

## ТЕХНОЛОГИИ И МАШИНЫ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-3-5-12

УДК 621.771

### РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ РОЛИКОВОЙ ПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРАВКИ ПОЛОС ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ

#### ROLLER STRAIGHTENING MACHINE FOR LEVELLING OF CORROSION-RESISTANT STEEL STRIPS

**Максимов Евгений Александрович,**

канд. техн. наук, доц., e-mail: maksimov50@mail.ru.

**Evgenie A. Maksimov, C. Sc. in Engineering, Associate Professor,**

**Устиновский Евгений Петрович,**

канд. техн. наук, профессор, e-mail: ustinovski41@mail.ru,

**Evgenie P. Ustinovsky, C. Sc. in Engineering, Professor,**

Южноуральский государственный университет, 454092, Россия. г. Челябинск, пр. Ленина, 76  
South Ural State University, 454080, Russia, Chelyabinsk, Lenin st., 76

#### **Аннотация:**

*Исследование закономерностей правки листового проката, создание нового оборудования роликовых правильных машин (РПМ) актуальны и имеют важное научное и практическое значение.*

*Целью исследования является разработка роликовой правильной машины для правки полос из коррозионностойких сталей.*

*Сложность конструкции машины и повышенная установочная мощность главного привода, необходимость которой диктуется применением нескольких пар натяжных роликов на входной и выходной натяжных станциях, а также повышенные натяжения при правке полос снижают эффективность применения традиционных правильных машин. Представлена новая конструкция РПМ для правки полос из коррозионностойких сталей, преимуществом которой является простота конструкции, а также уменьшенная установочная мощность главного привода. Получены зависимости для расчета сил, образующихся при нагружении роликового узла машины силой правки, а также крутящего момента на промежуточных приводных роликах. Проведен расчет крутящих моментов на промежуточных приводных роликах при правке полосы из стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм с исходной кривизной 0,001- 002 1/мм на ролике малого диаметра 50 мм. Расчетным путем установлено, что установочная мощность электродвигателя главного привода при правке полос из коррозионностойкой стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм составляет 160 кВт, что значительно меньше установочной мощности электродвигателя главного привода традиционной РПМ.*

**Ключевые слова:** Правка, коррозионностойкая сталь, конструкция, роликовая правильная машина.

#### **Abstract:**

*The study of the regularities of sheet metal straightening, creation of new equipment for roller straightening machines (RSM) are relevant and are of great scientific and practical importance.*

*The aim of the study is to develop a roller straightening machine for levelling strips of corrosion-resistant steels.*

*The complexity of the machine design and the increased installed power of the main drive, the need for which is dictated by the use of several pairs of tension rollers at the input and output tensioning stations, as well as increased tension during straightening of strips, reduce the efficiency of traditional levelers. A new design of the RSM for straightening strips of corrosion-resistant steels is presented, the advantage of which is: simplicity of design, as well as a decrease in the installed power of the main drive. Dependencies are obtained for calculating the forces generated when the roller unit of the machine is loaded by the straightening force, as well as the torque on the intermediate drive rollers. The calculation of the torques was performed on the intermediate drive rollers*

when straightening a strip of steel 12X18H10T with a thickness of 1.2 mm with an initial curvature of 0.001-002 on a roller of small diameter 50 mm. It has been stated by calculation that the installed power of the main drive electric motor when straightening strips made of corrosion-resistant steel 12X18H10T with a thickness of 1.2 mm is 160 kW, which is significantly less than the installed power of the main drive electric motor of a traditional RSM.

