

Анализ и развитие метода расчета калибровки рабочей планки станов ХПТР

С. В. Пилипенко¹⁾, В. У. Григоренко¹⁾

¹⁾ *Национальная металлургическая академия Украины, просп. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр, Украина*

Article info:

Paper received:

March 14, 2017

The final version of the paper received:

May 15, 2017

Paper accepted online:

May 30, 2017

Correspondent Author's Address:

44-08@mail.ru

Анализ и развитие существующего метода расчета профиля калиброванной рабочей планки станов холодной пильгерной роликовой прокатки труб с целью обеспечения необходимого распределения энергосиловых параметров вдоль рабочего конуса.

Предложено при построении формы рабочей поверхности планки использовать линии Безье. При использовании для расчетов калибровок опорных планок сплайн-кривой Безье появляется возможность расчета параметров, исходя из обжатия по наружному диаметру, изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер распределения силовых характеристик вдоль конуса деформации. Возможность расчета всех зон планки по одной зависимости позволяет упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ. Сравнение графиков распределения силовых параметров процесса ХПТР вдоль конуса деформации доказывает преимущество предложенного метода. Уменьшение величины обжатия в конце зоны деформации способствует получению труб с меньшей разностенностью (особенно продольной, вызванной наведенной холодным пильгерным процессом волнистостью).

Получил дальнейшее развитие метод расчета деформационных параметров станов ХПТР. Предложено использовать при расчете калибровки рабочей поверхности опорной планки станов ХПТР сплайн-кривую Безье.

Появляется возможность расчета калибровки рабочей поверхности опорной планки станов ХПТР, исходя из обжатия по наружному диаметру, и изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер распределения силовых характеристик процесса вдоль конуса деформации (именно на характер, а не на их величину). Кроме того, есть возможность расчета всех зон планки по одной зависимости, что позволит упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: холодная пильгерная роликовая прокатка, калибровка рабочей планки сплайн-кривая Безье, усилие деформации, точность труб.

1. ВВЕДЕНИЕ

Как правило, на валковых станах ХПТР можно прокатывать трубы с соотношением величины наружного диаметра и толщины стенки (D/S) не более 50–60 [1, 2], а различные отрасли промышленности нуждаются в трубах с $D/S = 100–150$ при D до 120 мм. Для прокатки такого сортамента труб ЦКБММ ЦНИИТМАШ [2–5] были предложены станы роликовой прокатки. В них вместо валков большого диаметра труба деформируется небольшими роликами. На станах ХПТР имеется возможность прокатки особотонкостенных труб с толщиной стенки от 1/100 до 1/500 наружного диаметра. Значительно меньший диаметр рабочих валков (в данном случае используются ролики) снижает силу прокатки и, как производную от этого, – упругую деформацию клетки и роликов. Рабочими инструментами стана ХПТР являются ролик, цилиндрическая оправка и калиброванная планка. Одной из важнейших задач калибровки рабочего инструмента станов ХПТР является расчет профиля калиброванной рабочей

планки [2–4]. От этого в большинстве случаев зависит как распределение энергосиловых параметров вдоль конуса деформации, так и точность труб.

Цель статьи является анализ и развитие существующего метода расчета профиля калиброванной рабочей планки станов холодной пильгерной роликовой прокатки труб для обеспечения необходимого распределения энергосиловых параметров вдоль рабочего конуса.

2. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Анализ исследований

Как говорилось выше, инструментом стана ХПТР являются ролик, оправка и калиброванная планка (рис. 1–3). Они изготавливаются из стали 60С2ХФА или других подобных сталей. Твердость поверхности после термической обработки должна находиться в пределах 50–56 НВ.

В станах ХПТР применяется цилиндрическая оправка (иногда ее делают с малой конусностью) (рис. 2). Диаметр оправки берут равным

внутреннему диаметру трубы (или несколько меньше него). Ролик стана ХПТР (см. рис. 1) имеет ручей диаметром, равным наружному диаметру готовой трубы. Ролики разваливают по радиусу на угол α , реборды роликов скругляются. Согласно уточненной формуле В. А. Вердеревского [2], катающий диаметр рассчитывают по формуле

$$D_k = 2R_{\text{она}} + 0,14d_{\text{пр}}. \quad (1)$$

Исходя из него рассчитывают диаметр цапф (D_2 на рис. 1) и настройки рычажной системы стана. По упрощенной методике диаметр цапфы можно рассчитать исходя из зависимости [2]:

$$D_ц = D_k / 1,43. \quad (2)$$

Обжатие заготовки в станах ХПТР осуществляется благодаря тому, что ролик своими цапфами катится по поверхности опорной планки, высота которой меняется подобно развертке гребня калибра стана ХПТР (рис. 4).

