетарной пере-

дачи. Основными факторами, вызвавшими подобную ситуацию, на наш взгляд, могут быть следующие обстоятельства: недостаточный запас прочности механического оборудования; некорректная настройка электроприводов при наличии сложной планетарной передачи [6, 11].

Целью настоящей статьи является обеспечение стабильной работы ИРМ за счет корректного задания установок моментов и скоростей электроприводов, при различных сортаментах полосы.

Достижение поставленной цели требует решения следующих задач:

1. Вывод формул, связывающих частоту вращения электроприводов со скоростью полосы на роликах ИРМ.
2. Анализ влияния неравенства диаметров роликов на величину фактического удлинения.
3. Расчет моментов установленных электроприводов в зависимости от натяжения полосы в ИРМ.
4. Анализ изменения заднего и переднего натяжения полосы в функции загрузки двигателей главного привода и привода удлинения.

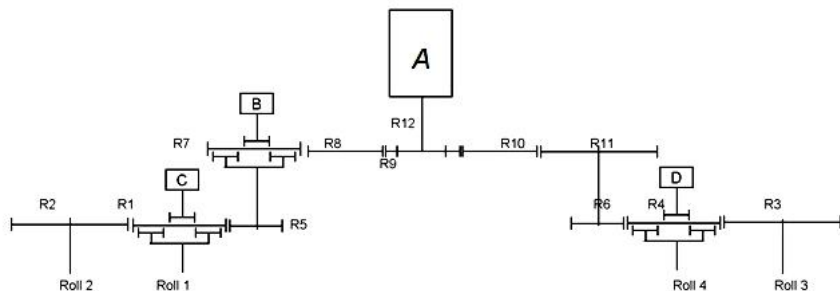
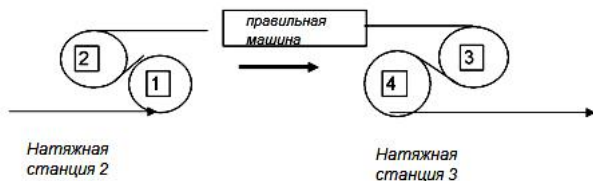


Рис. 1. Схема расположения зубчатых колес редукторов ИРМ:

A – двигатель главного привода; B – двигатель привода удлинения; C – двигатель НС №2; D – двигатель НС №3; 1 – ролик, связанный через планетарный редуктор с двигателем C; 2 – ролик, который расположен на входе в ИРМ; 3 – ролик, расположенный на выходе из ИРМ; 4 – ролик, связанный через планетарный редуктор с двигателем D

Fig. 1. A layout diagram of gear wheels of gearboxes on TL

A is a main drive motor; B is a lengthening drive motor; C is a motor of bridle roll unit 2; D is a motor of bridle roll unit 3; 1 is a roll related to motor C via the planetary gearbox; 2 is a roll located on the section when the strip enters TL; 3 is a roll located on the section when the strip exits TL; 4 is a roll related to motor D via the planetary gearbox

Методы исследования

Планетарная передача состоит из центральной шестерни, внешнего колеса и промежуточного колеса с тремя сателлитами. Самым быстрходным является вал центральной шестерни, самым тихоходным – внешнее колесо. Промежуточный вал занимает среднее положение по скорости между ними. Замечательным свойством планетарной передачи является тот факт, что скорость промежуточного вала равна сумме скоростей двух других валов, взятых с коэффициентами, равными передаточным отношениям.

В ИРМ указанное свойство планетарной передачи используется для более точного задания скорости ролика, расположенного до кассет. Действительно, если электропривод роликов выполнить индивидуальным – без связи через планетарный редуктор, то для обеспечения удлинения в 1,0% потребовалось бы регулировать скорость с точностью в 0,1%. Для этого необходим электропривод с диапазоном регулирования скорости 1:1000, что обеспечить практически

весьма затруднительно. В случае, когда используется связь электроприводов через планетарную передачу, требуемый диапазон снижается в 10 раз, т.е. 1:100. Главный электропривод задает 90% скорости заднего ролика, оставшиеся 10% добавляет привод удлинения, причем для изменения удлинения на 0,1% потребуется изменить скорость привода удлинения на 10%.

