

УДК 621.778.28: 621.774.6

**Федоринов В. А.  
Завгородний А. В.****СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ  
ПРАВКИ ДЛИННОМЕРНОГО СОРТОВОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА  
НА МНОГОРОЛИКОВЫХ МАШИНАХ**

Черная металлургия является одной из основных составляющих промышленно-производственного комплекса Украины. Ее развитие в основном связано с расширением сортамента, повышением качества и снижением себестоимости готового металлопроката, включающего в себя сортовые профили различного типоразмера. Решение указанных выше задач выполняется не только непосредственно с повышением эффективности процесса прокатки, но и делает необходимым совершенствование технологий и оборудования процессов правки готового металлопроката на многороликовых машинах, обеспечивающих такие важнейшие показатели качества, как продольная кривизна в вертикальной и горизонтальной плоскостях, точность результирующих геометрических характеристик поперечных сечений и другие [1–3].

Дальнейшее повышение требований к уровню потребительских свойств, характеризуемых соотношением «сортament – цена – качество», свидетельствует о целесообразности проведения широкого круга дальнейших исследований, направленных на развитие методов расчета и автоматизированного проектирования, разработку конкретных практических рекомендаций и, как следствие, на повышение технико-экономических показателей процессов правки сортового и трубного металлопроката [2].

Целью работы является повышение уровня потребительских свойств при производстве длинномерного сортового металлопроката на основе уточнения методов расчета геометрических характеристик поперечного сечения и разработки системы автоматизированного проектирования процесса правки.

Отличительной особенностью условий реализации процесса правки сортового и трубного металлопроката является наличие довольно сложных геометрических форм не только вдоль, а и поперек оси правки. Структурно математическое моделирование в этом случае может быть основано на конечно-разностном разбиении всего поперечного сечения заготовки на конечное множество выделенных элементарных объемов. Рассмотрим в соответствии с изложенным выше произвольное сечение площадью  $F$  (рис. 1).

Осуществив разбиение всей ширины данного сечения  $B$  на  $n$ -ое конечное множество  $i$ -ых элементарных объемов с шагом  $\Delta Z = B/n$  и представив их в виде элементарных прямоугольников, определим геометрические координаты для каждого из них:

$$Z_{i1} = \Delta Z(i-1); Z_{i2} = Z_{i1} + \Delta Z = \Delta Z \times i; Z_{ic} = (Z_{i1} + Z_{i2})/2 = \Delta Z(i-0,5), \quad (1)$$

где  $Z$  – горизонтальная геометрическая координата, имеющая свое начало в плоскости сопряжения с левой границей рассматриваемого поперечного сечения (рис. 1, а);

$Z_{i1}, Z_{i2}, Z_{ic}$  – геометрические координаты начального, конечного и среднего сечений выделенного  $i$ -ого элементарного объема (рис. 1, а).

Следуя заданным функциональным связям геометрических координат нижнего  $Y_{i1} = F(Z_{ic})$  и верхнего  $Y_{i2} = F(Z_{ic})$  граничных сечений, определим среднюю координату  $Y_{ic}$  и площадь  $F_i$  выделенного  $i$ -ого элементарного объема:

$$Y_{ic} = (Y_{i1} + Y_{i2})/2; \quad F_i = (Y_{i2} - Y_{i1})\Delta Z, \quad (2)$$

где  $Y$  – вертикальная геометрическая координата (рис. 1, а).

Исходя из основных положений теории сопротивления материала [4; 5], геометрические координаты центра тяжести всей фигуры (рис. 1) в этом случае могут быть определены как:

$$Z_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i Z_{ic}}{\sum_{i=1}^n F_i}; \quad Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n F_i Y_{ic}}{\sum_{i=1}^n F_i}. \quad (3)$$