На планке можно различить следующие участки (см. рис. 3): участок подачи-поворота ($L_{\text{пн}}$, рис. 3); участок редуцирования ($L_{\text{ред}}$); участок обжатия ($L_{\text{обж}}$);

участок калибровки ($L_{\text{кал}}$); участок обратного конуса (далее по планке от $X_{\text{кал}}$).

Общую длину рабочей планки определяют по формуле [2]:

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{кар}} \left(1 - \frac{L_0}{L_1} \right), \quad (3)$$

где $L_{\text{кар}}$ – длина хода каретки согласно паспорту стана; L_0 – длина верхнего плеча кулисы; L_1 – длина нижнего плеча кулисы.

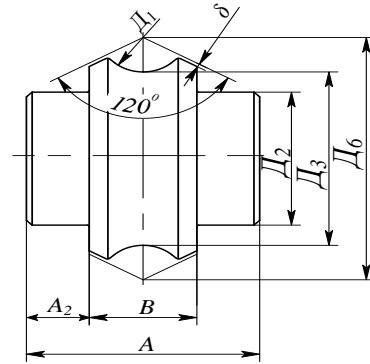


Рисунок 1 – Ролик стана ХПТР

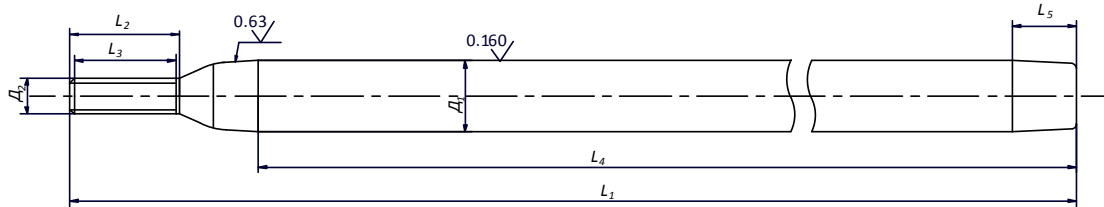


Рисунок 2 – Оправка стана ХПТР

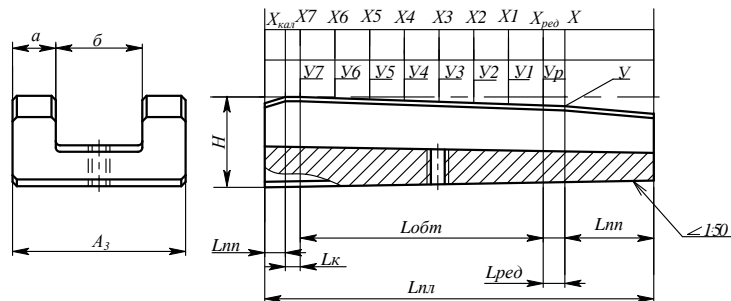


Рисунок 3 – Планка стана ХПТР

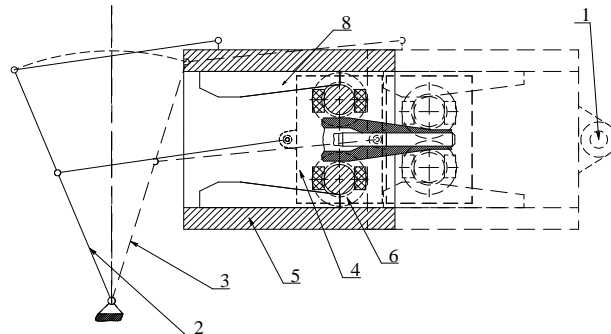


Рисунок 4 – Схема, показывающая совместное движение корпуса с планками и сепаратора: 1 – место крепления тяги привода; 2, 3 – кулиса в положении подачи и в конце хода клетки; 4 – сепаратор; 5 – корпус в сборе; 6 – ролик; 7 – калиброванная опорная планка

На данный момент существует следующий метод расчета калибровки рабочих планок станов ХПТР.