Таким образом, использование планетарной передачи позволяет снизить требования к электроприводу в отношении точности регулирования скорости.

Рассмотрим более подробно физические основы планетарной передачи. На рис. 2, а условно показаны передаточные отношения между центральным и промежуточным валами и внешней шестерней.

Здесь обозначено: $i = \frac{z_{\text{внешн}}}{z_{\text{центр}}}$ – передаточное

число, как отношение числа зубьев внешнего колеса к числу зубьев центральной шестерни. Поясним сказанное численным примером. Пла-

нетарная передача НС №3 имеет следующие числа зубьев: $Z_{внешн} = 72$ (внешнее зубчатое колесо), $Z_{центр} = 18$ (центральная шестерня).

Передаточное число $i = \frac{72}{18} = 4$, остальные передаточные число показаны на **рис. 2,б**.

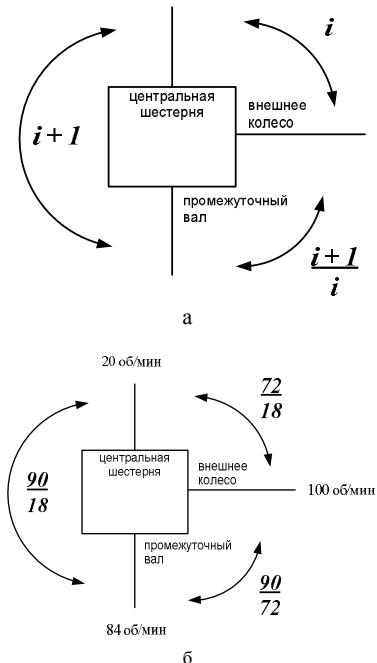


Рис. 2. Передаточные отношения (а) и частоты вращения (б) в планетарном редукторе НС №3

Fig. 2. Gearing ratios (a) and rates of rotation (b) in the planetary gearbox of bridle roll unit 3

Пусть частота вращения центральной шестерни составляет 20 об/мин, частота вращения внешнего колеса 100 об/мин, тогда промежуточный вал будет вращаться со скоростью

$$n_{\text{пром.вал}} = \frac{n_{\text{центр}}}{5} + \frac{n_{\text{внешн}}}{1,25} = \frac{20}{5} + \frac{100}{1,25} = 4 + 80 = 84 \text{ об / мин} \quad (1)$$

где $n_{\text{центр}}$ – частота вращения центральной шестерни, об/мин;

$n_{\text{внешн}}$ – частота вращения внешнего зубчатого колеса, об/мин.

Обратимся теперь к соотношениям между моментами, приложенными к планетарной передаче. Важным свойством данного типа передачи является следующее: если хотя бы один момент на валу равен нулю, то равны нулю и два оставшихся момента; если известен момент на одном валу, то момент на любом другом валу определится через него и передаточное отношение, связывающее эти два вала. Расставим моменты, приложенные к передаче, в возрастающем порядке: наименьший момент прикладывается к валу центральной шестерни, средний по величине момент – к внешнему колесу, наибольший момент – к промежуточному валу. Пусть на валу центральной шестерни действует момент величиной 10 кН·м, тогда к внешнему колесу будет прикладываться момент $10 \cdot 4 = 40$ кН·м, к промежуточному валу – $10 \cdot 5 = 50$ кН·м, где 4 и 5 – передаточные числа между соответствующими валами. На **рис. 3** показано распределение моментов применительно к НС №3.

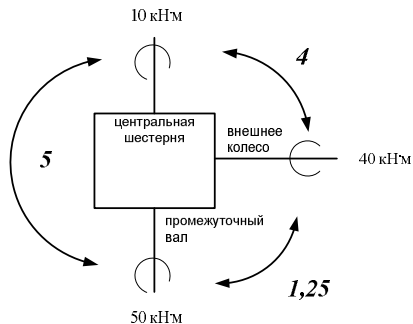


Рис. 3. Соотношения между моментами в планетарном редукторе НС №3

Fig.3. Relations between torques in the gearbox of bridle roll unit 3

На первом этапе работы проведены сбор и обработка экспериментальных данных по распределению натяжения в ИРМ и смежных натяжных станциях путем осциллографирования моментов и скоростей электроприводов. Разработана математическая модель для выявления взаимосвязи действующих электроприводов через полосу и сложные планетарные редукторы [9].