**Key words:** Levelling, corrosion-resistant steel, structure, roller straightening machine.

#### Введение.

Недостаточное теоретическое исследование плоскостности листового проката сдерживает темпы разработки инновационных технологий при

обработке металлов. В настоящее время многие теоретические вопросы расчета параметров в правильном производстве недостаточно изучены [1-4]. Вместе с тем разработка конструкций РПМ,

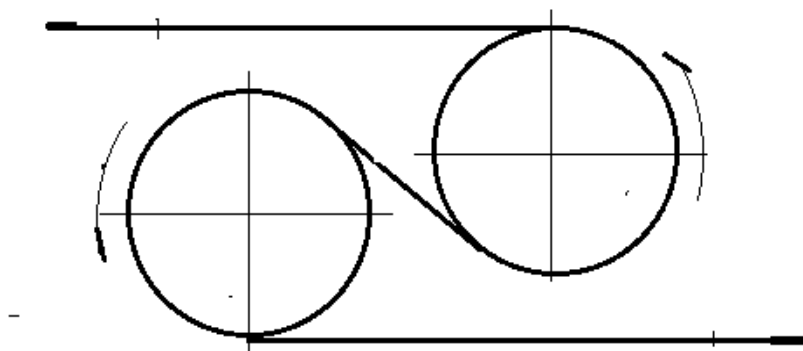


Рис.1. Схема действия сил натяжения при S-охладе роликов полосой на многороликовых станциях АПП

Fig. 1. Scheme of action of tensile forces at S-coverage of rollers by a strip at multi-roller stations APR

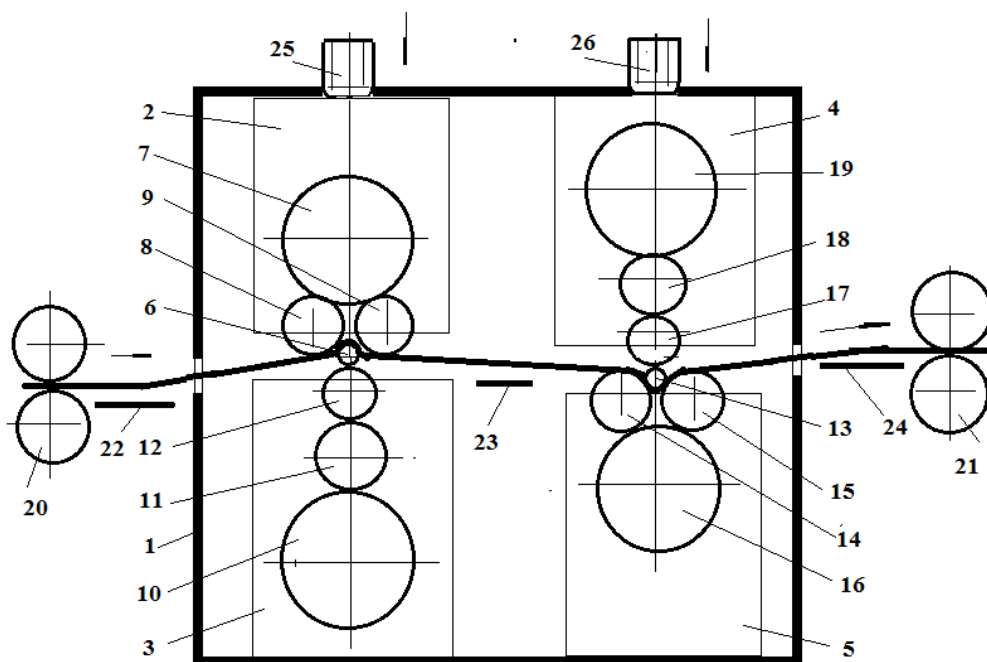


Рис. 2. Схема РПМ для правки полос из коррозионностойких сталей: 1 – станина, 2, 3, 4, 5 – подушки, 6 – первый рабочий ролик малого диаметра, 7 – опорный ролик, 8, 9 – промежуточные приводные ролики, 10 – опорный ролик, 11 – промежуточный ролик, 12 – рабочий ролик, 13 – второй рабочий ролик малого диаметра, 14, 15 – промежуточные приводные ролики, 16 – опорный ролик, 17 – рабочий ролик, 18 – промежуточный ролик, 19 – опорный ролик, 20, 21 – пары тянущих роликов, 22, 23, 24 – проводки, 25, 26 – нажимные винты.

