

Шинкин В.Н. ©

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры физики,  
Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

## РАСЧЕТ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВЕНАДЦАТИРОЛИКОВОЙ ЛИСТОПРАВИЛЬНОЙ МАШИНЫ ПРИ ПРАВКЕ СТАЛЬНОГО ЛИСТА

### Аннотация

Предложен математический метод определения силовых параметров холодной правки стального листа на двенадцатироликовой листопрямительной машине.

**Ключевые слова:** стальной лист, листопрямительная машина, знакопеременный изгиб, упругопластическая среда.

**Keywords:** steel sheet, sheet-straightening machine, alternating bending, elastoplastic medium.

**Введение.** В первой части работы была предложена методика определения формы и кривизны  $\varepsilon$  (радиуса кривизны  $\rho$ ) стального листа при правке на двенадцатироликовой листопрямительной машине. Во второй части работы мы подробно рассмотрим методику определения изгибающих моментов и остаточных напряжений, а также реакций опор рабочих роликов в двенадцатироликовой листопрямительной машине.

**Изгибающий момент при правке стального листа** [1–87]. Пусть  $H_i$  – величина обжатия  $i$ -го рабочего ролика,  $h$  – толщина листа,  $R$  – радиус рабочих роликов,  $R_0 = R + h/2$ ,  $t$  – шаг между рабочими роликами:  $\sigma_T$ ,  $E$ ,  $\Pi_p$  и  $\Pi_c$  – предел текучести, модуль Юнга и модули упрочнения стали при растяжении и сжатии;  $\rho_i$  и  $\varepsilon_i = 1/\rho_i$  – радиусы кривизны и кривизна срединной линии листа в точках касания листа с роликами,  $\varphi_i$  – углы точек касания листа и роликов ( $i = 1 \dots 12$ ). Пусть нижние рабочие ролики лежат на одном горизонтальном уровне:  $H_1 = H_3 = H_5 = H_7 = H_9 = H_{11} = 0$  м (рис. 1).

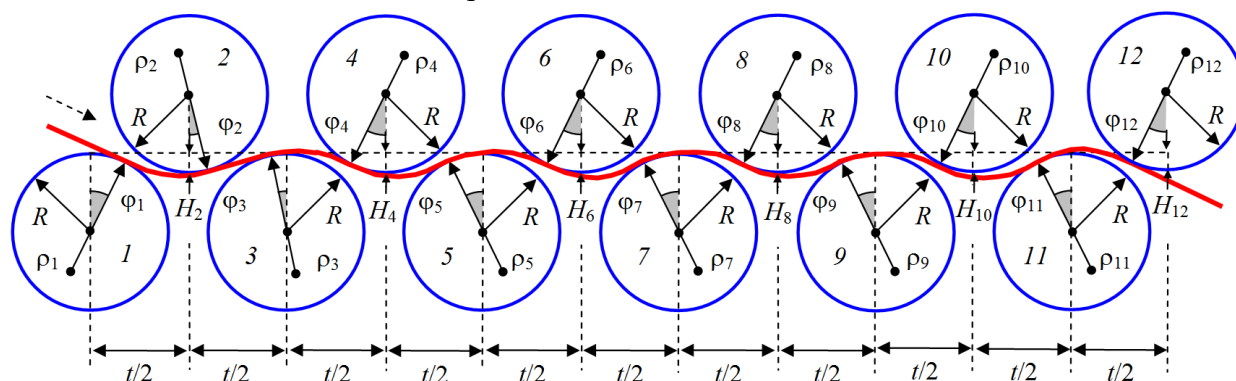


Рис. 1. Форма листа между двенадцатью рабочими роликами

При упругом изгибе листа ( $\rho \geq \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ ) коэффициент пружинения листа  $\beta(\rho) = \infty$ . При пластическом изгибе ( $\rho < \rho_T = hE/(2\sigma_T)$ )

$$\beta(\rho) = \frac{1}{\left(1 - \frac{\Pi_p + \Pi_c}{2E}\right) \left(1 - 2 \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)^2 \left(1 + \frac{\rho\sigma_T}{hE}\right)}$$

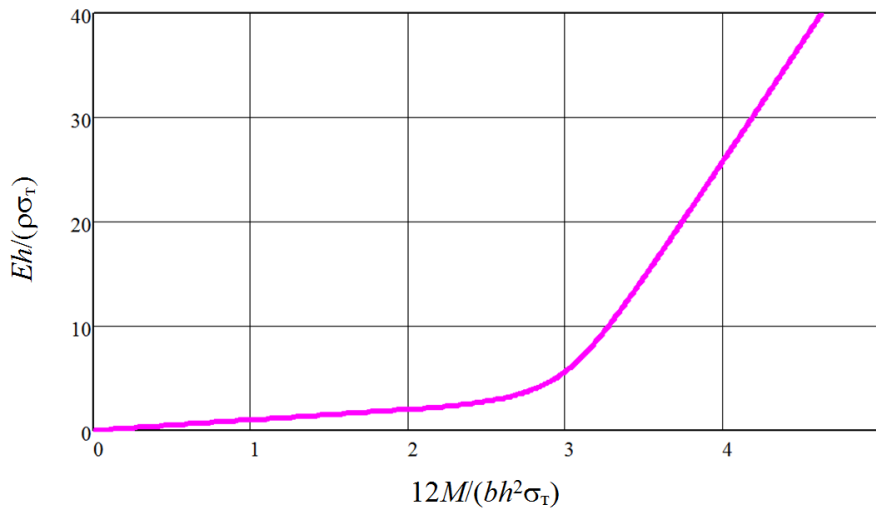


Рис. 2. График изгибающего момента

При пластическом изгибе листа изгибающий момент [4–7]