Анализ осциллограмм, полученных при различных сортаментах полосы, показал, что фак-

тическое удлинение полосы изменяется в диапазоне от 2,6–2,9%, в то время как величина заданного удлинения составляет 1,2%. Установлено, что столь существенная разница вызвана тем, что в задании на скорости главного привода и привода удлинения не учтены фактические диаметры роликов 2 и 3 натяжных станций.

Для определения точных настроек электроприводов необходимо определить связь их частоты вращения со скоростью полосы на роликах ИРМ. По известным значениям количества зубьев колес зубчатых и планетарных передач привода ИРМ были рассчитаны передаточные отношения скорости двигателя А и скоростей роликов 1–4 (табл. 1) и передаточные отношения, связывающие скорости двигателей В, С, D и А (табл. 2).

Таблица 1. Передаточные отношения скорости двигателя А и скоростей роликов 1–4

Table 1. Gearing ratios of speed of motor A and speed of rolls 1-4

Ролик	Двигатель А
1	22,259
2	20,150
3	18,683
4	19,617

Таблица 2. Передаточные отношения, связывающие скорости двигателей В, С, D и А

Table 2. Gearing ratios showing relations between speed of motors В, С, D and А

i	Значение
i_{A-B}	9,1409
i_{A-C}	20,150
i_{A-D}	18,683

Умножив передаточные отношения из табл. 1 на 9,1409, получим столбик для двигателя В, умножив на 6,6474, получим столбик для двигателя С, умножив на 12,4433, получим столбик для двигателя D. Расчет полученных передаточных отношений представлен в табл. 3.

Введем обозначения:

V_1, V_2, V_3, V_4 – линейная скорость полосы (м/мин) на 1-м, 2-м, 3-м и 4-м ролике соответственно;

D_1, D_2, D_3, D_4 – диаметры (м) роликов 1-го, 2-го, 3-го и 4-го соответственно,

n_A, n_B, n_C, n_D – частота вращения (об/мин) двигателя А, В, С и D соответственно.

Скорость полосы на 3-м ролике определяется только частотой вращения n_A главного привода

$$V_3 = n_A \cdot \frac{D_3}{5,9469} \quad (2)$$

Скорость полосы на 4-м ролике с учетом планетарной передачи НС №3 рассчитывается как сумма

$$V_4 = n_A \cdot \frac{D_4}{6,2443} + n_D \cdot \frac{D_4}{77,6994} \quad (3)$$

Скорость полосы на 2-м ролике зависит от скоростей двигателей А и В

$$V_2 = n_A \cdot \frac{D_2}{6,4140} + n_B \cdot \frac{D_2}{58,6297} \quad (4)$$

Скорость полосы на 1-м ролике определится как сумма трех слагаемых, зависящих от скоростей двигателей А, В и С:

$$V_1 = n_A \cdot \frac{D_1}{7,0853} + n_B \cdot \frac{D_1}{64,7658} + n_C \cdot \frac{D_1}{47,0988} \quad (5)$$

Расчетные соотношения для определения скоростей электродвигателей сведены в табл. 4. Здесь $E\%$ – расчетное удлинение полосы.

Анализ влияния неравенства диаметров роликов на величину фактического удлинения

Проанализируем, как неучёт фактических диаметров роликов сказывается на удлинении полосы. Расчет скоростей электродвигателей выполнен по формулам, заложенным в контроллере (без учета диаметров), а величину удлинения подсчитаем с учетом неравенства диаметров роликов. Результаты расчета (табл. 5) показывают, что при заданной величине в 1,2% фактическое удлинение составляет 2,64%, причем скорость полосы не оказывает влияния на величину фактического удлинения.

