



## Метод расчета параметров настройки станов холодной пильгерной прокатки труб, в приводе которых используется рычажная система

С. В. Пилипенко<sup>1)</sup>, И. В. Маркевич<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup> *Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, Днепрпетровск, Украина*

### Article info:

Paper received:

26 June 2014

The final version of the paper received:

11 September 2014

Paper accepted online:

07 November 2014

### Correspondent Author's Address:

<sup>1), 2)</sup> 44-08@mail.ru

В последнее время приводы клетей станов холодной пильгерной прокатки с применением рычажной системы получили своё дальнейшее развитие. В частности, такие конструкции клетей стали применяться не только в станах холодной пильгерной роликовой прокатки труб, но и в станах холодной пильгерной валковой прокатки для прокатки труб большего диаметра. Исходя из особенностей деформации труб в этих станах, правильный выбор катающего радиуса является важной проблемой. От этого зависят и кинематические, и силовые параметры процесса. При этом многие вопросы остаются до конца не открытыми. Исходя из этого, дальнейшее развитие вопросов теории, касающихся этого направления, является актуальным на данный момент.

В статье рассмотрены основные, существующие на сегодня зависимости, позволяющие рассчитать правильные параметры настройки рычажной системы станов холодной пильгерной роликовой прокатки, выбора катающего радиуса и радиуса цапф роликов холодной пильгерной роликовой прокатки труб. Рассмотрено влияние рассогласования настройки рычажной системы станов холодной пильгерной роликовой прокатки на изменение величины катающего радиуса вдоль конуса деформации. Для этого была выведена зависимость изменения величины катающего радиуса вдоль конуса деформации от величины плеча ОС рычажной системы. Проведенные теоретические исследования показали, что в станах такой конструкции с помощью настроек рычажной системы возможно добиться необходимого изменения величины катающего радиуса вдоль конуса деформации.

Результаты расчетов проверены в ходе практики настроек станов холодной пильгерной роликовой прокатки в условиях современного трубопрокатного цеха, в ходе прокаток промышленных партий труб. Используя описанный метод, возможно создать наиболее благоприятные кинематические условия деформации вдоль всего конуса деформации станов холодной пильгерной валковой прокатки труб.

**Ключевые слова:** холодная пильгерная прокатка, осевые усилия, кинематические условия деформации.

## 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Холодная пильгерная прокатка труб – сложный процесс ОМД. Он связан с рядом таких факторов, как замкнутость прокатываемого профиля, необходимостью использования подвижной клетки, движущейся вдоль неподвижно зажатой заготовки, очаг деформации, непрерывно изменяющийся, и пр. [1] (рис. 1). В настоящее время широко используются два типа таких станов: станы холодной пильгерной валковой прокатки (ХПВ) и станы холодной пильгерной роликовой прокатки (ХПР), рис. 2).

Подвижная клетя обеих типов станов приводится от кривошипно-шатунного механизма. Валки станов, в которых используется процесс ХПВ, приводятся во вращение от ведущих шестерен, катящихся по зубчатой рейке. Кинематические условия в данном процессе деформации задаются величинами диаметров ведущей шестерни и бочки калибра.

Клети станов типа ХПР имеют две взаимопереключающиеся части: корпус, приводящийся в движение от кривошипно-шатунного механизма, и сепаратор, увлекаемый за собой кулисным механизмом, связывающим его с корпусом. Тут кинематические условия деформации задаются величинами диаметров цапф роликов (в общем случае), диаметром бочки ролика и параметрами настройки кулисного механизма.

В последнее время появились станы холодной прокатки труб типа ХПР 380-8, ХПР 450 и др. В их конструкции используется кулисный механизм. Эти станы позволяют вести процесс прокатки с переменной величиной принудительного катающего радиуса вдоль конуса деформации. Переменная величина принудительного катающего радиуса позволяет нивелировать осевые усилия, если он будет равен естественному катающему радиусу во всех сечениях вдоль конуса деформации [2, 3].