$$M(\rho) = \frac{bh^2\sigma_T}{12} \left( 3 - 4 \left( \frac{\sigma_T\rho}{Eh} \right)^2 \right) + \frac{bh^3(\Pi_p + \Pi_c)}{24\rho} \left( 1 - 2 \frac{\sigma_T\rho}{Eh} \right)^2 \left( 1 + \frac{\sigma_T\rho}{Eh} \right),$$

где  $b$  – ширина листа. Для сталей  $\Pi_c \approx \Pi_p = \Pi$ .

При упругом изгибе листа [1–7]

$$M(\rho) = \frac{bh^3E}{12\rho}.$$

График изгибающего момента  $M(\rho)$  показан на рис. 2.

Пусть  $M_i$  – изгибающие моменты листа в точках касания с роликами:

$$\begin{aligned} M_1 &= 0, & M_2 &= M(\rho_2), & M_3 &= -M(\rho_3), & M_4 &= M(\rho_4), \\ M_5 &= -M(\rho_5), & M_6 &= M(\rho_6), & M_7 &= -M(\rho_7), & M_8 &= M(\rho_8), \\ M_9 &= -M(\rho_9), & M_{10} &= M(\rho_{10}), & M_{11} &= -M(\rho_{11}), & M_{12} &= 0. \end{aligned}$$

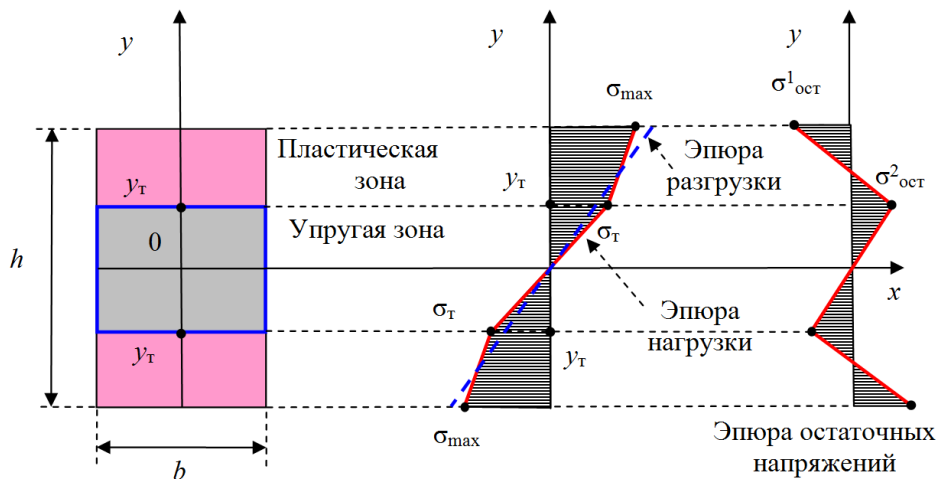
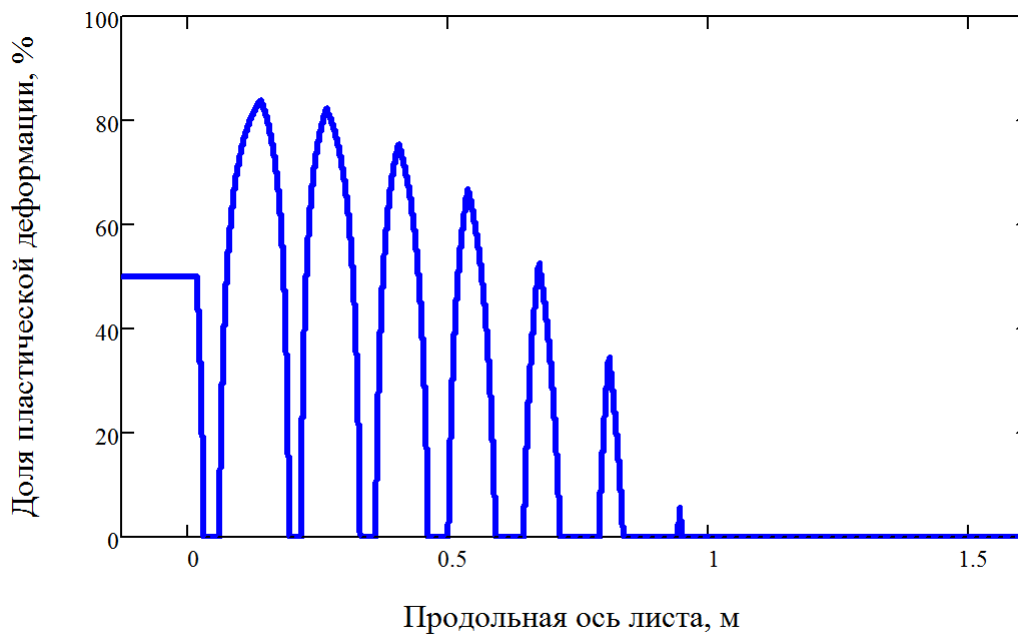