Fig. 2. Scheme of the RPM for straightening strips of corrosion-resistant steels: 1 – bed, 2, 3, 4, 5 – pillows, 6 – first small-diameter working roller, 7 – support roller, 8, 9 – intermediate drive rollers, 10 – support roller, 11 – intermediate roller, 12 – working roller, 13 – second small diameter working roller, 14, 15 – intermediate drive rollers, 16 – support roller, 17 – working roller, 18 – intermediate roller, 19 – support roller, 20, 21 – pairs of pulling rollers, 22, 23, 24 – wiring, 25, 26 – pressure screws.

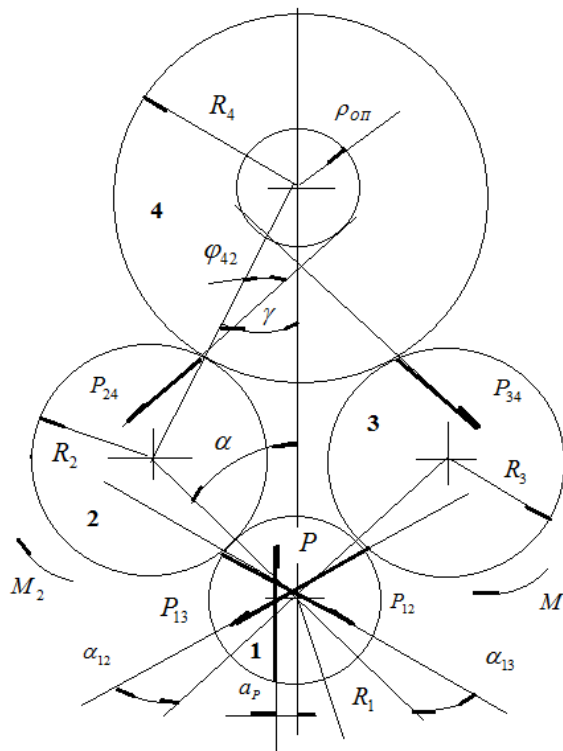


Рис. 3. Схема действия сил роликового узла :  $P$  – сила правки,  $P_i$  – силы, действующие между роликами,  $R_i$  – радиусы роликов,  $\alpha_i, \gamma, \phi_i$  – углы,  $M_2, M_3$  – крутящие моменты на промежуточных роликах, 1 – рабочий ролик, 2, 3 – промежуточные ролики, 4 – опорный ролик

Fig. 3. Scheme of the action of the forces of the roller unit:  $P$  – straightening force,  $P_i$  – forces acting between the rollers,  $R_i$  – the radii of the rollers,  $\alpha_i, \gamma, \phi_i$  – angles,  $M_2, M_3$  – torques on the intermediate rollers, 1 – working roller, 2, 3 – intermediate rollers, 4 – support roller

режимов правки проката и оценка методов управления его качеством проводится с помощью программного обеспечения на основе цифровых технологий [5, 6]. В этой связи дальнейшее исследование закономерностей правки листового проката, создание нового оборудования РПМ имеют важное научное и практическое значение [7-10]. В настоящее время правка полос из коррозионностойких сталей типа 12X18H10T, 08X18H10T, 08X18H10, 12X18, 08X17T, 12X17, а также AISI (США) 316, 310, 321, AISI (США) 410, 420, 430 осуществляется на непрерывном агрегате правки растяжением. Агрегат правки растяжением (АПР) Челябинского металлургического комбината состоит из разматывателя и моталки, корректирующих головок, входной и выходной натяжных многороликовых станций, прижимных и обводных роликов. Установочная мощность привода АПР составляет 900 кВт.

В линии АПР установлены входная и выходная многороликовые станции, состоящие из нескольких пар роликов, огибаемых полосой по своей образующей [11-16]. Тянущие ролики создают натяжение в полосе, которая огибает их поверхность по S-образной траектории.

Приводными могут быть все или часть роликов. В натяжных устройствах данного типа применяется индивидуальный привод вращения роликов. Недостатками S-образных многороликовых станций АПР являются сложность конструкции и повышенная установочная мощность главного привода, необходимость которой диктуется применением нескольких пар натяжных роликов на входной и выходной натяжных станциях, а также повышенные натяжения при правке полос.