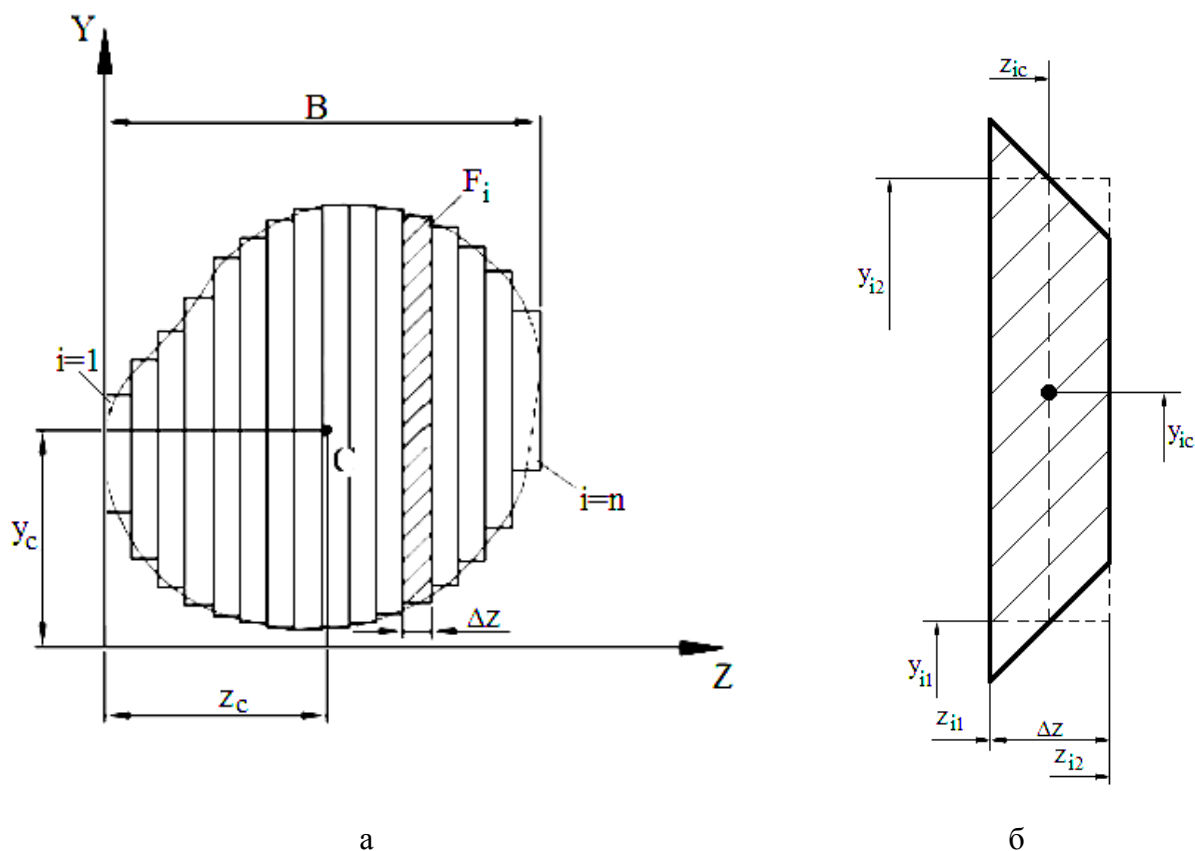


Рис. 1. Расчетные схемы применительно к определению геометрических характеристик поперечных сечений сложнопрофильных металлоизделий

С учетом известных координат  $Z_c$  и  $Y_c$ , в свою очередь, могут быть определены и все остальные геометрические характеристики рассматриваемого поперечного сечения. В частности, моменты инерции по отношению к осям  $Z$  и  $Y$  в этом случае соответствуют:

$$J_z = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(Y_{i2} - Y_{i1}) \Delta Z^3}{12} + F_i (Z_{ic} - Z_c)^2 \right];$$

$$J_y = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{(Y_{i2} - Y_{i1})^3 \Delta Z}{12} + F_i (Y_{ic} - Y_c)^2 \right]. \quad (4)$$

Данный числовой подход можно использовать при разбиении поперечного сечения любой формы.

Основными технологическими параметрами процессов правки сортового металлопроката, подлежащими автоматизированному проектированию, являются настройка рабочих роликов сортоправильной машины. При этом сама постановка задачи в этом случае является, как минимум, двухпараметрической, поскольку настройка в вертикальной  $W_{yi}$  и горизонтальной  $W_{xi}$  плоскостях совместно определяют напряженно-деформированное состояние металла и, как следствие, показатели результирующей кривизны  $\chi_{yocm} > \chi_{zocm}$ .