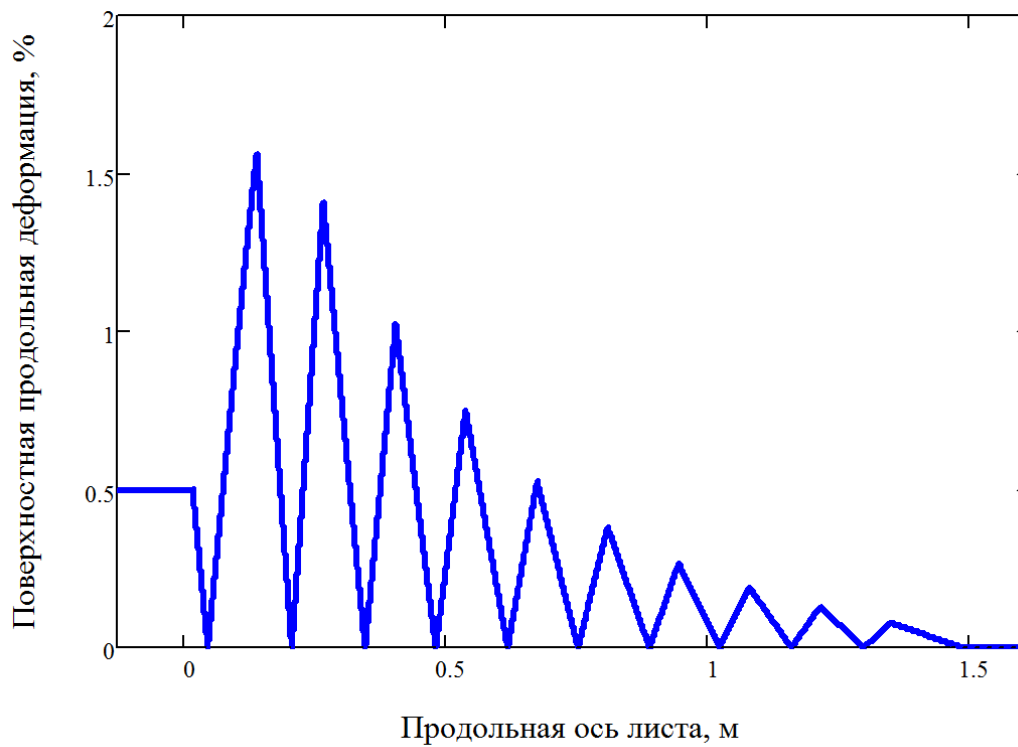
Рис. 3. Остаточные напряжения в стенке листа

**Остаточные напряжения.** Остаточные напряжения листа после распружинивания показаны на рис. 3, где  $\epsilon_T = E/\sigma_T$ ,  $y_T = \sigma_T\rho/E$  – граница между упругой и пластической зонами. Наибольшие остаточные напряжения равны

$$\sigma^1_{\text{ост}} = \sigma_T + \Pi(\epsilon_{\text{max}} - \epsilon_T) - 6 \left( \frac{M}{bh^2} \right), \quad \sigma^2_{\text{ост}} = \sigma_T - 12 \left( \frac{M}{bh^2} \right) \frac{\sigma_T\rho}{Eh}.$$



*Рис. 4. Доля пластической деформации по толщине листа*



*Рис. 5. Относительная деформация поверхностных продольных волокон*

Доля пластическая деформация по толщине листа при изгибе. Доля пластической деформации по толщине листа равна

$$\eta = \left\{ 1 - \frac{2\sigma_T \rho}{Eh}, \text{ если } \rho \leq \frac{Eh}{2\sigma_T}; \quad 0, \text{ если } \rho > \frac{Eh}{2\sigma_T} \right\}.$$

Относительная деформация поверхностных продольных волокон равна

$$\eta_{\text{прв}} = \frac{h}{2|\rho|}.$$

Численные расчеты для доли пластической деформации по толщине листа и

относительной деформации поверхностных продольных волокон в двенадцатироликовой машине при  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $R = 0,125$  м,  $\sigma_T = 500 \cdot 10^6$  Па,  $h = 0,010$  м,  $t = 0,270$  м,  $\rho_1 = -1$  м,  $H_{12} = 0,375$  мм,  $H_{10} = 0,75$  мм,  $H_8 = 1,5$  мм,  $H_6 = 3$  мм,  $H_4 = 6$  мм и  $H_2 = 12$  мм показаны на рис. 4 и 5.

**Расчет силовых параметров двенадцатироликовой листопрямильной машины.**

Пусть  $N_i$ ,  $M_{pi}$  и  $F_{pi}$  ( $F_{pi} = M_{pi}/R$ ) – соответственно реакция опоры, вращательный момент (передаваемый от редуктора) и подающее усилие (сила подачи)  $i$ -го ролика ( $i = 1 \dots 12$ ) (рис. 6).