Схема S-охвата роликов полосой на многороликовых станциях АПР представлена на рис.1.

Целью исследования является разработка конструкции роликовой правильной машины для правки полос из коррозионностойких сталей.

#### Аналитические исследования и их обсуждение

Схема РПМ для правки полос из коррозионностойких сталей представлена на рис. 2.

В РПМ, представленной на рис. 2, правка производится за счет изгиба полосы толщиной 0,8-1,2 мм с исходной кривизной 0,001- 002  $1/\text{мм}$  обратным перегибом на ролик малого диаметра 30-

Таблица 1. Расчет крутящих моментов на промежуточных приводных роликах № 2 и № 3 при правке полосы из стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм с исходной кривизной 0,001- 002 1/мм на ролике малого диаметра 50 мм

Table 1. Calculation of the torques on the intermediate drive rollers No. 2 and No. 3 when straightening a strip of steel 12X18H10T with a thickness of 1.2 mm with an initial curvature of 0.001-002 1/mm on a roller of small diameter 50 mm

Параметр	Параметр	Размерность	Значение
Сила правки	$P$	кН	500
Радиус ролика малого диаметра	$R_1$	мм	50
Радиус приводного промежуточного ролика	$R_2$	мм	100
Радиус опорного ролика	$R_4$	мм	200
Крутящий момент на промежуточном ролике	$M_2$	кНм	35
Суммарный крутящий момент	$M_C$	кНм	70

50 мм. При этом отпадает необходимость в использовании повышенных натяжений при правке полос.

Роликовая правильная машина (рис. 2) работает следующим образом: при одновременном вращении нажимных винтов 25 и 26 верхние подушки 2 и 4 перемещаются по вертикали вниз. При перемещении подушки 2 вниз размещенные в ней опорный ролик 7 и рабочие ролики 8 и 9 опускаются.

Включается заправочная скорость главного привода пары приводных роликов 20, и обрабатываемая полоса по проводке 22 подается в зазор, образованный первым роликом малого диаметра 6 и рабочими роликами 8 и 9. Далее по проводке 23 полоса подается в зазор между вторым роликом малого диаметра 13 и рабочими роликами 14 и 15. По проводке 24 полоса подается в пару приводных роликов 21, установленных на выходе из РПМ.

Далее включается рабочая скорость главного привода роликов 8, 9, 12, а также роликов 14, 15, 17, и полоса протягивается от входа до выхода металла из РПМ.

При этом полоса изгибается на первом рабочем ролике малого диаметра 6 с перегибом вверх, а на втором рабочем ролике малого диаметра 13 с перегибом вниз, происходит правка полосы с исходной положительной и отрицательной кривизной знакопеременным изгибом. При этом производится качественное исправление кривизны по всей длине листа. Перекрытие между рабочим роликом малого диаметра 6 и вторым роликом малого диаметра 13 составляет 6-10 мм.

Рассмотрим схему действия сил роликового узла, а также крутящий момент на промежуточных приводных роликах № 2 и № 3 при правке полос на РПМ (рис. 3).

Определим направление сил, действующих на ролики. Известно, что эти силы направлены по касательным к кругам трения

$$\sin \phi_{42} = \frac{\rho_{OP}}{R_4}, \quad (1)$$

$$\text{где } \rho_{OP} = f_{OP} \frac{d_{OP}}{2},$$

$f_{OP}$  - коэффициент трения скольжения,

$d_{OP}$  - диаметр цапфы ролика.