Фактическое удлинение полосы $E_{23}\%$ определяется через скорости 2-го и 3-го ролика по следующей формуле:

$$E_{23}\% = \frac{V_3 - V_2}{V_2} \cdot 100 \quad (6)$$

Для нахождения удлинения по вышепредставленным формулам необходимо знать скорости роликов. Последние предлагается определять через скорости двигателей ИРМ, которые уже имеются в системе управления. Связь между скоростью ролика и двигателя устанавливаются формулы, которые были получены ранее, и приведены в табл. 4.

Структурная схема расчета удлинения $E_{23}\%$ показана на рис. 4. Заметим, что в качестве сигналов по скорости предпочтительно брать сигналы обратных связей, а не заданий на скорость.

Таблица 3. Передаточные отношения между скоростями двигателей и роликов

Table 3. Gearing ratios of speeds of motors and rolls

Ролик	Двигатель А	Двигатель В	Двигатель С	Двигатель Д
1	22,259	203,468	147,965	276,978
2	20,150	184,191	133,947	250,736
3	18,683	170,777	124,192	232,476
4	19,617	179,316	130,402	244,100

Таблица 4. Формулы задания скоростей электродвигателей (с учетом диаметров)

Table 4. Formulas used to set motor speed (with regard to diameters)

$nA = 5,9469 \cdot \frac{V3}{D3}$
$nB = 58,6297 \left(\left(1 - \frac{E\%}{100} \right) - \frac{D2}{D3} \frac{5,9469}{6,4140} \right) \frac{V3}{D2}$
$nC = 47,0988 \cdot 5,9469 \cdot \frac{V3}{D3} \cdot \left(\frac{D2}{6,4140} - \frac{1}{7,0853} \right) +$ $+ 47,0988 \cdot 58,6297 \left(\left(1 - \frac{E\%}{100} \right) - \frac{D2}{D3} \frac{5,9469}{6,4140} \right) \frac{V3}{D2} \cdot \left(\frac{D2}{58,6297} - \frac{1}{64,7658} \right)$
$nD = (77,6994 - 73,9995 \frac{D4}{D3}) \cdot \frac{V3}{D4}$

Таблица 5. Влияние диаметров роликов на удлинение

Table 5. Impact of roll diameters on elongation

Заданное удлинение	%	1.2	1.2	1.2
Линейная скорость полосы (задание)	м/мин	300	200	100
Диаметр 3-го ролика (контроллер)	мм	1250	1250	1250
Диаметр 3-го ролика (фактический)	мм	1245	1245	1245
Диаметр 2-го ролика (фактический)	мм	1227	1227	1227
Частота вращения двигателя А	об/мин	1427.3	951.5	475.8
Частота вращения двигателя В	об/мин	854.8	569.9	284.9
Линейная скорость на 2-м ролике (факт.)	м/мин	290.93	193.95	96.98
Линейная скорость на 3-м ролике (факт.)	м/мин	298.80	199.20	99.60
Фактическое удлинение	%	2.64	2.64	2.64

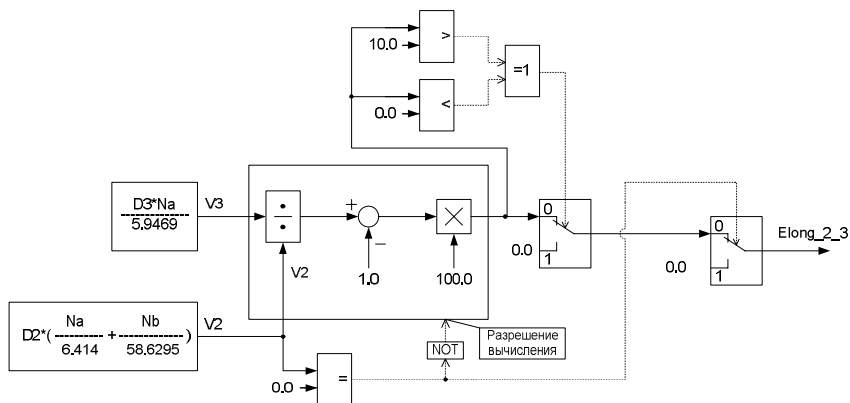


Рис. 4. Структурная схема расчета удлинения по скоростям двигателей главного привода и привода удлинения
 Fig. 4. A block diagram to calculate elongation by speeds of motors of the main drive and the lengthening drive