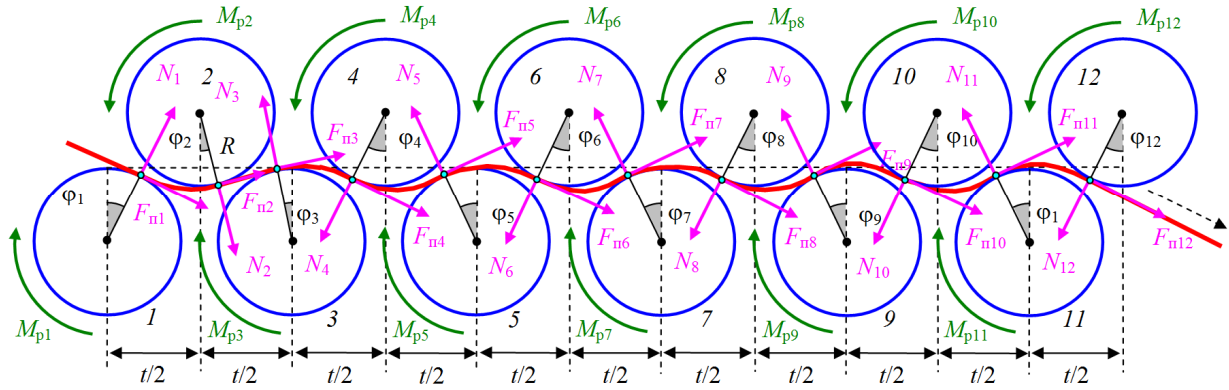


Рис. 6. Силовые факторы, действующие на лист

Построим двенадцать систем координат  $y-z$  в точках касания листа с роликами [4–7]. Оси  $y$  направим по радиусу роликов к их центру, а оси  $z$  – по касательной к поверхности роликов слева направо. Пусть  $y_{ji}$  и  $z_{ji}$  – координаты точек касания листа с  $j$ -ым роликом в  $i$ -ой системе координат.

$$\begin{aligned} \Delta z_{21} &= \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_1 + R_0 \sin \varphi_2, & \Delta y_{21} &= H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_1) - R_0(1 - \cos \varphi_2), \\ z_{21} &= \Delta z_{21} \cos \varphi_1 + \Delta y_{21} \sin \varphi_1, & y_{21} &= -\Delta z_{21} \sin \varphi_1 + \Delta y_{21} \cos \varphi_1, \\ \Delta z_{32} &= \frac{t}{2} - R_0 \sin \varphi_2 - R_0 \sin \varphi_3, & \Delta y_{32} &= H_2 - R_0(1 - \cos \varphi_2) - R_0(1 - \cos \varphi_3), \\ z_{32} &= \Delta z_{32} \cos \varphi_2 + \Delta y_{32} \sin \varphi_2, & y_{32} &= -\Delta z_{32} \sin \varphi_2 + \Delta y_{32} \cos \varphi_2, \\ \Delta z_{43} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_3 - R_0 \sin \varphi_4, & \Delta y_{43} &= H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_3) - R_0(1 - \cos \varphi_4), \\ z_{43} &= \Delta z_{43} \cos \varphi_3 - \Delta y_{43} \sin \varphi_3, & y_{43} &= \Delta z_{43} \sin \varphi_3 + \Delta y_{43} \cos \varphi_3, \\ \Delta z_{54} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_4 - R_0 \sin \varphi_5, & \Delta y_{54} &= H_4 - R_0(1 - \cos \varphi_4) - R_0(1 - \cos \varphi_5), \\ z_{54} &= \Delta z_{54} \cos \varphi_4 - \Delta y_{54} \sin \varphi_4, & y_{54} &= \Delta z_{54} \sin \varphi_4 + \Delta y_{54} \cos \varphi_4, \\ \Delta z_{65} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_5 - R_0 \sin \varphi_6, & \Delta y_{65} &= H_6 - R_0(1 - \cos \varphi_5) - R_0(1 - \cos \varphi_6), \\ z_{65} &= \Delta z_{65} \cos \varphi_5 - \Delta y_{65} \sin \varphi_5, & y_{65} &= \Delta z_{65} \sin \varphi_5 + \Delta y_{65} \cos \varphi_5, \\ \Delta z_{76} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_6 - R_0 \sin \varphi_7, & \Delta y_{76} &= H_6 - R_0(1 - \cos \varphi_6) - R_0(1 - \cos \varphi_7), \\ z_{76} &= \Delta z_{76} \cos \varphi_6 - \Delta y_{76} \sin \varphi_6, & y_{76} &= \Delta z_{76} \sin \varphi_6 + \Delta y_{76} \cos \varphi_6, \\ \Delta z_{87} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_7 - R_0 \sin \varphi_8, & \Delta y_{87} &= H_8 - R_0(1 - \cos \varphi_7) - R_0(1 - \cos \varphi_8), \\ z_{87} &= \Delta z_{87} \cos \varphi_7 - \Delta y_{87} \sin \varphi_7, & y_{87} &= \Delta z_{87} \sin \varphi_7 + \Delta y_{87} \cos \varphi_7, \\ \Delta z_{98} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_8 - R_0 \sin \varphi_9, & \Delta y_{98} &= H_8 - R_0(1 - \cos \varphi_8) - R_0(1 - \cos \varphi_9), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
z_{98} &= \Delta z_{98} \cos \varphi_8 - \Delta y_{98} \sin \varphi_8, & y_{98} &= \Delta z_{98} \sin \varphi_8 + \Delta y_{98} \cos \varphi_8, \\
\Delta z_{109} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_9 - R_0 \sin \varphi_{10}, & \Delta y_{109} &= H_{10} - R_0(1 - \cos \varphi_9) - R_0(1 - \cos \varphi_{10}), \\
z_{109} &= \Delta z_{109} \cos \varphi_9 - \Delta y_{109} \sin \varphi_9, & y_{109} &= \Delta z_{109} \sin \varphi_9 + \Delta y_{109} \cos \varphi_9, \\
\Delta z_{1110} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{10} - R_0 \sin \varphi_{11}, & \Delta y_{1110} &= H_{10} - R_0(1 - \cos \varphi_{10}) - R_0(1 - \cos \varphi_{11}), \\
z_{1110} &= \Delta z_{1110} \cos \varphi_{10} - \Delta y_{1110} \sin \varphi_{10}, & y_{1110} &= \Delta z_{1110} \sin \varphi_{10} + \Delta y_{1110} \cos \varphi_{10}, \\
\Delta z_{1211} &= \frac{t}{2} + R_0 \sin \varphi_{11} - R_0 \sin \varphi_{12}, & \Delta y_{1211} &= H_{12} - R_0(1 - \cos \varphi_{11}) - R_0(1 - \cos \varphi_{12}), \\
z_{1211} &= \Delta z_{1211} \cos \varphi_{11} - \Delta y_{1211} \sin \varphi_{11}, & y_{1211} &= \Delta z_{1211} \sin \varphi_{11} + \Delta y_{1211} \cos \varphi_{11}.
\end{aligned}$$