Принимая, что сила правки  $P$  направлена вертикально вверх, условие равновесия моментов запишем в виде (рис. 3)

$$P a_{OP} - P_{12} R_1 \sin \alpha_{12} - P_{13} R_1 \sin \alpha_{13} = 0, \quad (2)$$

Решая уравнение (2), получим

$$\sin \alpha_{12} = \sin \alpha_{13} = \frac{P a_P}{(P_{12} + P_{13}) R_1}, \quad (3)$$

Условие равновесия сил для ролика №1 запишем в виде (рис. 3)

$$P - P_{12} \cos(\alpha - \alpha_{12}) - P_{13} \cos(\alpha + \alpha_{13}) = 0, \quad (4)$$

$$P_{12} \sin(\alpha - \alpha_{12}) - P_{13} \sin(\alpha + \alpha_{13}) = 0. \quad (5)$$

Решая уравнения (4) и (5), получим

$$P_{12} = P \frac{1}{\cos(\alpha - \alpha_{12}) + \sin(\alpha - \alpha_{13})}, \quad (6)$$

$$P_{13} = P \frac{1}{\cos(\alpha + \alpha_{12}) + \sin(\alpha + \alpha_{13})}. \quad (7)$$

Условие равновесия сил для приводного промежуточного ролика № 2 запишем в виде (рис. 3)

$$-P_{24} \cos(\gamma - \gamma_{42}) - P_{21} \cos(\alpha - \alpha_{12}) = 0, \quad (8)$$

$$-P_{24} \sin(\gamma - \gamma_{42}) + P_{21} \cos(\alpha - \alpha_{12}) = 0, \quad (9)$$

Принимая  $P_{21} = P_{12}$ , решая уравнения (8) и (9), получим

$$P_{24} = -P_{21} \frac{\sin(\alpha - \alpha_{12})}{\cos(\gamma - \gamma_{42})}. \quad (10)$$

Условие равновесия моментов для ролика №2 запишем в виде (рис. 3)

$$M_2 - P_{24} R_2 \sin \phi_{42} - P_{21} R_2 \sin \alpha_{12} = 0, \quad (11)$$

Решая уравнение (11), получим крутящий момент на ролике № 2

$$M_2 = PR_2 \frac{\sin \phi_{42}}{\cos (\alpha - \alpha_{12}) + \sin (\alpha - \alpha_{13})} + PR_2 \frac{\sin \alpha_{12}}{\cos (\alpha - \alpha_{12}) + \sin (\alpha - \alpha_{13})}, \quad (12)$$

В силу симметрии роликового узла крутящий момент на ролике № 3 может быть определен по аналогичной зависимости.

Момент, необходимый для привода двух промежуточных роликов, определим по формуле

$$M_c = M_2 + M_3 = 2PR_2 \frac{\sin \phi_{42}}{\cos (\alpha - \alpha_{12}) + \sin (\alpha - \alpha_{13})} + 2PR_2 \frac{\sin \alpha_{12}}{\cos (\alpha - \alpha_{12}) + \sin (\alpha - \alpha_{13})} \quad (13)$$

где  $P$  – сила правки  
 $R_2$  – радиус ролика № 2.

Для роликовой правильной машины при правке полос из коррозионностойкой стали типа 12Х18Н10Т толщиной 0,8-1,2мм используются ролики малого диаметра 30-50 мм.

Расчет крутящих моментов на промежуточных приводных роликах № 2 и № 3 при правке полосы из стали 12Х18Н10Т толщиной 1,2 мм с исходной кривизной 0,001- 002 1/мм на ролике малого диаметра 50 мм представлен в табл. 1.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал, что крутящий момент на промежуточном ролике № 2 составляет 35 кНм, суммарный крутящий момент на промежуточном ролике № 2 и №3 составляет 70 кНм.

Изгибающий момент для всех роликов РПМ [1,2] определим по формуле

$$M_{Hi} = \frac{\sigma_s^* \cdot 2 B h D_p}{4E} \Delta_i, \quad (14)$$

где  $D_p$  – диаметр бочек рабочих роликов,  
 $B, h$  – ширина и толщина полосы,  
 $E$  – модуль упругости материала полосы,  
 $\Delta_c$  – суммарная относительная деформация полосы,  
 $\sigma_s^*$  – предел текучести материала полосы.

