

## ОПЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ПРОКАТКЕ РЕЛЬСОВОГО ПРОФИЛЯ В УНИВЕРСАЛЬНОМ КАЛИБРЕ

**Д.Л. Шварц, В.А. Шилов**

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

Поставленная ранее вариационная задача о прокатке рельсов в универсальных калибрах реализована в системе MathCAD. Численная реализация позволила установить закономерности изменения опережения в зависимости от основных технологических параметров прокатки. Представлены зависимости коэффициента опережения от коэффициента обжатия шейки рельсового профиля, приведенного диаметра горизонтальных валков, приведенной толщины фланцев и условий трения на контактных поверхностях. Установленные закономерности позволили уточнить модель скоростного режима прокатки рельсов на современных рельсобалочных станах.

*Ключевые слова:* рельс; универсальный рельсовый калибр; непрерывная прокатка; опережение; скоростной режим прокатки; скоростная диаграмма.

В работе [1] представлена математическая модель формоизменения металла при прокатке рельсов в универсальных калибрах, основанная на применении вариационного принципа минимума полной мощности. Основным достоинством универсальных 4-валковых калибров является возможность получения равномерной деформации металла по всем элементам рельсового профиля [2, 3]. В качестве критерия равномерности деформации принято условие равенства коэффициентов вытяжки по элементам – шейке, подошве, головке:  $\lambda_{ш} = \lambda_{п} = \lambda_{г}$ .

С использованием разработанной математической модели и способа ее численной компьютерной реализации в пакете MathCAD 14 провели вычислительный эксперимент по определению основных закономерностей формоизменения металла при прокатке рельсов в универсальных калибрах. При этом использовали следующий комплекс исходных безразмерных параметров, характеризующих реальные условия прокатки рельсов на современных универсальных рельсобалочных станах (рис. 1):

– приведенный диаметр горизонтальных валков  $A = D_r/d = 42 \div 67$ ;

– приведенная длина шейки рельсового профиля  $\tilde{l} = l/d = 3,7 \div 5,8$ ;

– относительная высота фланцев подошвы  $\tilde{h}_п = h_п/b_п = 1,6 \div 3,1$  и головки  $\tilde{h}_г = h_г/b_г = 0,5 \div 1,1$ ;

– приведенная ширина фланцев подошвы и головки  $\tilde{b}_ф = (b_п + b_г)/B = 0,33 \div 0,54$ ;

– коэффициент обжатия шейки  $1/\eta_{ш} = d'/d$ , принимаемый, по условию задачи, равным коэффициенту вытяжки шейки  $\lambda_{ш} = 1,100 \div 1,350$ ;

– уклон внутренних граней фланцев  $\text{tg } \varphi = 0,25$ ;

– показатель трения  $\psi = 0,6 \div 1,0$ .

Указанный диапазон изменения исходных параметров соответствует деформации рельсового раската в универсальных калибрах от разрезной заготовки до чистового рельса.

Расчеты были проведены при 50 различных сочетаниях исходных параметров, в каждом из которых при заданном коэффициенте вытяжки  $\lambda_{ш} = 1/\eta_{ш}$  были определены коэффициенты обжатия подошвы  $1/\eta_п$  и головки  $1/\eta_г$ , коэффициенты приращения (или утяжки) фланцев  $\beta_п$  и  $\beta_г$ , а также коэффициент опережения  $v$ . Таким образом, в результате решения получили массив расчетных данных, выражающих зависимости

$$1/\eta_п, 1/\eta_г, \beta_п, \beta_г, v = f(1/\eta_{ш}, A, \tilde{h}_п, \tilde{h}_г). \quad (1)$$

Анализ полученных расчетных данных позволил определить закономерности изменения коэффициента опережения при прокатке рельсового профиля в универсальном калибре.

Установлено, что с увеличением коэффициента обжатия шейки коэффициент опережения увеличивается (рис. 2).

С ростом обжатия увеличивается и угол захвата металла валками по шейке рельсового профиля. Поскольку углы захвата малы (при рассматриваемых условиях прокатки составляют 4–8°), то в соответствии с общеизвестной закономерностью нейтральное сечение смещается в сторону сечения входа металла в валки и, таким образом, увеличивается зона опережения, а как следствие, и коэффициент опережения.

Влияние приведенного диаметра валков (см. рис. 2) также соответствует базовым положениям теории прокатки: с его увеличением возрастает и коэффициент опережения.

