

Ю.Г. ГУЛЯЕВ, Е.И. ШИФРИН

АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ ПРОСТОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ АНАЛИЗА СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕПРЕРЫВНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ БЕЗОПРАВОЧНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

В настоящее время при расчётах силовых параметров деформации труб при поперечно-винтовой и продольной прокатке применяют формулу Целикова. Использование этой методики предполагает замену геометрические параметры, характеризующих процесс продольной прокатки полосы, критериями-аналогами, характеризующими условия протекания конкретного процесса изготовления труб. До настоящего времени подобных критериев-аналогов для процесса безопрочноной прокатки труб не разработано. Предложены критерии-аналоги для сопоставления процессов простой продольной прокатки листов и непрерывной безопрочноной продольной прокатки труб. Рассчитаны коэффициенты подпора для значений критериев-аналогов, соответствующих реальным процессам редуцирования и калибрования труб. С целью упрощения и ускорения вычислительных процедур предложены уравнения, аппроксимирующие расчетные значения коэффициентов подпора. Введено ограничение на максимальные аппроксимированные значения коэффициентов подпора, согласно которым величина коэффициента подпора не может быть больше значения при внедрении пуансона в полупространство. Результаты разработки прошли промышленную апробацию при расчёте маршрутов прокатки в редуцирующем стане трубокатного агрегата (ТПА) «30-102» и калибровочном стане ТПА «350».

Ключевые слова: безопрочноная прокатка труб, коэффициент подпора, критерий-аналог, аппроксимация.

Ю.Г. ГУЛЯЕВ, Е.І. ШИФРИН

АДАПТАЦІЯ МОДЕЛІ ПРОСТОЇ ПОЗДОВЖНЬОЇ ПРОКАТКИ ДЛЯ АНАЛІЗУ СИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ПОЗДОВЖНЬОЇ БЕЗОПРАВОЧНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

В даний час при розрахунках силових параметрів деформації труб при поперечно-гвинтовій та поздовжній прокатці застосовують формулу Целикова. Використання цієї методики припускає заміну геометричних параметрів, що характеризують процес поздовжньої прокатки смуги, критеріями-аналогами, що характеризують умови протікання конкретного процесу виготовлення труб. До теперішнього часу подібних критеріїв-аналогів для процесу безопрочноної прокатки труб не розроблено. Запропоновано критерії-аналоги для зіставлення процесів простої поздовжньої прокатки листів і безперервної безопрочноної поздовжньої прокатки труб. Розраховані коефіцієнти підпора для значень критеріїв-аналогів, що відповідають реальним процесам редукування і калібрування труб. З метою спрощення і прискорення обчислювальних процедур запропоновані рівняння, що аппроксимирующие розрахункові значення коефіцієнтів підпора. Введено обмеження на максимальні аппроксимиують значення коефіцієнтів підпора, згідно з якими величина коефіцієнта підпора не може бути більше значення при введенні пуансона в полупространство. Результати розробки пройшли промислову апробацію при розрахунку маршрутів прокатки в редуційній стані трубокатного агрегату (ТПА) «30-102» і калібрувальному стані ТПА «350».

Ключові слова: безопрочноная прокатка труб, коефіцієнт підпора, критерій-аналог, аппроксимация.