Силу правки на втором и последующих роликах РПМ определим из условия равновесия внешних сил [1,2]

$$P_i = \frac{2}{T} (M_{Hi+1} + 2M_{Hi} + M_{Hi-1}), \quad (15)$$

где  $M_{Hi}$  – изгибающий момент для  $i$  – того ролика,  
 $T$  – шаг роликов,  
 $i$  – порядковый номер ролика.

Мощность правки, затрачиваемую на знакопеременный изгиб полосы между роликами РПМ [1,2], определяют по формуле

$$N_{II} = \sum_{i=1}^{n-1} M_{Hi} \frac{2V}{D_p}, \quad (16)$$

где  $V$  – скорость правки,  
 $n$  – количество роликов правильной машины,  
 $D_p$  – диаметр рабочего ролика,  
 $M_{Hi}$  – суммарный изгибающий момент.

Мощность, затрачиваемую на трение качения роликов по поверхности полосы [1,2], определяют по формуле

$$N_{TK} = P_{\Sigma} f_{TK} \left( \frac{2V}{D_p} \right), \quad (17)$$

где  $P_{\Sigma}$  – суммарная сила правки для РПМ,  
 $f_{TK}$  – коэффициент трения качения в подшипниках роликов,  
 $V$  – скорость полосы при правке,  
 $D_p$  – диаметр бочек рабочих роликов,  
 $f_{TK}$  – коэффициент трения качения ролика по поверхности полосы.

Мощность, затрачиваемую на преодоление сил трения на шейках опорных роликов, определяют по формуле [1,2]

$$N_{Шо} = f_0 \Phi P_{\Sigma} \frac{d_0}{2} \frac{2V}{D_0}, \quad (18)$$

где  $D_0$  – диаметр бочек опорных роликов,  
 $P_{\Sigma}$  – суммарная сила правки,  
 $f_0$  – коэффициент трения в подшипниках опорных роликов,  
 $d_0$  – диаметр цапф опорных роликов,  
 $\Phi$  – коэффициент, показывающий, какую часть суммарной силы правки воспринимают опорные ролики ( $\Phi = 0,8$ ).

Мощность, затрачиваемую на вращение двух промежуточных роликов, определим по формуле

$$N_{IP} = 2 M_c \frac{2V}{D_2}, \quad (19)$$

где  $M_c$  – момент, необходимый для привода двух промежуточных роликов,  
 $D_2$  – диаметр промежуточного ролика № 2,  
 $V$  – линейная скорость промежуточного ролика № 2.

Таблица 2. Расчет установочной мощности электродвигателя главного привода при правке полос из коррозионностойкой стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм

Table 1. Calculation of torques on intermediate drive rollers No. 2 and No. 3 when straightening a strip of steel 12X18H10T with a thickness of 1.2 mm with an initial curvature of 0.001-002 on a roller of small diameter 50 mm.

$N_{\Pi}$	$N_{TK}$	$N_{ШО}$	$N_{ПР}$	$N_C$	$N_{ДВ}$	$N_{УС}$
кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт	кВт
72	33	11	15	131	145, 5	160

Мощность главного привода РПМ при правке полосы определим по формуле

$$N_C = N_{\Pi} + N_{TK} + N_{ШО} + N_{ПР}, \quad (20)$$

где  $N_{\Pi}$  – мощность правки, затрачиваемая на знакопеременный изгиб листа,

$N_{TK}$  – мощность, затрачиваемая на трение качения роликов по поверхности листа,

$N_{ШО}$  – мощность, затрачиваемая на преодоление сил трения на шейках опорных роликов,

$N_{ПР}$  – мощность, затрачиваемая на вращение двух промежуточных роликов.

При работе главного привода роликов РПМ крутящий момент передается от электродвигателя через редуктор и шестеренную клетку, универсальные шпиндели на промежуточные ролики РПМ. Принимается КПД редуктора и шестеренной клетки  $\eta_P = 0,96$ ;  $\eta_{Ш} = 0,94$ ; для привода  $\eta = 0,94 \times 0,96 = 0,90$ . Мощность электродвигателя главного привода РПМ определяют по формуле

$$N_{ДВ} = N_C / \eta, \quad (21)$$

где  $\eta$  – КПД главного привода РПМ.