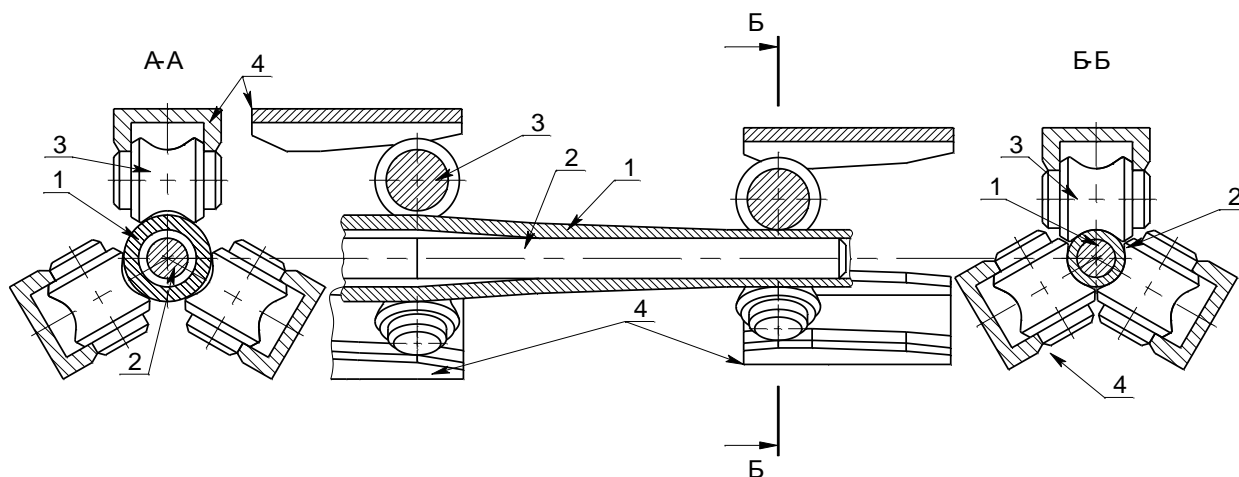


Рис. 1. Схема деформации трубы в стане ХПТР: 1 – труба; 2 – оправка; 3 – ролик; 4 – калиброванная опорная планка