YU.G. GULYAEV, E.I. SHIFRIN

ADAPTATION OF A MODEL OF SIMPLE LONG-TERM ROLLING FOR ANALYSIS OF POWER PARAMETERS OF CONTINUOUS LONG-TERM ROLL-UP ROLLS

At present, when calculating the force parameters of pipe deformation, when applying helical and longitudinal rolling, the Tselikov formula is used. The use of this technique implies the replacement of the geometric parameters characterizing the process of longitudinal rolling of the strip with analogous criteria characterizing the conditions of a specific process for the manufacture of pipes. To date, no such criteria-analogs for the process of pipe-free rolling of pipes have been developed. Criteria – analogues are proposed for comparing the processes of simple longitudinal rolling of sheets and continuous unaligned longitudinal rolling of pipes. The backpressure coefficients were calculated for the values of the criteria-analogs corresponding to the actual processes of pipe reduction and calibration. In order to simplify and speed up computational procedures, equations have been proposed that approximate the calculated values of the backpressure coefficients. A restriction has been introduced on the maximum approximated values of the backwater coefficients, according to which the value of the backwater coefficient cannot be greater than the value when a punch is introduced into the half-space. The results of the development have passed industrial approbation when calculating the rolling routes in the reduction mill of the pipe-rolling unit (TPA) "30-102" and the calibration mill of the TPA "350".

Keywords: pipe-free rolling of tubes, backpressure ratio, criterion – analogue, approximation.

Введение. В 1939 году А.И. Целиков вывел известную формулу для расчёта коэффициента подпора при прокатке [1]. Начиная с 1946 года и до настоящего времени формулу Целикова применяют в методиках расчётов силовых параметров деформации труб при поперечно-винтовой [2, стр. 457] и продольной прокатке [3, стр. 114]. При использовании этих методик геометрические параметры, характеризующие процесс продольной прокатки полосы, заменяют критериями-аналогами, характеризующими условия протекания конкретного процесса изготовления труб. До настоящего времени подобных критериев-аналогов для процесса безопрочноной прокатки труб не разработано.

Цель работы. Разработать критерии-аналоги для использования коэффициентов подпора, рассчитанных

для случая простой продольной прокатки листов, при анализе силовых параметров непрерывной безопрочноной продольной прокатки труб.

Постановка задачи. В работе [4] предложен модифицированный метод расчёта коэффициентов подпора при простой продольной прокатке листов. Рассчитанные по этому методу значения коэффициента подпора $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ могут быть использованы при расчёте силовых параметров безопрочноной продольной прокатки труб в случае установления критерия-аналога величины относительной длины очага деформации

$$\bar{L} = \frac{2\bar{R}}{2 - \varepsilon} \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{2\bar{R}} \left(2 - \frac{\varepsilon}{2\bar{R}} \right)}, \quad (1)$$

где $\varepsilon = \frac{h_0 - h_1}{h_0}$ – относительная деформация;

$\bar{R} = \frac{R}{h_0}$ – относительный радиус валка;

h_0, h_1 – исходная и конечная толщина полосы;

R – радиус валков.

Аналоги геометрических характеристик. Для случая непрерывной продольной безоправочной прокатки труб относительной деформацией будет средняя относительная деформация по диаметру

$$\varepsilon = \frac{D_j - D_i}{D_j}, \quad (2)$$

где D_j, D_i – средний диаметр трубы до и после деформации в калибре с порядковым номером i .

Относительный радиус валка можно определить как

$$\bar{R} = \frac{D_{ui} - D_i}{2D_i}, \quad (3)$$

где D_{ui} – идеальный диаметр валка в калибре с порядковым номером i .

Реально при продольной непрерывной безоправочной прокатке труб значение ε составляет величину менее 0,1 (для большинства случаев менее 0,06), значение \bar{R} лежит в пределах $0,3 \leq \bar{R} \leq 6$ (для большинства случаев $0,5 \leq \bar{R} \leq 2,5$).

Решение задачи. Прежде всего, проанализируем влияние коэффициента трения f на величину коэффициента подпора $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ в области

реальных значений относительных обжатий ε и относительных радиусов \bar{R} . На рис. 1 приведены расчётные значения коэффициента подпора $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ для реальных значений коэффициента внешнего трения ($f = 0,2 \dots 0,3$ при холодной прокатке сварных труб; $f = 0,4 \dots 0,45$ при горячей прокатке бесшовных труб).