Проекции главных векторов сил в точках касания листа с роликами:

$$\begin{aligned}
F_{01y} &= N_1 \cos \varphi_1 - F_{n1} \sin \varphi_1, & F_{01z} &= N_1 \sin \varphi_1 + F_{n1} \cos \varphi_1, \\
F_{02y} &= F_{01y} - N_2 \cos \varphi_2 + F_{n2} \sin \varphi_2, & F_{02z} &= F_{01z} + N_2 \sin \varphi_2 + F_{n2} \cos \varphi_2, \\
F_{03y} &= F_{02y} + N_3 \cos \varphi_3 + F_{n3} \sin \varphi_3, & F_{03z} &= F_{02z} - N_3 \sin \varphi_3 + F_{n3} \cos \varphi_3, \\
F_{04y} &= F_{03y} - N_4 \cos \varphi_4 - F_{n4} \sin \varphi_4, & F_{04z} &= F_{03z} - N_4 \sin \varphi_4 + F_{n4} \cos \varphi_4, \\
F_{05y} &= F_{04y} + N_5 \cos \varphi_5 + F_{n5} \sin \varphi_5, & F_{05z} &= F_{04z} - N_5 \sin \varphi_5 + F_{n5} \cos \varphi_5, \\
F_{06y} &= F_{05y} - N_6 \cos \varphi_6 - F_{n6} \sin \varphi_6, & F_{06z} &= F_{05z} - N_6 \sin \varphi_6 + F_{n6} \cos \varphi_6, \\
F_{07y} &= F_{06y} + N_7 \cos \varphi_7 + F_{n7} \sin \varphi_7, & F_{07z} &= F_{06z} - N_7 \sin \varphi_7 + F_{n7} \cos \varphi_7, \\
F_{08y} &= F_{07y} - N_8 \cos \varphi_8 - F_{n8} \sin \varphi_8, & F_{08z} &= F_{07z} - N_8 \sin \varphi_8 + F_{n8} \cos \varphi_8, \\
F_{09y} &= F_{08y} + N_9 \cos \varphi_9 + F_{n9} \sin \varphi_9, & F_{09z} &= F_{08z} - N_9 \sin \varphi_9 + F_{n9} \cos \varphi_9, \\
F_{010y} &= F_{09y} - N_{10} \cos \varphi_{10} - F_{n10} \sin \varphi_{10}, & F_{010z} &= F_{09z} - N_{10} \sin \varphi_{10} + F_{n10} \cos \varphi_{10}.
\end{aligned}$$

Добавки к реакциям сил в точках касания листа с роликами:

$$\begin{aligned}
\Delta N_2 &= -F_{01y} \cos \varphi_2 + F_{01z} \sin \varphi_2, & \Delta F_{n2} &= F_{01y} \sin \varphi_2 + F_{01z} \cos \varphi_2, \\
\Delta N_3 &= F_{02y} \cos \varphi_3 - F_{02z} \sin \varphi_3, & \Delta F_{n3} &= F_{02y} \sin \varphi_3 + F_{02z} \cos \varphi_3, \\
\Delta N_4 &= -F_{03y} \cos \varphi_4 - F_{03z} \sin \varphi_4, & \Delta F_{n4} &= -F_{03y} \sin \varphi_4 + F_{03z} \cos \varphi_4, \\
\Delta N_5 &= F_{04y} \cos \varphi_5 - F_{04z} \sin \varphi_5, & \Delta F_{n5} &= F_{04y} \sin \varphi_5 + F_{04z} \cos \varphi_5, \\
\Delta N_6 &= -F_{05y} \cos \varphi_6 - F_{05z} \sin \varphi_6, & \Delta F_{n6} &= -F_{05y} \sin \varphi_6 + F_{05z} \cos \varphi_6, \\
\Delta N_7 &= F_{06y} \cos \varphi_7 - F_{06z} \sin \varphi_7, & \Delta F_{n7} &= F_{06y} \sin \varphi_7 + F_{06z} \cos \varphi_7, \\
\Delta N_8 &= -F_{07y} \cos \varphi_8 - F_{07z} \sin \varphi_8, & \Delta F_{n8} &= -F_{07y} \sin \varphi_8 + F_{07z} \cos \varphi_8, \\
\Delta N_9 &= F_{08y} \cos \varphi_9 - F_{08z} \sin \varphi_9, & \Delta F_{n9} &= F_{08y} \sin \varphi_9 + F_{08z} \cos \varphi_9, \\
\Delta N_{10} &= -F_{09y} \cos \varphi_{10} - F_{09z} \sin \varphi_{10}, & \Delta F_{n10} &= -F_{09y} \sin \varphi_{10} + F_{09z} \cos \varphi_{10}, \\
\Delta N_{11} &= F_{010y} \cos \varphi_{11} - F_{010z} \sin \varphi_{11}, & \Delta F_{n11} &= F_{010y} \sin \varphi_{11} + F_{010z} \cos \varphi_{11}.
\end{aligned}$$

Нормальные реакции опор рабочих роликов в точках касания с листом:

$$\begin{aligned}
N_1 &= \frac{M_2 - F_{n1} y_{21}}{z_{21}}, & N_2 &= \frac{-M_3 + M_2 - F_{n2} y_{32} - \Delta N_2 z_{32} - \Delta F_{n2} y_{32}}{z_{32}}, \\
N_3 &= \frac{M_4 - M_3 - F_{n3} y_{43} - \Delta N_3 z_{43} - \Delta F_{n3} y_{43}}{z_{43}}, \\
N_4 &= \frac{-M_5 + M_4 - F_{n4} y_{54} - \Delta N_4 z_{54} - \Delta F_{n4} y_{54}}{z_{54}}, \\
N_5 &= \frac{M_6 - M_5 - F_{n5} y_{65} - \Delta N_5 z_{65} - \Delta F_{n5} y_{65}}{z_{65}},
\end{aligned}$$

$$N_6 = \frac{-M_7 + M_6 - F_{п6}y_{76} - \Delta N_6 z_{76} - \Delta F_{п6}y_{76}}{z_{76}},$$

$$N_7 = \frac{M_8 - M_7 - F_{п7}y_{87} - \Delta N_7 z_{87} - \Delta F_{п7}y_{87}}{z_{87}},$$

$$N_8 = \frac{-M_9 + M_8 - F_{п8}y_{98} - \Delta N_8 z_{98} - \Delta F_{п8}y_{98}}{z_{98}},$$

$$N_9 = \frac{M_{10} - M_9 - F_{п9}y_{109} - \Delta N_9 z_{109} - \Delta F_{п9}y_{109}}{z_{109}},$$

$$N_{10} = \frac{-M_{11} + M_{10} - F_{п10}y_{1110} - \Delta N_{10} z_{1110} - \Delta F_{п10}y_{1110}}{z_{1110}},$$

$$N_{11} = \frac{-M_{11} - F_{п11}y_{1211} - \Delta N_{11} z_{1211} - \Delta F_{п11}y_{1211}}{z_{1211}},$$

$$N_{12} = \frac{-M_{11} - F_{п12}(z_{1211} \sin(\varphi_{11} + \varphi_{12}) - y_{1211} \cos(\varphi_{11} + \varphi_{12}))}{z_{1211} \cos(\varphi_{11} + \varphi_{12}) + y_{1211} \sin(\varphi_{11} + \varphi_{12})}.$$

Предлагаемый выше метод вычисления силовых параметров двенадцатироликовой листопрямительной машины при правке поверхностных дефектов листовой стали имеет целью оказать помощь работникам металлургических предприятий в их работе по дальнейшему снижению потерь на отдельных этапах металлургического передела [1–87].

### Литература

1. Мошнин Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах. Технология и оборудование. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.
2. Целиков А.И., Полухин П.И., Гребеник В.М. и др. Машины и агрегаты металлургических заводов. Т. 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. – М.: Металлургия, 1988. – 680 с.
3. Буланов Э.А., Шинкин В.Н. Механика. Вводный курс. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 172 с.
4. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов. Простые и сложные виды деформаций в металлургии. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 307 с.
5. Шинкин В.Н. Теоретическая механика для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2012. – 679 с.
6. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 655 с.
7. Шинкин В.Н. Механика сплошных сред для металлургов. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2014. – 628 с.
8. Шинкин В.Н. Математическая модель правки стальной полосы на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 8 (88). С. 344–349.
9. Шинкин В.Н. Правка толстой стальной полосы на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 9 (89). С. 359–365.
10. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки тонкой стальной полосы на пятнадцатироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 10 (90). С. 361–366.
11. Шинкин В.Н. Холодная правка толстого стального листа на девятироликовой машине фирмы SMS Siemag на металлургическом комплексе стан 5000 // Молодой ученый. 2015. № 11 (91). С. 467–472.
12. Шинкин В.Н. Четырехроликовый режим холодной правки толстого стального листа на пятироликовой листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 12 (92). С. 356–361.
13. Шинкин В.Н. Упругопластическая деформация металлического листа на трехвалковых вальцах // Молодой ученый. 2015. № 13 (93). С. 225–229.
14. Шинкин В.Н. Шестироликовый режим предварительной правки стальной полосы на листопрямительной машине фирмы Fagor Arrasate // Молодой ученый. 2015. № 14 (94). С. 205–211.