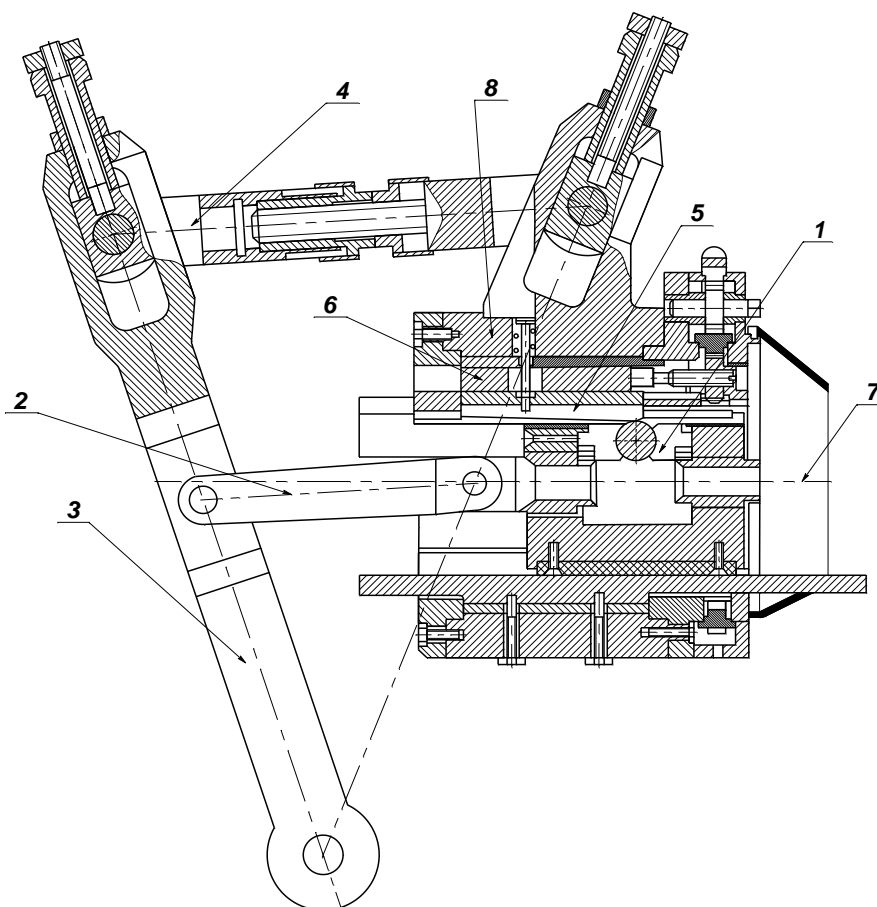


Рис. 2. Клеть стана ХПТР в разрезе: 1 – сепаратор; 2 – тяга («серьга»); 3 – кулиса; 4 – тяга; 5 – калиброванная опорная планка; 6 – клин; 7 – линия прокатки; 8 – корпус

## 2. АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

На рисунке 3 показано схему кулисного механизма стана ХПТР. Из рисунка видно, что система представляет собой дезаксиальный кривошипно-шатунный механизм. Для него справедливо [4]:

$$V_{корн} = \frac{OB \cdot \omega_2 \cdot \sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}. \quad (1)$$

Скорость поступательного движения роликов при

прокатке зависит от скорости движения рабочей клетки и отношения катающего радиуса к радиусу цапф [1]:

$$V_{рол} = \frac{V_{корн}}{1 + R_y / R_k}, \quad (2)$$

где  $R_y$  – радиус цапф ролика;  $R_k$  – катающий радиус.



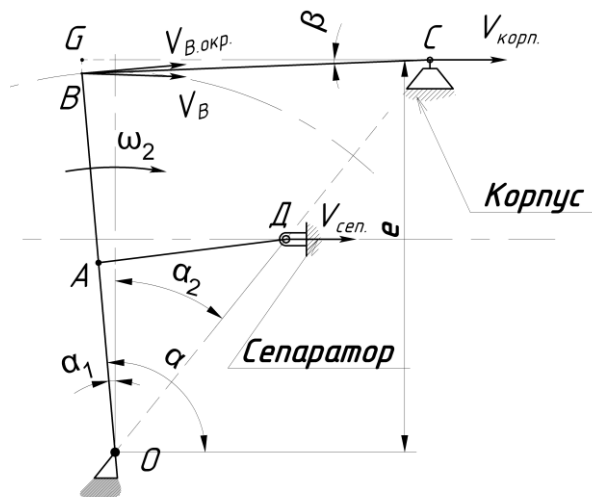


Рис. 3. Рычажная система стана ХПТР

Как правило, станы ХПТР имеют постоянную величину одного из размеров кулисы  $OB$  (либо  $OA$ , либо  $AB$ ). Настройка кулисы определяется по формуле

$$OA = \frac{OB}{R_y \setminus R_k + 1} \quad (3)$$

Катающий радиус можно определить по упрощенной формуле:

$$R_k = R_i - k \cdot R_d, \quad (4)$$

где  $k = 0,14 - 0,17$  [5];  $R_i$  – идеальный радиус ролика;  $R_d$  – радиус дна ручья ролика.