Аппроксимация расчётных данных. Следует отметить, что, даже при использовании современных автоматизированных систем математических вычислений, расчёт коэффициента подпора $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ – процедура сложная и требующая значительных затрат времени как при составлении вычислительных программ, так и при их реализации.

С целью упрощения вычислительных процедур осуществили аппроксимацию точных расчётных данных. Как следует из приведенных на рис. 1 данных, коэффициент трения f практически не оказывает влияния на значение коэффициента подпора $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ в процессах редуцирования и калибрования бесшовных и сварных труб при реальных значениях геометрических параметров \bar{L} и \bar{R} . Этот вывод коррелируется с результатами исследований других авторов [6–9 и др.]. При аппроксимации расчётных данных от влияния коэффициента внешнего трения f на значение коэффициента подпора $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ абстрагировались. Для случая горячей прокатки бесшовных труб принимали $f = 0,4$.

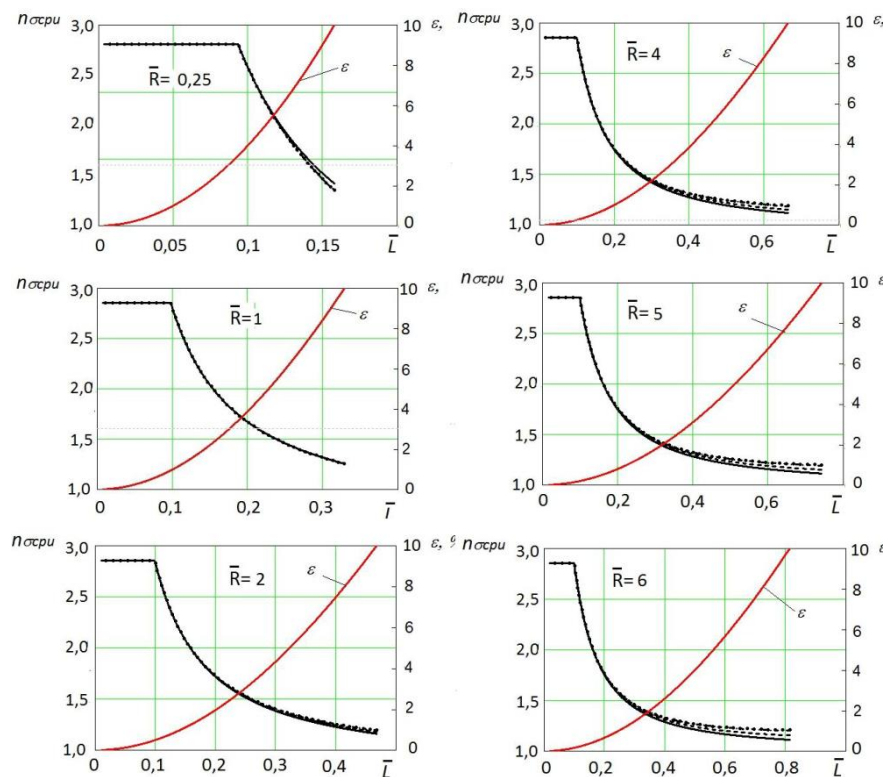


Рис. 1 – Зависимость $n_{\text{спри}}(f, \bar{L}, \bar{R})$: $f = 0,2$ – сплошная линия; $f = 0,3$ – пунктир; $f = 0,4$ – штрих-пунктир; $f = 0,5$ – точки

$$n_{\sigma_{\text{при}}}(\varepsilon, \bar{R}) = n_{\sigma_{\text{при}}}[f = 0.4, \bar{L}(\varepsilon, \bar{R}), \bar{R}]$$

и

$$\Phi(\varepsilon, \bar{R}) = \frac{n_{\sigma_{\text{при}}}(\varepsilon, \bar{R})}{n_{\sigma_{\text{при}}}(f = 0.4, \bar{L}, \bar{R} = 1)},$$