В качестве исходных данных для автоматизированного проектирования использованы следующие технологические и конструктивные параметры многороликовых сортоправильных машин:

диаметр рабочих роликов  $d$ , шаг их расположения  $t$  и их количество  $n$ , точность настройки перемещения подвижных рабочих роликов, особенности их расположения, возможность регулирования положения входного и выходного рабочих роликов, а также геометрические координаты, характеризующие их взаимное расположение;

геометрические параметры металлопроката, подвергаемого правке, а именно, геометрические характеристики его поперечного сечения и показатели исходной кривизны  $\chi_{y0}$ ,  $\chi_{z0}$ , а также физико-механические свойства его материала;

максимально допустимые показатели результирующей кривизны проката после правки  $[\chi_{yocm}]$ ,  $[\chi_{zocm}]$ , регламентируемые требованиями соответствующих технологических инструкций и стандартов.

Исходя из указанных выше предпосылок, была разработана следующая алгоритмическая последовательность по автоматизированному проектированию технологической настройки многороликовых сортоправильных машин:

в исходном положении и для всего цикла проектирования все нижние ролики расположены в одной горизонтальной плоскости и одной по уровню правки;

верхние рабочие ролики устанавливаются в вертикальной плоскости на сортамент выправляемой продукции;

первый рабочий ролик в вертикальной плоскости остается на месте, а все верхние рабочие ролики, начиная со второго в той же плоскости, опускаются на величину расчетного для первого шага  $k = 1$  итерационной процедуры решения прогиба  $W_{yik|_{k=1}}$ ;

осуществляется численное математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла сортовых профилей, подвергаемых правке с учетом заданных геометрических координат рабочих роликов сортоправильной машины;

в случае если расчетный показатель результирующей продольной кривизны в вертикальной плоскости  $\chi_{yocmk}$  сортового металлопроката превышает допустимый  $[\chi_{yocm}]$ , то верхние ролики смещаются на заданную малую величину, равную точности позиционирования осей рабочих роликов с учетом технологических возможностей нажимного механизма, то есть:

$$W_{yi(k+1)} = W_{yik} + A_{wy} \operatorname{sign} \left\{ \left| \chi_{yocmk} \right| - [\chi_{yocm}] \right\}, \quad (1)$$

где  $k$  – порядковый номер очередного цикла итерационной процедуры решения;

$A_{wy}$  – шаг изменения настройки рабочих роликов сортоправильной машины в вертикальной плоскости;

$\operatorname{sign} \left\{ \left| \chi_{yocmk} \right| - [\chi_{yocm}] \right\}$  – функция знака, соответствующая:

$$\operatorname{sign} \left\{ \left| \chi_{yocmk} \right| - [\chi_{yocm}] \right\} = \begin{cases} 1 & \text{при } \left| \chi_{yocmk} \right| > [\chi_{yocm}] \\ 0 & \text{при } \left| \chi_{yocmk} \right| < [\chi_{yocm}] \end{cases}$$

при выполнении для вертикальной плоскости условия  $\left| \chi_{yocmk} \right| < [\chi_{yocm}]$  с учетом расчетного значения  $\chi_{zocmk}$  и не выполнения условия  $\left| \chi_{zocmk} \right| < [\chi_{zocm}]$  по аналогии с (1) производится корректировка настройки рабочих роликов в горизонтальной плоскости:

$$W_{zi(k+1)} = W_{zik} + A_{wz} \operatorname{sign} \left\{ \left| \chi_{zocmk} \right| - [\chi_{zocm}] \right\}, \quad (2)$$

$A_{wz}$  – шаг изменения настройки рабочих роликов сортоправильной машины в вертикальной плоскости;

$sign\{\chi_{z\ ocmk} | - [\chi_{z\ ocm}]\}$  – функция знака, соответствующая:

$$sign\{\chi_{z\ ocmk} | - [\chi_{z\ ocm}]\} = \begin{cases} 1 & \text{при } |\chi_{z\ ocmk}| > [\chi_{z\ ocm}] \\ 0 & \text{при } |\chi_{z\ ocmk}| < [\chi_{z\ ocm}] \end{cases}$$

по мере изменения настройки рабочих роликов в горизонтальной плоскости повторяется процедура автоматизированного проектирования настройки в вертикальной плоскости, соответствующая алгоритмическому решению (1);

в случае если расчетные показатели результирующей кривизны сортового металлопроката  $\chi_{yocmk} > \chi_{z\ ocmk}$  не превышают соответствующие допустимые значения, процесс автоматизированного проектирования завершается, и данная настройка сортоправильной машины считается приемлемой.

Полученная с учетом изложенного выше блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологических режимов правки на сортоправильных машинах представлена на рис. 2.