Величина плеча  $BC$ , а также плеча  $OC$  регулируется исходя из подобия треугольников  $OBC$  и  $OAD$  с целью сохранения постоянства скоростей корпуса и сепаратора. Между скоростью движения сепаратора, скоростью движения корпуса, катающим радиусом и радиусом цапф есть зависимость (см. рис. 4):

$$\frac{R_{кx}}{R_{кx} + R_y} = \frac{V_{сеп.}}{V_{корп.}} \quad (5)$$

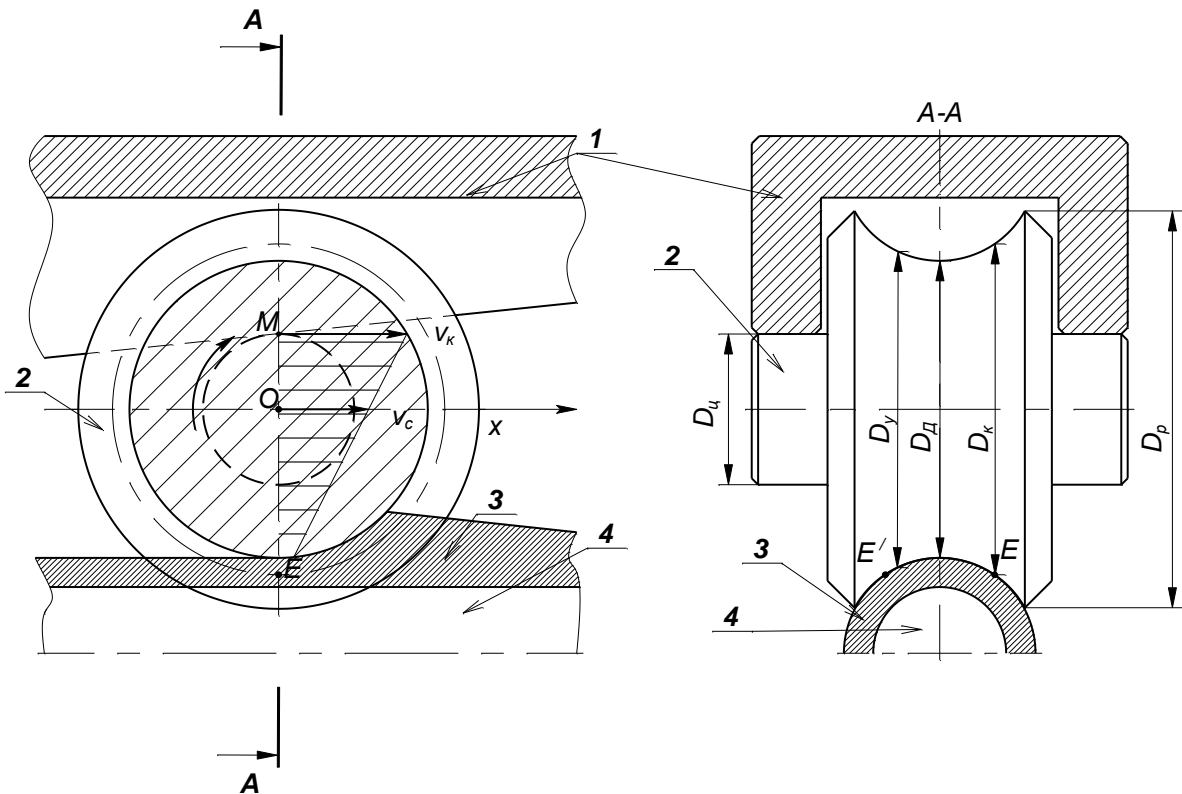


Рис. 4. Кинематика рабочего ролика стана ХПТР: 1 – калиброванная опорная планка; 2 – ролик; 3 – труба; 4 – оправка [5]

### 3. НЕРЕШЁННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что рассогласование настройки плеч ОС и ВС приводит к рассогласованию скоростей движения сепаратора и корпуса. Характер влияния данного рассогласования на изменение величины принудительного катающего радиуса недостаточно исследован. Учитывая то, что конструкция клетки станов холодной пильгерной прокатки с использованием кулисного механизма находит свое дальнейшее развитие, решение данного вопроса является актуальной проблемой.