которые представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

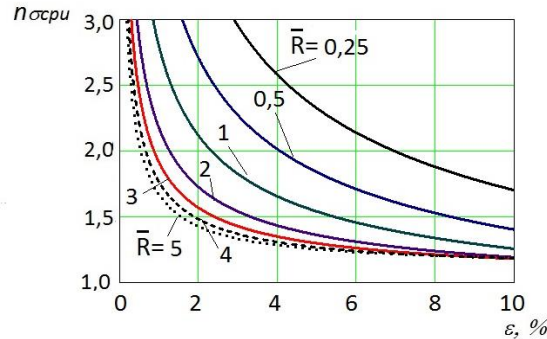


Рис. 2 – Зависимость $n_{\sigma_{\text{при}}}(\varepsilon, \bar{R})$

В результате анализа, используя известный алгоритм [10], получили возможность аппроксимации расчётных значений коэффициента подпора $n_{\sigma_{\text{при}}}(f, \bar{L}, \bar{R})$ величиной $n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анп}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$ по

нижеследующей схеме.

Аппроксимируем $n_{\sigma_{\text{при}}}(f = 0.4, \bar{L}, \bar{R} = 1)$ величиной

значением

$$\begin{aligned} (n_{\sigma_{\text{при}}}^{\text{анп}})_1 = & 56517(\bar{L})^6 - 79437(\bar{L})^5 + 46080(\bar{L})^4 - 14208(\bar{L})^3 + \\ & + 2491,7(\bar{L})^2 - 244,76\bar{L} + 12,696 \end{aligned} \quad (4)$$

Аппроксимируем значения $\Phi(\varepsilon, \bar{R})$ величинами $\Phi_{\bar{R}}(\varepsilon, \bar{R})$:

$$\Phi_{0,25} = 1,035(1465,4\varepsilon^4 - 595,97\varepsilon^3 + 104,75\varepsilon^2 - 11,13\varepsilon + 1,8699); \quad (5.1)$$

$$\Phi_{0,5} = 1,01(1215,5\varepsilon^4 - 435,44\varepsilon^3 + 64,79\varepsilon^2 - 5,9265\varepsilon + 1,3748); \quad (5.2)$$

$$\Phi_1 = 1; \quad (5.3)$$

$$\Phi_2 = -3337,1\varepsilon^4 + 912,14\varepsilon^3 - 97,855\varepsilon^2 + 6,2446\varepsilon + 0,7233; \quad (5.4)$$

$$\Phi_3 = -5784,4\varepsilon^4 + 1544,3\varepsilon^3 - 159,99\varepsilon^2 + 9,7316\varepsilon + 0,5991; \quad (5.5)$$

$$\Phi_4 = -7723,9\varepsilon^4 + 2046\varepsilon^3 - 207,95\varepsilon^2 + 12,218\varepsilon + 0,5241; \quad (5.6)$$

$$\Phi_5 = -8957,6\varepsilon^4 + 2380,3\varepsilon^3 - 241,3\varepsilon^2 + 14,025\varepsilon + 0,4727; \quad (5.7)$$

$$\Phi_6 = -10246\varepsilon^4 + 2710\varepsilon^3 - 272,19\varepsilon^2 + 15,568\varepsilon + 0,434. \quad (5.8)$$