Таблица 6. Фактическое удлинение полосы (%) в функции диаметров 2-го и 3-го роликов

Table 6. Actual strip elongation (in %) as a function of diameters of rolls 2 and 3

Диаметр 3-го ролика, мм	Диаметр 2-го ролика, мм										
	1225	1226	1227	1228	1229	1230	1231	1232	1233	1234	1235
1240	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6
1241	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8	1.7
1242	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.8
1243	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8
1244	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0	1.9
1245	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1	2.0
1246	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2	2.1
1247	3.0	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2	2.2
1248	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3	2.2
1249	3.1	3.0	2.9	2.9	2.8	2.7	2.6	2.6	2.5	2.4	2.3

Заключение

В результате анализа работы привода ИРМ получены зависимости задания скоростей электродвигателей с учетом диаметров роликов ИРМ. Установлена зависимость удлинения полосы от фактических значений диаметров роликов. Полученные расчетные зависимости ско-

ростных параметров электропривода позволяют корректно выполнить настройку контроллера для получения заданного удлинения полосы. Проведенные исследования позволяют исключить перегрузки элементов планетарной передачи и снизить тем самым риски их разрушения и выхода из строя.

Список литературы

1. Теоретическое исследование процесса прохождения горячекатаной полосы через изгибно-растяжной окалиноломатель непрерывно-травильного агрегата / Д.В. Суфьянов, Н.Н. Огарков, Е.А. Мурзаева, В.В. Курбан, С.В. Денисов // Производство проката. 2012. №10. С. 31–34.
2. Оптимизация параметров настройки машины правки для эффективного разрушения окалины / В.Л. Корнилов, Г.А. Куницын, В.А. Дьяконов, А.П. Будапов, П.П. Полецков // Сталь. 2009. №10. С. 77–78.
3. Девятченко Л.Д., Маяченко Е.П. Operation of an extension and bending machine in scale removal from hot-rolled strip. Steel in translation. 2013. Vol. 43. № 2. P. 59–63.
4. Daniel Magura, Viliam Fedák, Padmanaban Sanjeevikumar, Karol Kyslan. Tension Controllers for a Strip Tension Levelling Line. Advances in Systems, Control and Automation. 2018, pp. 33–44.
5. Полецков П.П. Об изменении показателей профиля и плоскостности тонколистового проката в процессе правки растяжением с изгибом // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. №3 (35). С. 60–62.
6. Исследование систем управления непрерывного стана на математической модели / И.А. Селиванов, В.М. Салганик, И.Г. Гун, О.И. Петухова, Ю.И. Мамлеева // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №3 (35). С. 11–14.
7. Совершенствование модели настройки изгибно-растяжного окалиноломателя для автоматизированного проектирования скоростного режима непрерывно-травильного агрегата, совмещенного с прокатным станом / М.И. Румянцев, И.Д. Зелинов, И.О. Новицкий, Ю.А. Зелинова // Технические науки – от теории к практике. 2015. № 53. С. 122–130.
8. Magura, D. Kyslan, K. Padmanaban, S. Fedák, V. Distribution of the Strip Tensions with Slip Control in Strip Processing Lines. Energies, 2019, 12, 3010.
9. Mathieu, N., Potier-Ferry, M., Zahrouni, H. Reduction of flatness defects in thin metal sheets by a pure tension leveler. International Journal of Mechanical Sciences. Volume 122, March 2017, 267–276.
10. Zhang, J., Zhou, C.L., Li, H.B, Zhang, X. C. and Li, M. Influence of Tension Leveling Parameters on the Micro-structure and Mechanical Properties of Steel Strip. JOM 69 (2017), 937–941.
11. Nigam, Aditya, Jain, Sandeep. Modelling and Structural Analysis of Planetary Geared Winch. International Journal of Science and Research (IJSR). Volume 4, January 2015, 330–333.