### 4. ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Целями данной статьи являются теоретическое исследование влияния настройки рычажной системы станов ХПТР на изменение катающего радиуса, проверка на практике полученных зависимостей при расчете настроек станов ХПТР в заводских условиях.

### 5. ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения зависимости изменения величины катающего радиуса от величины плеча ОС представим формулу (1) в виде

$$\omega_2 = \frac{V_{\text{корп}} \cdot \cos \beta}{OB \cdot \sin(\alpha + \beta)}. \quad (6)$$

Из рисунка 1 видно, что окружная скорость точки А кулисы равна

$$V_{A, \text{окр}} = OA \cdot \omega_2. \quad (7)$$

Объединяя (6) и (7), получаем

$$V_{A, \text{окр}} = OA \cdot \frac{V_{\text{корп}} \cdot \cos \beta}{OB \cdot \sin(\alpha + \beta)}. \quad (8)$$

Из анализа рисунка 1 также можно сделать вывод, что

$$V_{\text{цен}} = V_{A, \text{окр}} \cdot \cos \alpha_1. \quad (9)$$

Объединяя (8) и (9), получаем

$$V_{\text{цен}} = \frac{OA \cdot V_{\text{корп}} \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha_1}{OB \cdot \sin(\alpha + \beta)}. \quad (10)$$

Вводим переменную

$$K_{\text{неп}} = \frac{\cos \beta \cdot \cos \alpha_1}{\sin(\alpha + \beta)}.$$

Тогда (10) выглядит

$$V_{\text{цен}} = \frac{OA}{OB} \cdot V_{\text{корп}} \cdot K_{\text{неп}}. \quad (11)$$

Найдем значение угла  $\beta$  (см. рис. 1):

$$\sin \beta = \frac{BG}{BC}. \quad (12)$$

$$BG = OB \cdot \cos \alpha_1 - e. \quad (13)$$

Эксцентриситет кулисного механизма (эта величина является постоянной вдоль конуса деформации для каждой отдельной величины настройки плеча ОС) можно найти из формулы (см. рис. 1):

$$e = OC \cdot \cos \alpha_2. \quad (14)$$

Из этого угол  $\beta$  равен

$$\beta = \arcsin\left(\frac{e - OB \cdot \cos \alpha_1}{BC}\right). \quad (15)$$

Таким образом, величина плеча ОС будет учитываться через величину угла  $\beta$ . По сути дела, мы отслеживаем влияние рассогласования величин углов  $\alpha$  и  $\beta$  на величину принудительного катающего радиуса.

Введем в формулу (11) величину катающего радиуса, для этого представим (5) в виде

$$R_{\text{кx}} = \frac{V_{\text{цен}} \cdot R_{\text{ц}}}{(V_{\text{корп}} - V_{\text{цен}})}. \quad (16)$$

Подставляем (11) в (16), получаем формулу, позволяющую определить зависимость изменения величины катающего радиуса от величины плеча ОС кулисного механизма стана ХПТР:

$$R_{\text{кx}} = \frac{\frac{OA}{OB} \cdot V_{\text{корп}} \cdot K_{\text{неп}} \cdot R_{\text{ц}}}{\left(V_{\text{корп}} - \frac{OA}{OB} \cdot V_{\text{корп}} \cdot K_{\text{неп}}\right)}. \quad (17)$$

После ряда преобразований формула (17) предлагается к использованию в виде:

$$R_{\text{кx}} = \frac{OA \cdot K_{\text{неп}} \cdot R_{\text{ц}}}{(OB - OA \cdot K_{\text{неп}})}, \quad (18)$$