Исходя из исходных данных [2–4]:

– диаметр заготовки и толщина стенки заготовки (D_3, S_3);

– диаметр готовой трубы и толщина стенки готовой трубы (D_T, S_T);

– ход каретки общий ($L_{кар}$);

– ход каретки по подаче и повороту ($L_{кар.ПП}$);

– максимальное отношение (D_k/D_u)_{max};

– произведение подачи на вытяжку ($m\mu$) и др.

Далее выполняется расчет приведенных ниже параметров.

Рабочая длина опорной планки:

$$L_{p.пл.} = \frac{L_{кар}}{1 + \left(\frac{D_k}{D_u}\right)_{max}}. \quad (4)$$

Длина участка подачи и поворота:

$$L_{p.пл.} = \frac{L_{кар.ПП}}{\left(1 + \left(1 + \left(\frac{D_k}{D_u}\right)_{max}\right)\right)}. \quad (5)$$

Длина калибровочного участка:

$$L_k = (4-5)m\mu \frac{D_k}{D_u}. \quad (6)$$

Длина обжимного участка:

$$L_{обм} = L_{p.пл.} - (L_n + L_{ред} + L_k). \quad (7)$$

Суммарный обжим по стенке (вытяжка):

$$\mu_s = \frac{S_3}{S_m}, \quad (8)$$

где S_m – толщина стенки в конце зоны редуцирования.

Обжимной участок разбиваем на несколько контрольных сечений (как правило, равных по длине).

Определяем толщину стенки в сечениях:

$$S_i = \frac{S_m}{\frac{\mu_i - I}{I - e^n} \left(1 - e^{-n \frac{x_i}{L_{обм}}}\right)}, \quad (9)$$

где $n = 0,62-0,80$.

Снижение высоты планки по ее длине (контур рабочей поверхности, рис. 5) определяют исходя из распределения толщины стенки вдоль зоны обжатия конуса деформации (например, по формуле Шевакина):

$$y_i = S_i - S_m, \quad (10)$$

где S_i - толщина стенки в сечении.

По полученным расчетным данным строят профиль рабочей поверхности планки. Поверхность калибровочного участка выполняют с «обратным склоном».

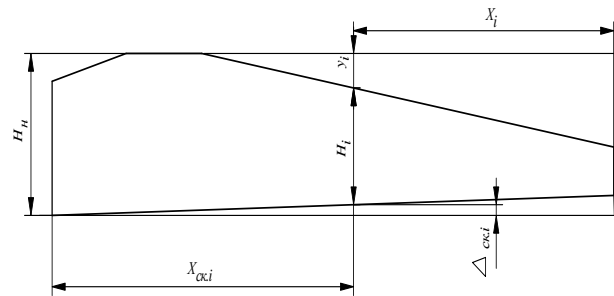


Рисунок 5 – Схема для расчета калибровки планки стана ХПТР

Снижение высоты планки по ее длине через конусность опорной поверхности (подошвы):

$$\Delta_{ски.} = X_{ски.} \cdot z, \quad (11)$$

где $z = 1/50$ или $1/40$ уклона подошвы согласно конструкции клетки стана.

Высота планки в сечении

$$\Delta_{ски.} = H_n - \Delta_{ски.} - y_i. \quad (12)$$

Высоту подставок для шлифовки рабочей поверхности планки определяют по формуле

$$B_i = \frac{y_i E_0}{X_i} + B_0, \quad (13)$$

где B_i – высота подставки; y_i – разница высот начала и конца участка; E_0 – расстояние от оси поворота до планки; X – длина участка на планке; B – высота нулевой подставки для получения уклона 1:50 (или 1:40) подошвы по всей длине планки.

2.2. Выделение нерешенного

Из анализа основных шагов существующего метода расчета параметров рабочего инструмента станом ХПТР можно сделать вывод, что основные деформационные параметры (такие как распределение величины обжатия по площади поперечного сечения трубы вдоль конуса деформации и в мгновенном очаге деформации) зависят не только от перепадов наружного диаметра, но и от величины обжатия по толщине стенки. С изменением последнего параметра часто возникает необходимость пересчета калибровки планки. С использованием при калибровке сплайн-кривой Безье [4] появляется возможность расчета параметров, исходя из обжатия по наружному диаметру, и изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер распределения силовых характеристик процесса вдоль конуса деформации (именно на характер, а не на их величину). Кроме того, есть возможность расчета всех зон планки по одной зависимости, что позволит упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ.