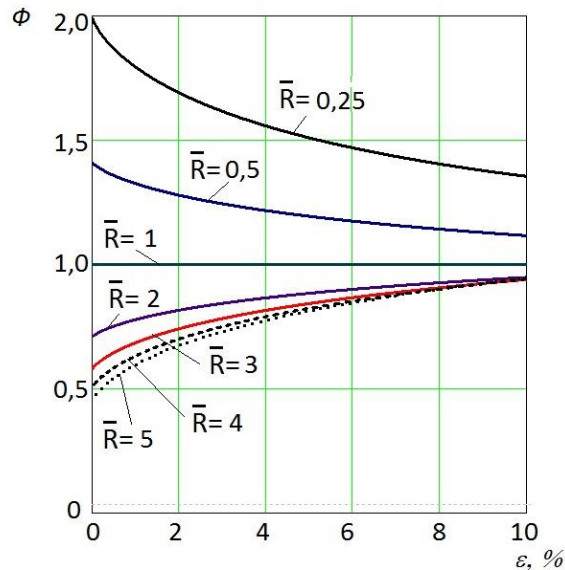


Рис. 3. – Зависимость $\Phi(\varepsilon, \bar{R}) = \frac{n_{\sigma ru}(\varepsilon, \bar{R})}{n_{\sigma ru}(f = 0.4, \bar{L}, \bar{R} = 1)}$

Аппроксимируем значения коэффициента подпора $n_{\sigma ru}(f, \bar{L}, \bar{R})$ при фиксированных значениях показателя \bar{R} , величинами $(n_{\sigma ru}^{anp})_{\bar{R}}$:

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{0,25} = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_{0,25}; \quad (6.1)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{0,5} = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_{0,5}; \quad (6.2)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_1 = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_1; \quad (6.3)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_2 = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_2; \quad (6.4)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_3 = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_3; \quad (6.5)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_4 = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_4; \quad (6.6)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_5 = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_5; \quad (6.7)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_6 = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \Phi_6. \quad (6.8)$$

Определяем аппроксимированные значения коэффициента подпора $(n_{\sigma ru}^{anp})_{\bar{R}}$ при «промежуточных» значениях показателя \bar{R} :

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{0,25 \dots 0,5} = (n_{\sigma ru}^{anp})_{0,25} \cdot \left(\frac{0,5 - \bar{R}}{0,25} \right) + (n_{\sigma ru}^{anp})_{0,5} \cdot \left(\frac{\bar{R} - 0,25}{0,25} \right); \quad (7.1)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{0,5 \dots 1} = (n_{\sigma ru}^{anp})_{0,5} \cdot \left(\frac{1 - \bar{R}}{0,5} \right) + (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot \left(\frac{\bar{R} - 0,5}{0,5} \right); \quad (7.2)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{1 \dots 2} = (n_{\sigma ru}^{anp})_1 \cdot (2 - \bar{R}) + (n_{\sigma ru}^{anp})_2 \cdot (\bar{R} - 1); \quad (7.3)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{2 \dots 3} = (n_{\sigma ru}^{anp})_2 \cdot (3 - \bar{R}) + (n_{\sigma ru}^{anp})_3 \cdot (\bar{R} - 2); \quad (7.4)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{3 \dots 4} = (n_{\sigma ru}^{anp})_3 \cdot (4 - \bar{R}) + (n_{\sigma ru}^{anp})_4 \cdot (\bar{R} - 3); \quad (7.5)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{4 \dots 5} = (n_{\sigma ru}^{anp})_4 \cdot (5 - \bar{R}) + (n_{\sigma ru}^{anp})_5 \cdot (\bar{R} - 4); \quad (7.6)$$

$$(n_{\sigma ru}^{anp})_{5 \dots 6} = (n_{\sigma ru}^{anp})_5 \cdot (6 - \bar{R}) + (n_{\sigma ru}^{anp})_6 \cdot (\bar{R} - 5). \quad (7.7)$$

Вводим ограничения на максимальные аппроксимированные значения коэффициентов подпора в соответствии с ранее обоснованным положением [4, 5], согласно которому величина

коэффициента подпора не может быть больше того значения, которое она имеет при внедрении пуансона в полупространство,

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,25...0,5} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,25...0,5} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,25...0,5} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,25...0,5} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.1)$$

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,5...1} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,5...1} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,5...1} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,5...1} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.2)$$

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{1...2} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{1...2} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{1...2} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{1...2} \leq 2,856 \end{cases} \quad (8.3)$$