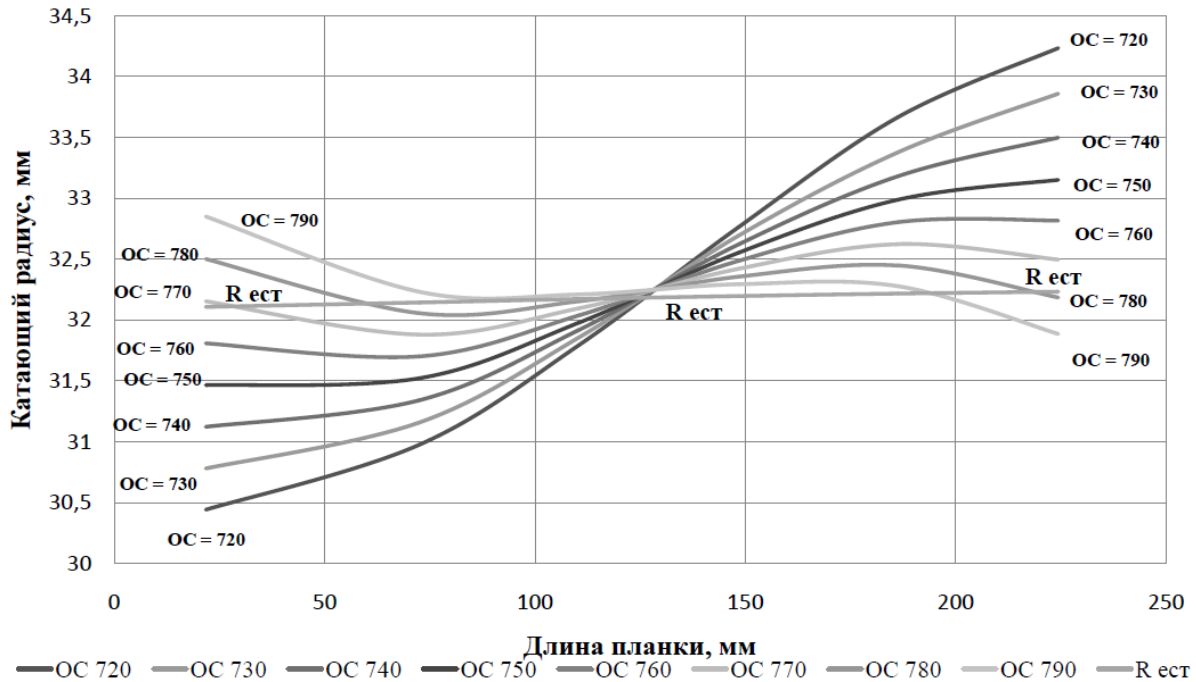
где

$$K_{\text{неп}} = \frac{\cos \beta \cdot \cos \alpha_1}{\sin(\alpha + \beta)},$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{e - OB \cdot \cos \alpha_1}{BC}\right),$$

$$e = OC \cdot \cos \alpha_2.$$

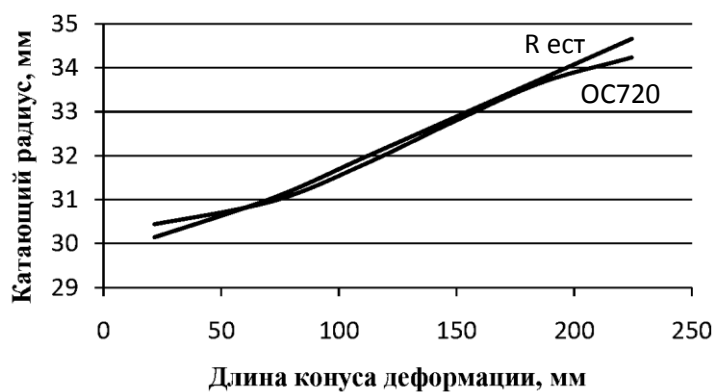
Исследуем изменение величины катающего радиуса от величины плеча ОС на примере прокатки трубы по маршруту 23x1,8 – 21x1,2 на стане ХПТР 15–30. Для исследования авторами статьи была создана программа, результаты работы которой представлены на рисунке 5.