Поступила 19.12.2019; принята к публикации 21.01.2020; опубликована 25.03.2020

Корнилов Геннадий Петрович – д-р техн. наук, профессор
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
E-mail: korn_mgn@mail.ru

Филатова Ольга Анатольевна – канд. техн. наук
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
E-mail: feleodor@mail.ru

Филатов Анатолий Михайлович – канд. техн. наук, доцент
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
E-mail: filam50@mail.ru

Храмшин Тимур Рифхатович – канд. техн. наук
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
E-mail: timur.hramshin@mail.ru

Храмшин Рифхат Рамазанович – канд. техн. наук
Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск, Россия.
E-mail: hramshinrt@mail.ru

References

1. Sufyanov D.V., Ogarkov N.N., Murzaeva E.A., Kurban V.V., Denisov S.V. Theoretical research on how hot-rolled strips pass through a tension leveler/scale breaker of a continuous pickling line. *Proizvodstvo prokata* [Manufacturing of rolled products], 2012, no. 10, pp. 31–34. (In Russ.)
2. Kornilov V.L., Kunitsyn G.A., Dyakonov V.A., Budanov A.P., Poletskov P.P. Optimization of the settings of the straightening machine for efficient scale breaking. *Stal* [Steel], 2009, no. 10, pp. 77–78. (In Russ.)
3. Devyatchenko L.D., Mayachenko E.P. Operation of an extension and bending machine in scale removal from hot-rolled strip. Steel in translation, 2013, vol. 43, no. 2, pp. 59–63.
4. Daniel Magura, Viliam Fedák, Padmanaban Sanjeevikumar, Karol Kyslan. Tension controllers for a strip tension levelling line. Advances in Systems, Control and Automation, 2018, pp 33–44.
5. Poletskov P.P. On the change in profile and flatness parameters of rolled steel sheets during tension leveling. *Vest-*

- nik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2011, no. 3 (35), pp. 60–62. (In Russ.)
6. Selivanov I.A., Salganik V.M., Gun I.G., Petukhova O.I., Mamleeva Yu.I. Research on control systems of a continuous rolling mill using a mathematical model. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2013, no. 3 (35), pp. 11–14. (In Russ.)
 7. Rumyantsev M.I., Zelinov I.D., Novitsky I.O., Zelinova Yu.A. Improving a model for setting the tension leveler/scale breaker for the automated design of speed on a continuous pickling line combined with the rolling mill. *Tekhnicheskie nauki - ot teorii k praktike* [Engineering - from theory to practice], 2015, no. 53, pp. 122–130. (In Russ.)
 8. Magura, D. Kyslan, K. Padmanaban, S. Fedák, V. Distribution of the strip tensions with slip control in strip processing lines. *Energies* 2019, 12, 3010.
 9. Mathieu, N., Potier-Ferry, M., Zahrouni, H. Reduction of flatness defects in thin metal sheets by a pure tension leveler. *International Journal of Mechanical Sciences*, volume 122, March 2017, 267–276.
 10. Zhang, J., Zhou, C.L., Li, H.B, Zhang, X. C. and Li, M. Influence of Tension Leveling Parameters on the Microstructure and Mechanical Properties of Steel Strip. *JOM* 69 (2017), 937–941.
 11. Nigam, Aditya, Jain, Sandeep. Modelling and structural analysis of planetary geared winch. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, volume 4, January 2015, 330–333.

Submitted 19/12/2020; revised 21/01/2020; published 25/03/2020

Gennadiy P. Kornilov – DrSc (Eng.), Professor

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: korn_mgn@mail.ru

Olga A. Filatova – PhD (Eng.)

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: feledor@mail.ru

Anatoliy M. Filatov – PhD (Eng.)

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: filam50@mail.ru

Timur R. Khramshin – PhD (Eng.)

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: timur.hramshin@mail.ru

Rifkhat R. Khramshin – PhD (Eng.)

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: hramshinrr@mail.ru