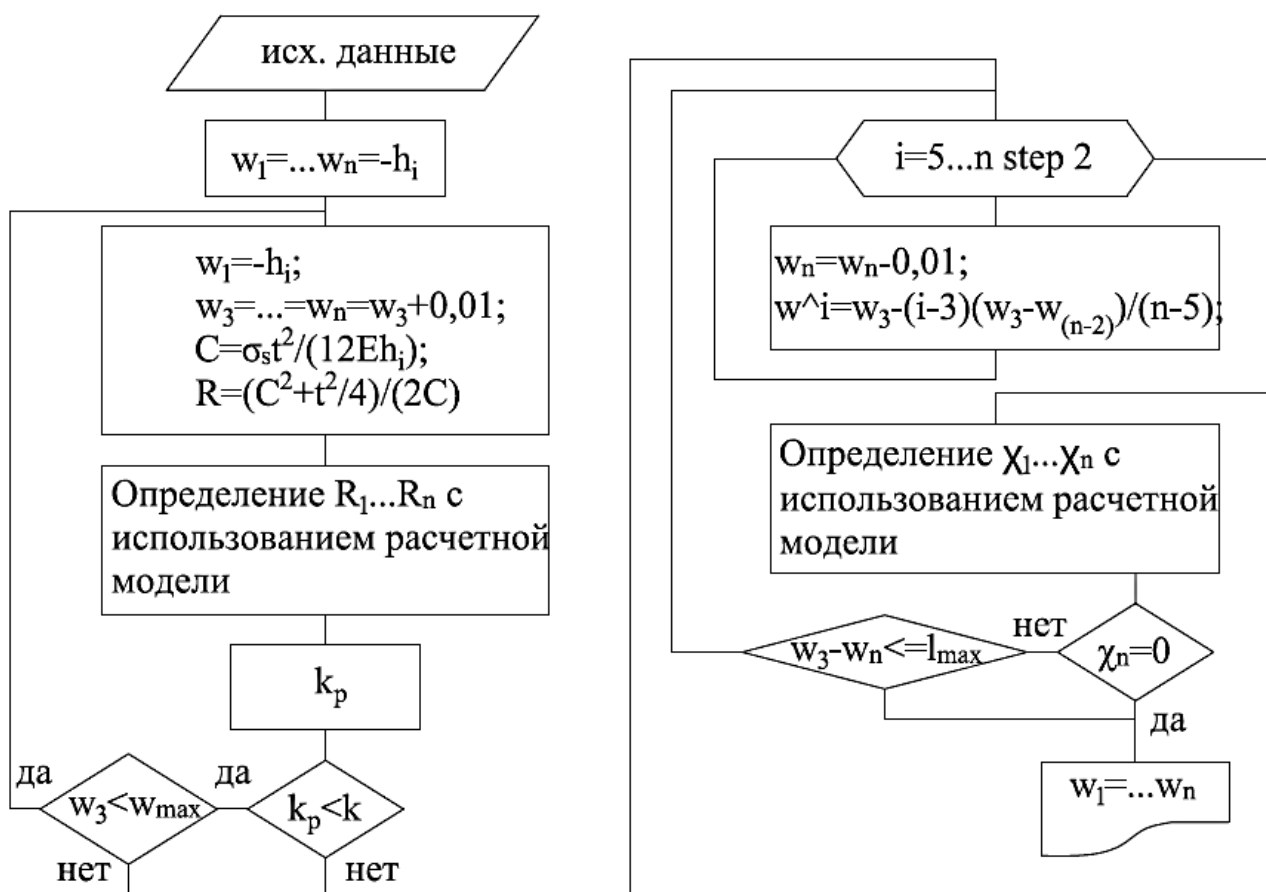


Рис. 2. Укрупненная блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологических режимов правки на сортоправильных машинах

В качестве примера результатов автоматизированного проектирования технологических режимов работы и настройки сортоправильной машины приведена настройка сортоправильной машины 11×320, а в качестве результатов на рис. 3 представлены расчетные значения требуемой величины перекрытия  $W_{yi}$  рабочих роликов, полученные применительно к различному сортаменту.