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{2...3} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{2...3} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{2...3} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{2...3} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.4)$$

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{3...4} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{3...4} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{3...4} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{3...4} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.5)$$

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{4...5} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{4...5} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{4...5} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{4...5} \leq 2,856 \end{cases}; \quad (8.6)$$

$$\left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{5...6} = \begin{cases} 2,856 & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{5...6} > 2,856 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{5...6} & \text{если } \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{5...6} \leq 2,856 \end{cases}. \quad (8.7)$$

Получаем окончательное значение аппроксимированного коэффициента подпора $n_{\sigma_{ру}}^{анр}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$ как непрерывной функции при всех реально возможных сочетаниях значений ε , \bar{L} и \bar{R} :

$$n_{\sigma_{ру}}^{анр} = \begin{cases} \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,25...0,5} & \text{если } 0,25 \leq \bar{R} < 0,5 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{0,5...1} & \text{если } 0,5 \leq \bar{R} < 1 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{1...2} & \text{если } 1 \leq \bar{R} < 2 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{2...3} & \text{если } 2 \leq \bar{R} < 3 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{3...4} & \text{если } 3 \leq \bar{R} < 4 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{4...5} & \text{если } 4 \leq \bar{R} < 5 \\ \left(n_{\sigma_{ру}}^{анр}\right)_{5...6} & \text{если } 5 \leq \bar{R} \leq 6 \end{cases} \quad (9)$$

На рис. 4 представлены точные значения коэффициентов подпора $n_{\sigma_{ру}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$, аппроксимированные значения коэффициента подпора $n_{\sigma_{ру}}^{анр}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$ и величина ошибки

$$P = \frac{n_{\sigma_{ру}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R}) - n_{\sigma_{ру}}^{анр}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})}{n_{\sigma_{ру}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})} \cdot 100\% .$$

Как следует из приведенных на рис. 4 данных максимальные значения ошибки аппроксимации лежат в пределах от $P = -4,9\%$ (при $\bar{R} = 0,375$) до $P = +1,2\%$ (при $\bar{R} = 6$).