15. Шинкин В.Н. Определение критических давлений магистральных газонефтепроводов при частичном несплавлении продольного сварного шва стальных толстостенных труб // Молодой ученый. 2015. № 15 (95). С. 222–227.
16. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб при дефекте раскатной пригар // Молодой ученый. 2015. № 16 (96). С. 261–265.
17. Шинкин В.Н. Дефект перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе // Молодой ученый. 2015. № 17 (97). С. 318–323.
18. Шинкин В.Н. Подгибка кромок стального листа по эвольвенте // Молодой ученый. 2015. № 18 (98). С. 231–237.
19. Шинкин В.Н. Критерий образования гофра при формовке стального листа на кромкогибочном прессе SMS Meer // Молодой ученый. 2015. № 19 (99). С. 238–243.
20. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при экспандировании стальной трубы // Молодой ученый. 2015. № 20 (100). С. 88–93.
21. Шинкин В.Н. Разрушение стальных труб при дефекте «раскатанный пригар с рисккой» // Молодой ученый. 2015. № 22 (102). С. 213–225.
22. Шинкин В.Н. Гидроиспытания стальных труб на прочность на заводе. Труба с «доньшками» // Молодой ученый. 2015. № 23 (103). С. 268–276.
23. Шинкин В.Н. Холодная правка металлической полосы на семироликовой листопрямительной машине // Молодой ученый. 2016. № 3 (107). С. 228–237.
24. Шинкин В.Н. Гофр продольной кромки листа при его формовке на кромкогибочном прессе // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2009. № 6. С. 171–174.
25. Шинкин В.Н., Уандыкова С.К. Гибка стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе при производстве труб большого диаметра // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2009. № 16. С. 110–112.
26. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процесса формовки заготовки для труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 1. С. 54–58.
27. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Формовка листовой заготовки в кромкогибочном прессе и условие возникновения гофра при производстве труб магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 4. С. 14–22.
28. Шинкин В.Н. Математическое моделирование процессов производства труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2011. Т. 4. № 4 (62). С. 69–74.
29. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Упругопластическое формоизменение металла на кромкогибочном прессе при формовке труб большого диаметра // Сталь. 2011. № 6. С. 53–56.
30. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Модель пластического формоизменения кромок листовой заготовки при производстве труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011. № 9. С. 45–49.
31. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Моделирование процессов экспандирования и гидроиспытания труб большого диаметра для магистральных трубопроводов // Производство проката. 2011. № 10. С. 12–19.
32. Шинкин В.Н., Коликов А.П. Технологические расчеты процессов производства труб большого диаметра по технологии SMS Meer // Металлург. 2011. № 11. С. 77–81.
33. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 1. P. 61–66.
34. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Elastoplastic shaping of metal in an edge-ending press in the manufacture of large-diameter pipe // Steel in Translation. 2011. Vol. 41. No. 6. P. 528–531.
35. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении // Производство проката. 2012. № 2. С. 14–16.
36. Шинкин В.Н., Коликов А.П., Мокроусов В.И. Расчет максимальных напряжений в стенке трубы при экспандировании с учетом остаточных напряжений заготовки после трубоформовочного пресса SMS Meer // Производство проката. 2012. № 7. С. 25–29.
37. Шинкин В.Н. Критерий перегиба в обратную сторону свободной части листовой заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer при производстве труб большого диаметра // Производство проката. 2012. № 9. С. 21–26.
38. Шинкин В.Н., Мокроусов В.И. Критерий разрыва труб газонефтепроводов при дефекте