2.3. Основной материал

Расчет параметров процесса холодной пильгерной роликовой прокатки труб с использованием кривых Безье включает следующие шаги:

Расчет относительной координаты сечения (расстояние между сечениями равно константе):

$$Bk_i = \frac{l}{n_i}, \quad (14)$$

где n_i – номер сечения.

Абсолютный перепад по радиусу вдоль рабочей зоны планки

$$\Delta R_i = R_z - R_{mp}, \quad (15)$$

где R_z – радиус заготовки; R_{mp} – радиус готовой трубы.

Расчет абсолютного перепада высоты планки в контрольных сечениях по одной из формул:

$$y_i = \frac{\Delta R_i (1-a)(1-Bk_i)^2 + 2\Delta R_i a(1-Bk_i)Bk_i + (\Delta R_i \cdot u)(1-a)(Bk_i)^2}{(1-a)(1-Bk_i)^2 + 2a(1-Bk_i)Bk_i + (1-a)(Bk_i)^2}, \quad (16)$$

где $a = 0,40-0,75$, $u = 0,05-0,15$ – управляющие коэффициенты, или

$$y_i = \frac{\Delta R_i a_0 (1-Bk_i)^2 + 2\Delta R_i a_1 (1-Bk_i)Bk_i + (\Delta R_i \cdot u)_2 a_2 (Bk_i)^2}{a_0 (1-Bk_i)^2 + 2a_1 (1-Bk_i)Bk_i + a_2 (Bk_i)^2}, \quad (17)$$

где a_0, a_1, a_2 – управляющие коэффициенты.

Расчет радиуса рабочего конуса в контрольных сечениях

$$Rk_i = R_{mp} + y_i - 0,5\Delta_i. \quad (18)$$

где Δ_i – упругая деформация клетки в сечении.

Расчет толщины стенки в контрольных сечениях

зоны обжатия:

$$S_i = Rk_i - R_{опр}, \quad (19)$$

где $R_{опр}$ – радиус оправки.

На рисунке 6 показана нормаль для изготовления рабочей планки стана ХПТР 8-15 (сплав G-2, маршрут 15×2,4 – 12×1,5 мм), рассчитанная с использованием кривых Безье.

Исходя из полученных параметров деформационного инструмента, по известным методикам [2] были рассчитаны силовые параметры процесса деформации трубы из сплава Gr 2. Как видно из графика (рис. 7) (на графике сечение 1 – конец зоны обжатия, 7 – начало), сила прокатки вдоль прямого движения клетки уменьшается на обеих кривых, но уменьшение в случае расчета параметров обжатия по развитому методу более интенсивно.

Сравнение графиков распределения осевой силы (рис. 8) показывает, что в случае расчета параметров рабочей планки по стандартному методу величина осевой силы больше, чем в случае расчета параметров рабочей планки по развитому методу, различаются и характеры её распределения. В первом случае осевая сила непрерывно падает, во втором – сначала растет, затем наблюдается интенсивное её падение.

Сравнение форм рабочих поверхностей рабочих планок показывает, что в случае расчета параметров рабочей планки по развитому методу наблюдаются более интенсивные относительные перепады высот планки в начальных сечениях в отличие от планки, рассчитанной по стандартному методу. В конце зоны деформации величина перепадов меньше, что способствует получению труб с меньшей разностенностью [1-2] (особенно продольной, вызванной волнистостью, наведенной холодным пильгерным процессом).

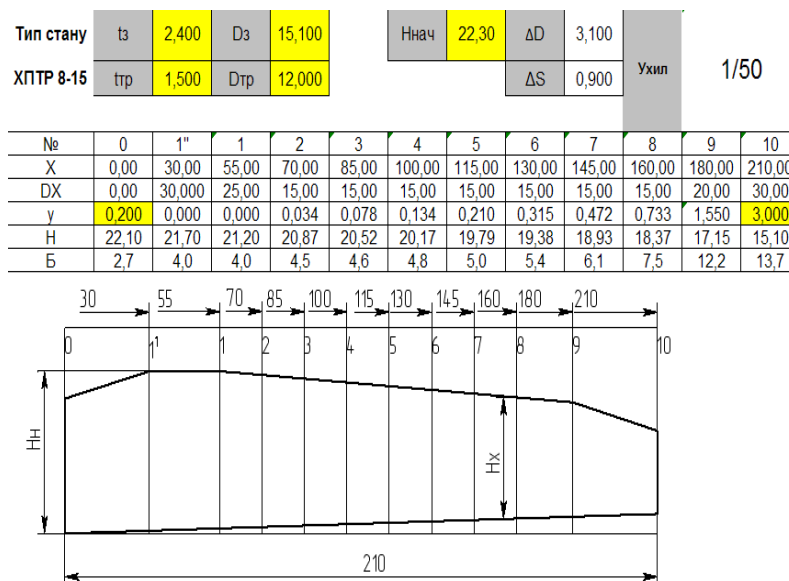


Рисунок 6 – Нормаль для изготовления рабочей планки стана ХПТР 8-15 (сплав Gr-2, маршрут 15×2,4 – 12×1,5 мм)