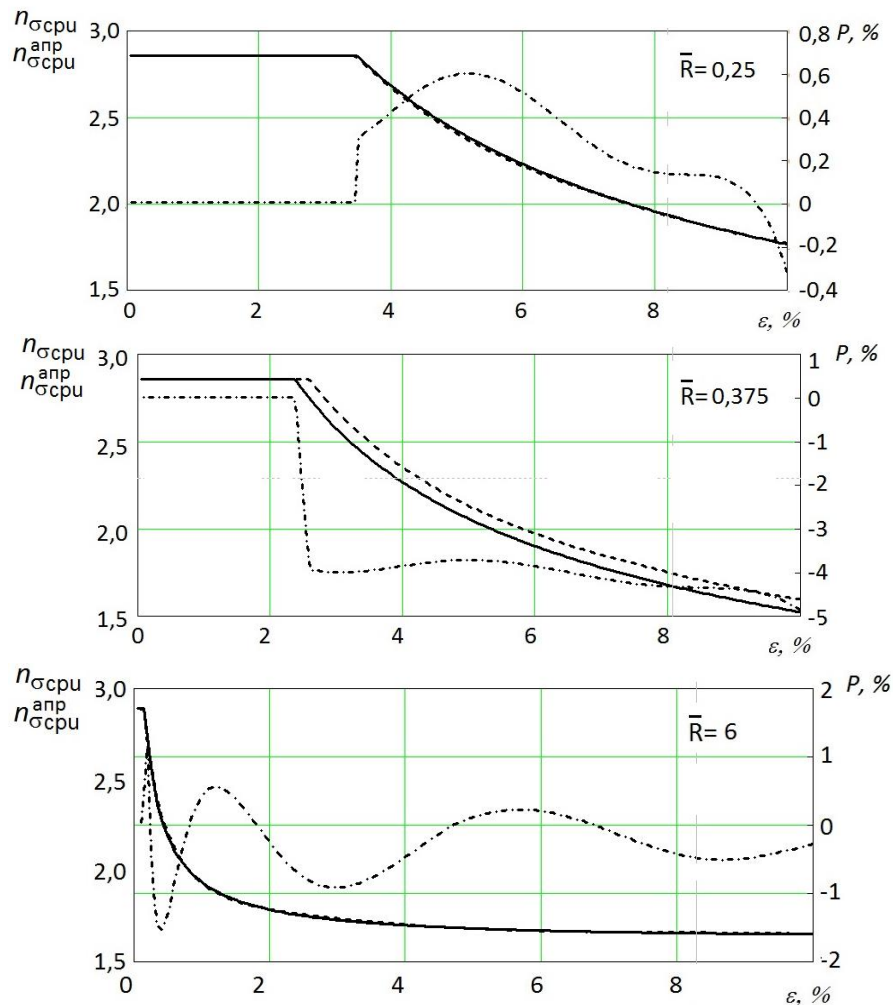


Рис. 4 – Расчётные значения коэффициентов подпора $n_{\sigma_{cp}}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$ (сплошные линии), $n_{\sigma_{cp}}^{apr}(\varepsilon, \bar{L}, \bar{R})$ (пунктир) и ошибки аппроксимации P (штрих-пунктир)

Средневзвешенная ошибка аппроксимации $P_{cp} = 10 \int_0^{0,1} \sqrt{P^2} d\varepsilon$ не превышает $-4,2\%$ (при $\bar{R} = 0,375$).

Практическое использование результатов.

Результаты разработки прошли успешную промышленную апробацию при расчёте маршрутов прокатки в редуционном стане трубопрокатного агрегата (ТПА) «30-102» и калибровочном стане ТПА «350» ООО «Интерпайп Нико-Тьюб».

Выводы:

1. Предложены критерии–аналоги для сопоставления процессов простой продольной прокатки листов и непрерывной безоправочной продольной прокатки труб.

2. На базе модифицированного метода баланса работ рассчитаны значения коэффициентов подпора для значений критериев–аналогов, соответствующих реальным процессам редуцирования и калибрования труб.

3. Для упрощения и ускорения вычислительных процедур предложены уравнения, аппроксимирующие расчётные значения коэффициентов подпора.

4. Результаты разработки использованы при расчёте маршрутов прокатки в редуционном стане трубопрокатного агрегата (ТПА) «30-102» и калибровочном стане ТПА «350» ООО «Интерпайп Нико-Тьюб».

Список литературы

1. Целиков А.И. Влияние внешнего трения и натяжения на давление металла на валки при прокатке / *Металлург*, 1939, №6. – С. 3–11.
2. Целиков А.И. Прокатные станы. – М.: *Металлургиздат*, 1946. – 560 с.
3. Обработка металлов давлением: учебник / Б.А.Романцев, А.В.Гончарук, Н.М.Вавилкин, С.В.Самусев. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2008. – 960 с.
4. Интерпретация метода баланса работ при определении силовых параметров прокатки / Ю.Г.Гуляев, Е.И.Шифрин, Я.В.Фролов, О.А.Ремез – *Вісник НТУ «ХП»* – 2017 – №43 – С. 72–85.
5. Гуляев Ю.Г., Николаенко Ю.М. Технологічні процеси обробки металів тиском. Частина IV: навч. посібник. – Дніпропетровськ: *НМетАУ*, 2014., – 48 с.
6. Ехнологія неперервної безоправочної прокатки труб / под редакції Г.І.Гуляєва / Г.І.Гуляєв, П.Н.Івшин, І.Н.Ерохін і др. – М., *Металлургія*, 1975. – 264 с.
7. В.В.Швейкин, Г.Я.Гун. Аналітичний метод визначення уделного тиску при прокатці труб без оправки. В сб. «Обработка металлов давлением», том V. – М.: *Металлургиздат*, 1969. – С. 42–46.