- «раскатной пригар с риской» // Производство проката. 2012. № 12. С. 19–24.
39. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Engineering calculations for processes involved in the production of large-diameter pipes by the SMS Meer technology // Metallurgist. 2012. Vol. 55. Nos. 11–12. P. 833–840.
  40. Шинкин В.Н. Производство труб большого диаметра по схеме JCOE фирмы SMS Meer для магистральных трубопроводов // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 3–1. С. 64–67.
  41. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров кромкогибочного пресса фирмы SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 4–1. С. 114–119.
  42. Шинкин В.Н. Математический критерий возникновения гофра при формовке стальной листовой заготовки на кромкогибочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 5–1. С. 96–99.
  43. Шинкин В.Н. Расчет усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе плоской толстой стальной заготовки при производстве труб большого диаметра // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 6–1. С. 115–118.
  44. Шинкин В.Н. Оценка усилий трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе стальной цилиндрической заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 7–1. С. 74–78.
  45. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Сила давления пуансона трубоформовочного пресса SMS Meer при изгибе частично изогнутой толстой стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 8–1. С. 78–83.
  46. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математический критерий перегиба стальной заготовки на трубоформовочном прессе SMS Meer // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 9–1. С. 73–77.
  47. Шинкин В.Н. Влияние остаточных напряжений на прочность металла при экспандировании стальной заготовки // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 10–1. С. 153–157.
  48. Шинкин В.Н. Гибка стального листа на вальцах трехвалковых // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 252–257.
  49. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Правка толстой стальной полосы на пятироликовой листопрямляющей машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11–1. С. 257–262.
  50. Шинкин В.Н. Расчет кривизны стального листа при холодной правке на одиннадцатироликовой машине // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 246–251.
  51. Шинкин В.Н. Прочностные гидроиспытания стальных труб с заглушками на заводе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 12–2. С. 251–258.
  52. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров семироликовой листопрямляющей машины // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 2–2. С. 134–141.
  53. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 139–145.
  54. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при изгибе // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 3–1. С. 145–151.
  55. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения в поперечном сечении круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 159–165.
  56. Шинкин В.Н. Коэффициент пружинения круглого бруса при кручении // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 4–1. С. 165–171.
  57. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 134–141.
  58. Шинкин В.Н. Правка листа на восьмироликовой машине. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 5–1. С. 141–149.
  59. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 1. Кривизна листа // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 167–174.
  60. Шинкин В.Н. Четырехроликовая машина предварительной правки толстого стального листа. Часть 2. Расчет силовых параметров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6–1. С. 174–181.
  61. Шинкин В.Н., Федотов О.В. Расчет технологических параметров правки стальной горячекатаной



- рулонной полосы на пятироликовой машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2013. № 9. С. 43–48.
62. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет технологических параметров холодной правки стального листа на девятироликовой машине SMS Siemag металлургического комплекса стан 5000 // Производство проката. 2014. № 5. С. 7–15.
  63. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Математическая модель расчета формы трубной заготовки после кромкогибочного прессы SMS Meeg // Евразийский союз ученых. 2014. № 5. Часть 3. С. 112–115.
  64. Шинкин В.Н. Расчет технологических параметров правки стального листа на одиннадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2014. № 8. С. 26–34.
  65. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Расчет формы трубной заготовки при гибке на кромкогибочном и трубоформовочном прессах фирмы SMS Meeg при производстве труб большого диаметра по схеме JCOE // Производство проката. 2014. № 12. С. 13–20.
  66. Шинкин В.Н. Математическая модель правки тонкого стального листа на пятнадцатироликовой листопрямительной машине линии поперечной резки фирмы Fagor Arrasate // Производство проката. 2015. № 1. С. 42–48.
  67. Шинкин В.Н., Барыков А.М. Гибка стального листа на трубоформовочном прессе при производстве труб большого диаметра // Сталь. 2015. № 4. С. 38–42.
  68. Шинкин В.Н. Оценка критических давлений при разрушении стальных труб магистральных газонефтепроводов при несплавлении сварного соединения // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 7–11.
  69. Шинкин В.Н. Математический критерий разрушения стальных толстостенных труб при дефекте раскатной пригар // Мир науки и инноваций. 2015. Т. 5. № 2 (2). С. 57–64.
  70. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 74–84.
  71. Шинкин В.Н. К вопросу об остаточных напряжениях круглого бруса при кручении // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 84–93.
  72. Шинкин В.Н. Оценка остаточных напряжений круглого бруса при изгибе // Мир науки и инноваций. 2016. Т. 5. № 1 (3). С. 101–110.
  73. Шинкин В.Н. Прочность стальных труб при внутреннем давлении // Научные труды SWorld. 2015. Т. 5. № 4 (41). С. 50–58.
  74. Шинкин В.Н. К вопросу о пружинении круглого бруса при изгибе // Научные труды SWorld. 2016. Т. 4. № 1 (42). С. 91–100.
  75. Шинкин В.Н. Геометрия листа при правке на семироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 1–1. С. 131–139.
  76. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом изгибе круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 133–141.
  77. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом изгибе // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2–3. С. 141–149.
  78. Шинкин В.Н. Остаточные напряжения при пластическом кручении круглого бруса // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 127–134.
  79. Шинкин В.Н. Пружинение круглого бруса при пластическом кручении // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 3–3. С. 135–143.
  80. Шинкин В.Н. Вычисление силовых параметров восьмироликовой машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 118–127.
  81. Шинкин В.Н. Кривизна листа при правке на восьмироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 4–4. С. 127–136.
  82. Шинкин В.Н. Кривизна листа при предварительной правке на четырехроликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 137–146.
  83. Шинкин В.Н. Расчет силовых параметров четырехроликовой машины при предварительной правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 5–3. С. 146–154.
  84. Шинкин В.Н. К вопросу о кривизне стального листа при правке на девятироликовой машине // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1. С. 128–138.
  85. Шинкин В.Н. К вопросу о силовых параметрах девятироликовой листопрямительной машины при правке стального листа // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 6–1.

С. 138–146.

86. Shinkin V.N. The mathematical criterion of the origin of the inflection defect under the steel sheet blank's bend on the step-by-step O-forming press by SMS Meer under the manufacturing technique of the thick single-weld tubes for the main pipelines // *Nauka i studia*. 2015. Т. 4. С. 60–76.
87. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1971. – 782 с.