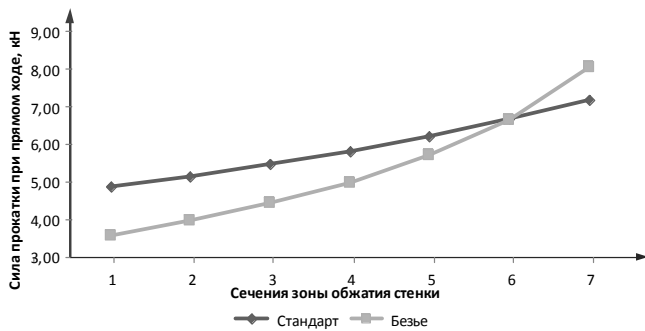


Рисунок 7 – Сравнительный график силы прокатки при прокатке трубы в стане ХПТР 8–15 (сплав Gr 2, маршрут 15×2,4 – 12×1,5 мм) с использованием рабочих планок, рассчитанных по стандартному и развитому методам (сечения против прямого движения клетки)

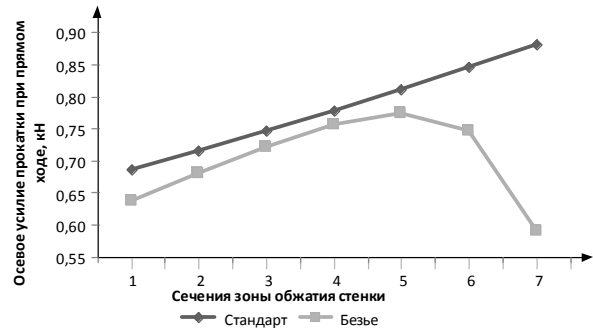


Рисунок 8 – Сравнительный график осевой силы при прокатке трубы в стане ХПТР 8–15 (сплав Gr 2, маршрут 15×2,4 – 12×1,5 мм) с применением рабочих планок, рассчитанных по стандартному и развитому методам (сечения против прямого движения клетки)

3. ВЫВОДЫ

При использовании для расчетов калибровок опорных планок сплайн-кривой Безье появляется возможность расчета параметров, исходя из обжатия по наружному диаметру, изменение параметров обжатия по толщине стенки не будет значительно влиять на характер распределения силовых характери-

стик вдоль конуса деформации (именно на характер, а не на их величину). Возможность расчета всех зон планки по одной зависимости позволяет упростить процесс ее изготовления на станках с ЧПУ. Сравнение графиков распределения силовых параметров процесса ХПТР вдоль конуса деформации доказывает преимущество предложенного метода.

Analysis and development of the method for calculating calibration of the working plank in the cold tube roller rolling mills

S. V. Pilipenko¹⁾, V. U. Grigorenko¹⁾

¹⁾ National Metallurgical Academy of Ukraine, 4 Gagarin Av., 49600, Dnipro, Ukraine

Analysis and development of the existing method of calculation of the calibrated profile of the working strips mills CTRR roller cold rolling pipe to ensure the required distribution of energy-power parameters along the cone.

In presented paper, which has for aim the development of existing method for calculating the profile of calibrated working plank in the cold tube roller rolling mills, the analysis had been made and it was proposed to use Besier-lines while building the the profile of the plank working surface. It was established that the use of Besier spline-curve for calculating the calibration of supporting planks creates the possibility to calculate the parameters proceeding from reduction over the external diameter. The proposed method for calculating deformation parameters in CTRR mills is the result of development of existing method and as such shows the scientific novelty. Comparison of the plots for distribution of the force parameters of the CTRR process along the cone of deformation presents as evidence the advantage of the method to be proposed. The decrease of reduction value at the end of deformation zone favors the manufacture of tubes with lesser wall thickness deviation (especially longitudinal one, caused with waviness induced by the cold pilgering process).