8. Редукционные станы / В.П.Аницифоров, Л.С.Зелдович, В.Д.Курганов и др. – М.: Metallurgiya, 1971. – 256 с.
9. Теория редуцирования труб / В.В.Ериклинцев, Ю.И.Блинов, Д.С.Фридман, Л.М.Грбарник; под науч. ред. В.В.Ериклинцева. – Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1970. – 230 с.
10. Алгоритм статистической обработки эмпирических данных / Ю.Г.Гуляев, Е.А.Максимова, М.З.Володарский, А.Г.Карпов – Доклады АН УССР, серия А, №5, 1985. – С. 65-68.
5. GulyaEv Yu.G., NikolaEnko Yu.M. TehnologIchnI protsesi obrobki metallv tiskom. Chastina IV: navch. poslbnik. – DnIpropet-rovsk: NMetAU, 2014. – 48 p.
6. Tehnologiya nepreryivnoy bezopravochnoy prokatki trub / Pod redaktsiye G.I.Gulyaeva / G.I.Gulyaev, P.N.Ivshin, I.N.Erohin i dr. – Moscow: Metallurgiya, 1975. – 264 p.
7. V.V.Shveykin, G.Ya.Gun. Analiticheskiy metod opredeleniya udelnogo davleniya pri prokatke trub bez opravki. V sb. «Obrabotka metallov davleniem», vol. V. – Moscow: Metallurgizdat, 1969. – P. 42–46.
8. Reduktsionnyie stanyi / V.P.Anisiforov, L.S.Zeldovich, V.D.Kurganov i dr. – Moscow: Metallurgiya, 1971. – 256 p.
9. Teoriya redutsirovaniya trub / V.V.Eriklintsev, Yu.I.Blinov, D.S.Fridman, L.M.Grabarnik; pod nauch.y red. V.V.Eriklintseva. – Sverdlovsk: Sredne-Uralskoe knizhnoe izdatelstvo, 1970. – 230 p.
10. . Algoritm statisticheskoy obrabotki empiricheskikh dannyih / Yu.G.Gulyaev, E.A.Maksimova, M.Z.Volodarskiy, A.G.Karpov – Doklady AN USSR, seriya A, No5, 1985. – P. 65–68.

References (transliterated)

1. Tselikov A.I. Vliyaniye vneshnego treniya i natyazheniya na davleniye metalla na valki pri prokatke / Metallurg, 1939, No6. – P. 3–11.
2. Tselikov A.I. Prokatnyie stanyi. – Moscow: Metallurgizdat, 1946. – 560 p.
3. Obrabotka metallov davleniem: Uchebnyk / B.A.Romantsev, A.V.Goncharuk, N.M.Vavilkin, S.V.Samusev. – Moscow: Izd. Dom MISiS, 2008. – 960 p.
4. Interpretatsiya metoda balansa rabot pri opredelenii silovyyih parametrov prokatki / Yu.G.Gulyaev, E.I.Shifrin, Ya.V.Frolov, O.A.Remez – VIsnik NTU «KhPI» – 2017, No43 – P. 72– 85.

Поступила (received) 05.10.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гуляев Юрий Геннадьевич (Гуляев Юрій Геннадійович, Gulyaev Yuriy Gennad'yevich) – доктор технических наук, профессор, ООО «Интерпайп Нико Тьюб», г. Никополь, Украина, научный консультант, тел.: (050) 453-03-23, e-mail: gulyaev.y51@gmail.com

Шифрин Евгений Исаевич (Шифрін Євген Ісайович, Shifrin Yevhen Isayovich) – доктор технических наук, ООО «Днепропресс сталь», г. Днепр, Украина, первый заместитель генерального директора, тел.: (050) 821-13-70, e-mail: shifrinei48@gmail.com