**Рис. 5.** Изменение величины принудительного катающего радиуса вдоль зоны обжатия конуса деформации от величины плеча ОС (маршрут 23х1,8 – 21х1,2, стан ХПТР 15–30)

Из графика на рисунке 5 видно, что наиболее благоприятной настройкой плеча ОС является настройка в 780 миллиметров (проверено на практике в заводских условиях). Анализируя графики (см. рис. 5), также можно сделать выводы о том, что величина принудительного катающего радиуса вдоль конуса деформации изменяется. Характер изменения зависит в том числе от величины плеча ОС. И, например,

длина плеча ОС в 720 миллиметров может быть оптимальной (см. рис. 6) для прокатки трубы-заготовки диаметром 26 мм в готовую трубу диаметром 15,2 мм (в случае применения ролика с переменным радиусом ручья с соответствующей переделкой конструкции стана).



**Рис. 6.** Изменение величины принудительного катающего радиуса вдоль зоны обжатия конуса деформации относительно естественного при прокатке трубы-заготовки диаметром 26 мм в готовую трубу диаметром 15,2 мм (стан ХПТР 15–30 с соответствующей реконструкцией)

## 6. ВИСНОВКИ

В статті розглянуто метод розрахунку параметрів налаштування важільної системи станів ХПТР.

Виведено залежність зміни величини катуючого радіуса від величини плеча ОС важільної системи.

Аналіз результатів теоретичних досліджень показав, що налаштуваннями важільної системи станів ХПТР можливо досягти необхідного зміни величини катуючого радіуса вздовж конуса деформації.

Результати розрахунків перевірені в ході практики налаштування станів ХПТР в умовах сучасного трубопрокатного цеху для прокатки промислових партій труб (маршрут 16,5x1,78 – 14x0,85, сплав Gr-2, стан ХПТР 15–30).

Результати досліджень можуть бути використані для розрахунку параметрів налаштування станів ХПТР, а також в ході проектування станів ХПТР і ХПТ нових конструкцій.

### The method for calculating the parameters of the lever system adjustment for cold rolling mills

S. Pilipenko<sup>1)</sup>, I. Markevich<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup> National metallurgical academy of Ukraine, 4, Gagarina avenue, 49600, Dnepropetrovsk, Ukraine

Stand drives of cold rolling mills which use a lever system, have been further developed recently. In particular, such stand structures for rolling steel are also used for rolling pipes of large diameter at the cold rolling mills. On the assumption of pipes deformation characteristics the correct choice of rolling radius is a very important issue which has an influence on the process. It should be noted that the mills of this design are set up to the rolling diameter not only by the choice of a roller journal (or diameters of driving pinions in roll mills), but also by the change in settings of the lever system. Meanwhile, there are a lot of questions that still can't be answered. Thus theoretical issues concerning this problem is considered to be of high importance now.

The article describes the main currently existing dependencies which allow to calculate the correct parameters of lever-type system adjustment at cold pilger rolling mills in order to choose the rolling and the radius of roller journals for cold pilger rolling pipes rolling. In this article the influence of the cold rolling mills lever-type system on the change of rolling radius along the deformation cone is analyzed. The relationship between the rolling radius and the lever arm of the system are deducted. The analysis of the theoretical research results shows that it is possible to get the required change of the rolling radius value along the deformation cone by the cold rolling mills lever system adjustment. This issue is essential for cold pilger rolling mills with the appropriate design of a drive. The change of pipe diameter is very large. That's why the necessary change in rolling of cold rolling mills can cause a lot of problems and even make the rolling process impossible.

It should be stressed that the required change of the rolling radius along the deformation cone can be the adjustments of the lever-type system at cold pilger rolling mills. The calculation results are checked during the cold pilger rolling mills adjustment practice in the modern pipe rolling shop for the rolling of commercial number of tubes. The method described above permits to create the most favorable conditions for deformation the deformation cone at cold pilger rolling mills.