Расчет установочной мощности электродвигателя главного привода при правке полос из коррозионностойкой стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм представлен в табл. 2.

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показал, что при правке полос из коррозионностойкой стали 12X18H10T установочная мощность электродвигателя составляет  $N_{УС} = 160$  кВт.

## Заклучение

1. Рассмотрены недостатки правильных машин, используемых для правки полос коррозионностойких сталей типа 12X18H10T, 08X18H10T, 08X18H10, 12X18, 08X17T, 12X17, а также AISI (США) 316, 310, 321, AISI (США) 410, 420, 430. К ним можно отнести сложность конструкции и повышенную установочную мощность главного привода, необходимость которой диктуется применением нескольких пар натяжных роликов на входной и выходной натяжных станциях, а также повышенные натяжения при правке полос.

2. Представлена конструкция РПМ для правки полос из коррозионностойких сталей, преимуществами которой являются снижение сложности конструкции, а также уменьшение установочной мощности главного привода.

3. Получены зависимости для расчета сил, образующихся при нагружении роликового узла силой правки, а также крутящий момент на промежуточных приводных роликах.

4. Проведен расчет крутящих моментов на промежуточных приводных роликах при правке полосы из стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм с исходной кривизной 0,001- 002 1/мм на ролике малого диаметра 50 мм.

Показано, что крутящий момент на промежуточном ролике составляет 35 кНм, суммарный крутящий момент на двух промежуточных роликах составляет 70 кНм.

5. Расчет установочной мощности электродвигателя главного привода при правке полос из коррозионностойкой стали 12X18H10T толщиной 1,2 мм показал, что установочная мощность электродвигателя составляет 160 кВт. Это значительно меньше установочной мощности электродвигателя главного привода традиционной РПМ.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев А.А. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. / М.: Металлургия, 1985. 376 с.
2. Пасечник Н.В., Сеницкий В.М., Дрозд В.Г. Машины агрегаты металлургического производства. / М.: Машиностроение, 2000. 912 с.
3. Недорезов И.В. Моделирование процессов правки проката на роликовых машинах. Екатеринбург: 2003. – 256 с.
4. Bramfitl B. Advanced in-line head hardening of rails //Proceeding of the internation symposiym // Baltimor. 2015. №6. P. 23-29.
5. Ghevet M. Planeuse a ruoleaux imbriques et procede de mise en oeuvre telle planeuse// Patent 9604683. 2009. p 1-5.
- 6.Irastorsa I. Modelisation of flatness evolution during coaling and leveling of plate as a for production desing // Metec congress. Dusseldorf, 2014. p. 106-111.
7. Utrata D. Evaluation of web cracking tendencies in rail via barious methods // Proceedigs of the international symposium – Rail steels for the 21cenrary.Baltimor. 2014. p.131-135.
- 8.Kaden V. High performance leveler for hot and cold leveling of heavy plates// Met. Plate and Tech. 2007. №2. p. 92-94.
9. Максимов Е. А., Шаталов Р. Л., Устиновский Е.П, Бровман М.Я. Модернизация роликовой правильной машины для повышения качества толстых стальных листов // Сталь. – 2017. – № 4.– С. 39-44.
10. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Васильев Ю.С. Уточнение методики расчета параметров правки толстых листов на роликовой правильной машине // Сталь. –2017.– № 1.– С. 35-38.
11. Шинкин В.И. Расчет кривизны стального листа при правке на восьмироликовой машине // Черные металлы. – 2017.– № 2.– С. 39-43.
- 12.Агишев Л.А. Повышение плоскостности холоднокатаной коррозионностойкой стали. // Сталь. 2003. № 11. С. 49-50.
- 13.Трусов П.А., Копаев О.В., Нуштаев Д.В., Моделирование режимов правки плоского проката // Труды Международного форума «Инженерные системы -2017» // М.: Инжиниринговая компания ТЕСИС. 2017. С.128-133.
14. Барабаш В.А., Гаврильченко Е.Ю., Грибков Э.П. Моделирование процесса правки на листоправильных машинах с исправление дефекта волнистости проката // Сталь. 2014. № 1. С. 62-66.
15. Шинкин В.И. Расчет сил и моментов семироликовой правильной машины при предварительной правке стального листа// Изв. вузов. Черная металлургия.2017. т.59. №12. – С.870-873.
16. Ползер Ж., Вольф А., Гогельс Ф., Мюке Г., Хеслер Е. Современная система регулирования правки полосы изгибом соответственно форме. // Черные металлы. – 2019. – № 5. – с.41-49.