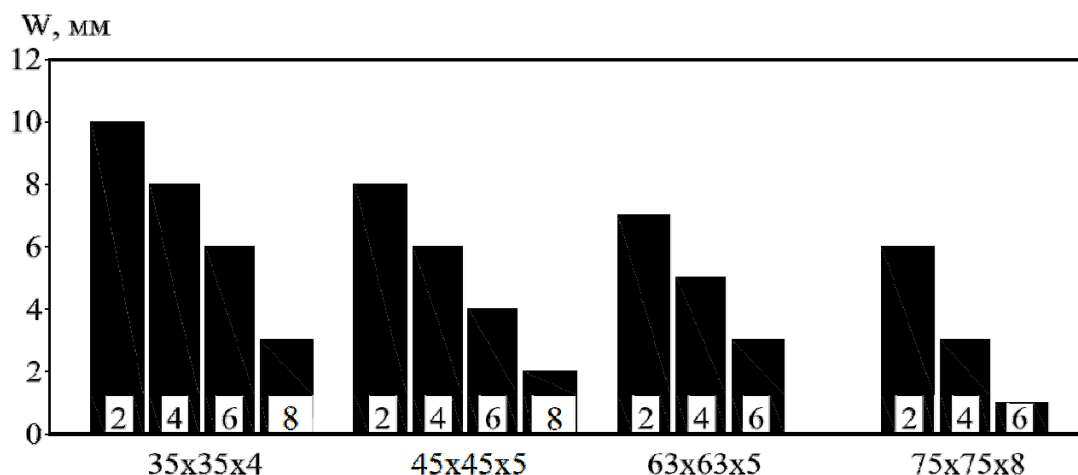


Рис. 3. Расчетные значения эффективной величины перекрытия  $W_{yi}$  рабочих роликов сортоправильной машины 11×320 применительно к правке длинномерных угловых профилей различного типоразмера  $b_1 \times b_2 \times h$  мм

### ВЫВОДЫ

Проведенный теоретический анализ полученного технического решения позволяет решить программно задачу по автоматизированному проектированию технологий и оборудования процесса правки сортового металлопроката. Предложен ряд перспективных технических решений, обеспечивающих повышение качества выправляемых изделий за счет повышения точности параметров настройки оборудования.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коновалов Ю. В. *Справочник прокатчика. Справочное издание в 2 к. К. 1. Производство горячекатаных листов и полос* / Ю. В. Коновалов. – М. : Теплотехник, 2008. – 640 с.
2. Грудев А. П. *Технология прокатного производства : учебник для ВУЗов* / А. П. Грудев, Л. Ф. Машкин, М. И. Ханин. – М. : Металлургия, 1994. – 656 с.
3. Николаев В. О. *Технология виробництва сортового та листового прокату : підручник* / В. О. Ніколаєв, В. Л. Мазур. – Запоріжжя : ЗДІА, 2000. – 257 с.
4. Писаренко Г. С. *Справочник по сопротивлению материалов* / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наукова думка, 1975. – 705 с.
5. Александров А. В. *Сопротивление материалов* / А. В. Александров, В. Ф. Потопов, Б. П. Державин. – М. : Высш. шк., 2009. – 560 с.

### REFERENCES

1. Konovalov Yu. V. *Spravochnik prokatchika. Spravochnoe izdanie v 2 k. K. 1. Proizvodstvo goryachekatanyih listov i polos* / Yu. V. Konovalov. – M. : Teplotehnik, 2008. – 640 s.
2. Grudev A. P. *Tehnologiya prokatchnogo proizvodstva : uchebnyk dlya VUZov* / A. P. Grudev, L. F. Mashkin, M. I. Hanin. – M. : Metallurgiya, 1994. – 656 s.
3. Nikolaev V. O. *Tehnologiya virobnytstva sortovogo ta listovogo prokату : pidruchnyk* / V. O. Nikolaev, V. L. Mazur. – Zaporizhzhya : ZDIA, 2000. – 257 s.
4. Pisarenko G.S. *Spravochnik po soprotivleniyu materialov* / G. S. Pisarenko, A. P. Yakovlev, V. V. Matveev. – K. : Naukova dumka, 1975. – 705 s.
5. Aleksandrov A. V. *Soprotivlenie materialov* / A. V. Aleksandrov, V. F. Potapov, B. P. Derzhavin. – M. : Vyssh. shk., 2009. – 560 s.

Федоринов В. А. – канд. техн. наук, проф. ДГМА

Завгородний А. В. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. АММ ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [amm@dgma.donetsk.ua](mailto:amm@dgma.donetsk.ua)

Статья поступила в редакцию 28.09.2014 г.