Joined the further development of the method of calculating the deformation parameters CTRR. It is proposed for the calculation of the calibration work surface support bracket mills CTRR to use a spline Bezier.

The practical significance of the proposed method consists in the fact that calculation of all zones of the plank by means of one dependence allows simplifying the process of manufacturing the latter in machines with programmed numerical control. In this case the change of reduction parameters over the thickness of the wall will not exert the considerable influence on the character of the force parameters (the character and not the value) distribution along the cone of deformation.

Keywords: cold pilgering roller rolling, calibration (sizing) of the working plank, Besier spline-curve, deformation force, precision of tubes.

Аналіз і розвиток методу розрахунку калібрування робочої планки станів ХПТР

С. В. Пилипенко¹⁾, В. У. Григоренко¹⁾

¹⁾ Національна металургійна академія, просп. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпро, Україна

Аналіз та розвиток існуючого методу розрахунку профілю каліброваної робочої планки станів холодного пільгерного роликowego прокатування труб із метою забезпечення необхідного розподілу енергосилових параметрів уздовж робочого конуса.

Запропоновано під час побудови форми робочої поверхні планки використовувати лінії Безье При використанні для розрахунків калібрувань опорних планок сплайн-кривої Безье виникає можливість розрахунку параметрів, виходячи з обтиску по зовнішньому діаметру, зміна параметрів обтиску по товщині стінки не буде значно впливати на характер розподілу силових характеристик уздовж конуса деформації. Можливість розрахунку всіх зон планки за однією залежністю дозволяє спростити процес її виготовлення на верстатах із ЧПК. Порівняння графіків розподілу силових параметрів процесу ХПТР уздовж конуса деформації доводить перевагу запропонованого методу. Зменшення величини обтиску наприкінці зони деформації сприяє одержанню труб з меншою різностінністю (особливо поздовжньою, викликаною наведеною холодним пільгерним процесом хвилястістю).

Набув подальшого розвитку метод розрахунку деформаційних параметрів станів ХПТР. Запропоновано при розрахунку калібрування робочої поверхні опорної планки станів ХПТР використовувати сплайн-криву Безье.

З'являється можливість розрахунку калібрування робочої поверхні опорної планки станів ХПТР, виходячи з обтиску по зовнішньому діаметру, і зміна параметрів обтиску по товщині стінки не буде значно впливати на характер розподілу силових характеристик процесу вздовж конуса деформації (саме на характер, а не на їх величину). Крім того, є можливість розрахунку усіх зон планки за однією залежністю, що дозволить спростити процес її виготовлення на верстатах із ЧПК.

Ключові слова: холодне пільгерне роликowego прокатування, калібрування робочої планки, сплайн-крива Безье, зусилля деформації, точність труб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шевакин Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю. Ф. Шевакин. – Москва : Металлургиздат, 1963. – 269 с.
2. Вердеревский В. А. Роликовые станы холодной прокатки труб / В. А. Вердеревский. – Москва : Металлургия, 1992. – 236 с.
3. Пилипенко С. В. Метод расчета параметров настройки рычажной системы станом ХПТР / С. В. Пилипенко, И. В. Маркевич // Сталь. – 2015. – № 12. – С. 42–44.
4. Пилипенко С. В. Развитие метода расчета параметров процесса холодной прокатки труб на станах ХПТ и ХПТР с использованием линий Безье при разработке продольного профиля рабочего конуса деформации / С. В. Пилипенко, В. У. Григоренко // Системні технології. – 2011. – № 4 (75). – С. 35–40.

REFERENCES

1. Shevakin Yu. F. (1963). Kalibrovka i usiliya pri kholodnoj prokatke trub. *Moscow, Metallurgizdat* [in Russian].
2. Verderevskij V. A. (1992). Rolikovyye stany kholodnoj prokatki trub. *Moscow, Metallurgiya* [in Russian].
3. Pilipenko S. V., Markevich I. V. (2015). Metod rascheta parametrov nastroyki rycheznoj sistemy stanom KHPTR. *Stal*, 42–44 [in Russian].
4. Pilipenko S. V., Grigorenko V. U. (2011). Razvitiye metoda rascheta parametrov protzessa kholodnoj prokatki trub na stanakh KHPТ i KHPTR s ispolzovaniyem linij Beziye pri razrabotke prodolnogo profilya rabocheho konusa deformatzii. *Sistemni tekhnologii*, 4 (75), 35–40 [in Russian].