**Key words:** cold pilger rolling, aspect ratio, axial forces, kinematic deformation conditions.

### Метод розрахунку параметрів налаштування станів холодного пільгерного прокатування труб, у приводі яких використовується важільна система

С. В. Пилипенко<sup>1)</sup>, І. В. Маркевич<sup>2)</sup>

<sup>1), 2)</sup> Національна металургійна академія України, пр. Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, 49600, Україна

Останнім часом приводи клітей станів холодного пільгерного прокатування із застосуванням системи важеля набули подальшого розвитку. Зокрема, такі конструкції клітей почали застосовуватися лише в станах холодного пільгерного роликів прокатування труб, а й у станах холодного пільгерного валкового прокатування для прокатування труб більшого діаметра. Виходячи з особливостей деформації труб у цих станах, правильний вибір катуючого радіуса є важливою проблемою. Від цього залежать і кінематичні, і силові параметри процесу. При цьому багато питань залишаються остаточно не відкритими. Виходячи із цього, подальший розвиток питань теорії, які стосуються цього напрямку, є актуальним на даний момент.

У статті розглянуті основні існуючі на сьогодні залежності, що дозволяють розрахувати правильні параметри налаштування важільної системи станів холодного пільгерного роликів прокатування, вибору катуючого радіуса і радіуса цапф роликів холодного пільгерного роликів прокатування труб. Розглянуто вплив неузгодженості налаштування важільної системи станів холодного пільгерного роликів прокатування на зміну величини катуючого радіуса уздовж конуса деформації. Для цього була виведена залежність зміни величини катуючого радіуса уздовж конуса деформації від величини плеча ОС системи важеля. Проведені теоретичні дослідження показали, що в ста-

нах такої конструкції за допомогою налаштувань системи важеля можна добитися необхідної зміни величини катаючого радіуса вздовж конуса деформації.

Результати розрахунків перевірені в ході практики налаштувань станів холодного пільгерного роликового прокатування в умовах сучасного трубопрокатного цеху, в ході прокатування промислових партій труб. Використовуючи описаний метод, можна створити найбільш сприятливі кінематичні умови деформації вздовж усього конуса деформації станів холодного пільгерного валкового прокатування труб.

**Ключові слова:** холодна пільгерної прокатка, осьові зусилля, кінематичні умови деформації.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вердеревский В. А. Роликовые станы холодной прокатки труб / В. А. Вердеревский. – М. Металлургия, 1992. – 236 с.
2. Тетерин П. К. Теория периодической прокатки / П. К. Тетерин. – М.: Металлургиздат, 1978. – 254 с.
3. Григоренко В. У. Расчет оптимального соотношения радиусов калибра и валка станов холодной прокатки труб / В. У. Григоренко, С. В. Пилипенко // Сталь. – 2012. – № 8. – С. 37–39.
4. Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей [учеб. пособие] / А. Н. Гоц. – Владимир Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.
5. Шевакин Ю. Ф. Станы холодной прокатки труб / Ю. Ф. Шевакин, Ф. С. Сейдалиев. – М. Металлургия, 1966. 212 с.

## REFERENCES

1. Verderevskiy V. A. (1992). Rolikovyie stanyi holodnoy prokatki trub. M., Metallurgiya, 236 p. [in Russian].
2. Teterin P. K. (1978). Teoriya periodicheskoy prokatki. M., Metallurgizdat, 254 p. [in Russian].
3. Grigorenko V. U. (2012). Stal, Vol. 8, pp. 37–39. [in Russian].
4. Gots A. N. (2005). Kinematika i dinamika krivoshipno-shatunogo mehanizma porshnevuyihd vigateley. Vladimir, Redaktsionno-izdatelskiy kompleks VIGU, 124 p. [in Russian].
5. Shevakin Yu. F. (1966). Stanyi holodnoy prokatki trub. M., Metallurgiya, 212 p. [in Russian].