## REFERENCES

1. Korolev A.A. Konstrukciya i raschet mashin i mekhanizmov prokatnyh stanov. / M.: Metallurgiya, 1985. 376 s.
2. Pasechnik N.V., Sinickij V.M., Drozd V.G. Mashiny agregaty metallurgicheskogo proizvodstva. / M.: Mashinostroenie, 2000. 912 s.
3. Nedorezov I.V. Modelirovanie processov pravki prokata na rolikovyh mashinah. Ekaterinburg: 2003.-256 s.
4. Bramfitl B. Advanced in-line head hardening of rails //Proceeding of the internation symposiym // Baltimor.2015. №6. Pp. 23-29.
5. Ghevet M. Planeuse a ruoleaux imbriques et procede de mise en oeuvre telle planeuse// Patent 9604683. 2009. Pp. 1-5.
- 6.Irastorsa I. Modelisation of flatness evolution during coaling and leveling of plate as a for production desing // Metec congress. Dusseldorf, 2014. Pp.106-111.
7. Utrata D. Evaluation of web cracking tendencies in rail via barious methods // Proceedigs of the international symposium – Rail steels for the 21cenrary.Baltimor. 2014. Pp.131-135.
8. Kaden V. High performance leveler for hot and cold leveling of heavy plates// Met.Plate and Tech.2007. №2 p.92-94.
9. Maksimov E.A., Shatalov R.L., Ustinovskij E.P, Brovman M.Ya. Modernizaciya rolikovoj pravil'noj mashiny dlya povysheniya kachestva tolstyh stal'nyh listov // Stal'. – 2017. – № 4.– S. 39-44.

10. Maksimov E.A. Shatalov R.L., Vasil'ev Yu.S. Utochnenie metodiki rascheta parametrov pravki tolstyh listov na rolikovoj pravil'noj mashine // Stal'. –2017. – № 1.– S. 35-38.
11. Shinkin V.I. Raschet krivizny stal'nogo lista pri pravke na vos'mirolikovoj mashine // CHernye metally. – 2017. – № 2.– S. 39-43.
12. Agishev L.A. Povyshenie ploskostnosti holodnokatanoj korrozionnostojkoj stali. // Stal'. 2003. № 11. S. 49-50.
13. Trusov P.A., Kopaev O.V., Nushtaev D.V., Modelirovanie rezhimov pravki ploskogo prokata // Trudy Mezhdunarodnogo foruma «Inzhenernye sistemy-2017» // M.: Inzhiniringovaya kompaniya TESIS. 2017. S.128-133.
14. Barabash V.A., Gavril'chenko E.Yu., Gribkov E.P. Modelirovanie processa pravki na listopravil'nyh mashinah s ispravleniem defekta volnistosti prokata // Stal'. 2014. № 1. S. 62-66.
15. Shinkin V.I. Raschet sil i momentov semirolikovoj pravil'noj mashiny pri predvaritel'noj pravke stal'nogo lista// Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya. 2017. t. 59. №12. – S.870-873.
16. Polzer Zh., Vol'f A., Gogel's F., Myuke G., Hesler E. Sovremennaya sistema regulirovaniya pravki polosy izgibom sootvetstvenno forme. // Chernye metally. – 2019. – № 5. – s.41-49.

Поступило в редакцию 23.06.2020  
Received 23 June 2020