Влияние геометрических размеров фланцев рельсового профиля оценивали их приведенной шириной  $b_ф$ . Решение теоретической задачи показало,

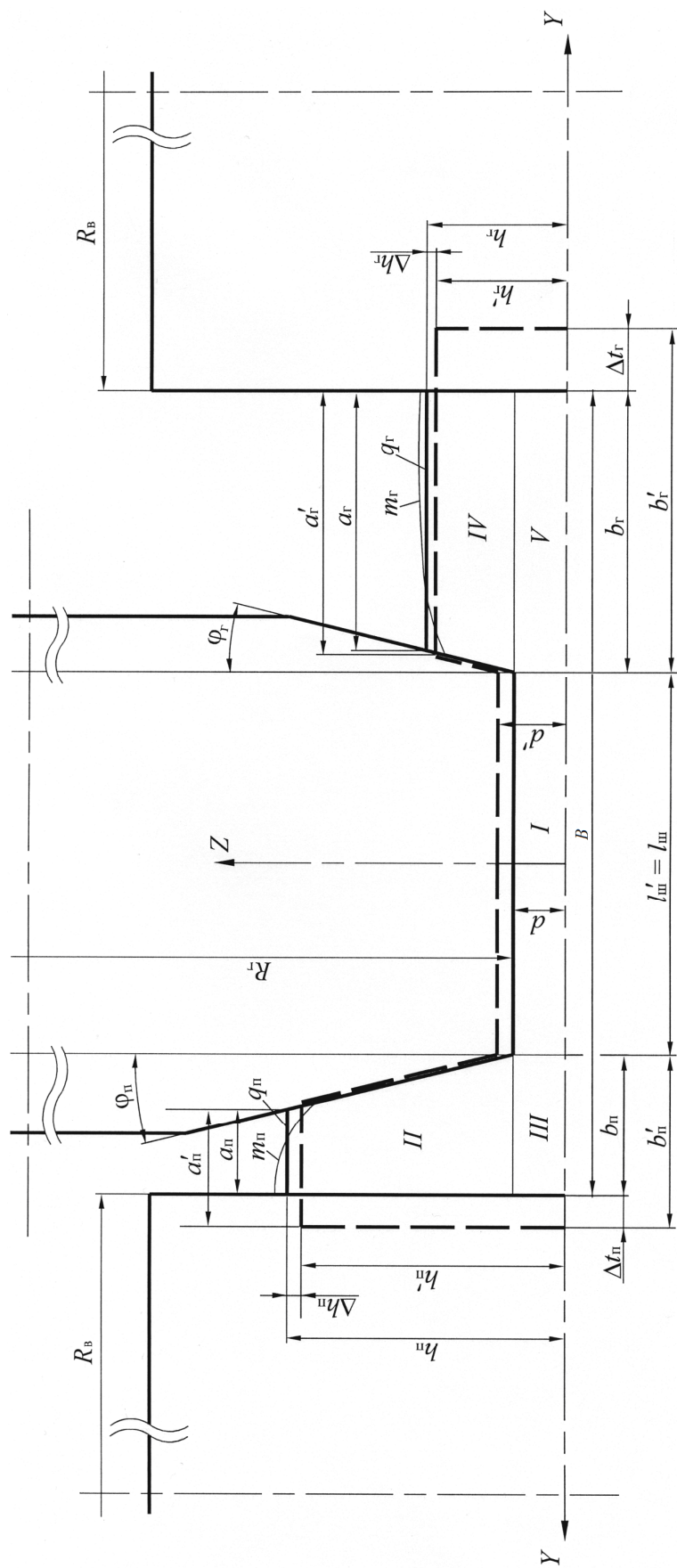


Рис. 1. Схема прокатки рельсового профиля в универсальном калибре (пунктирными линиями показан контур задаваемой полосы)

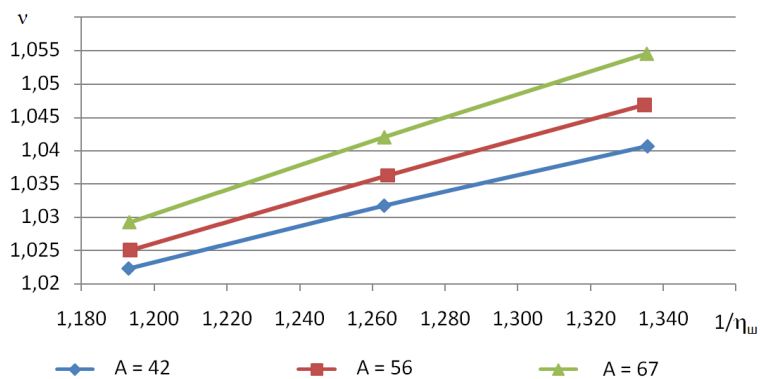


Рис. 2. Зависимость коэффициента опережения от коэффициента обжатия шейки

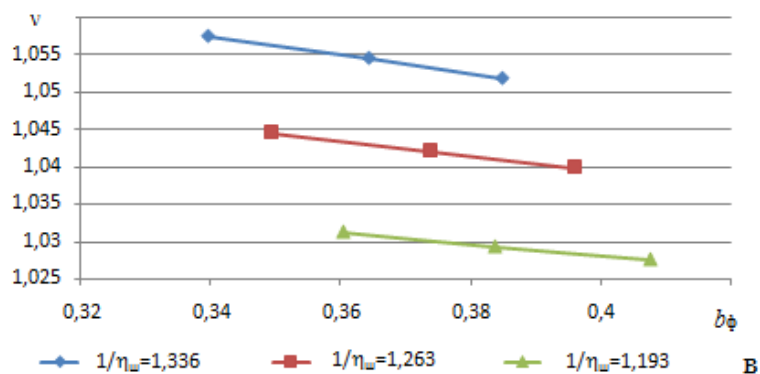
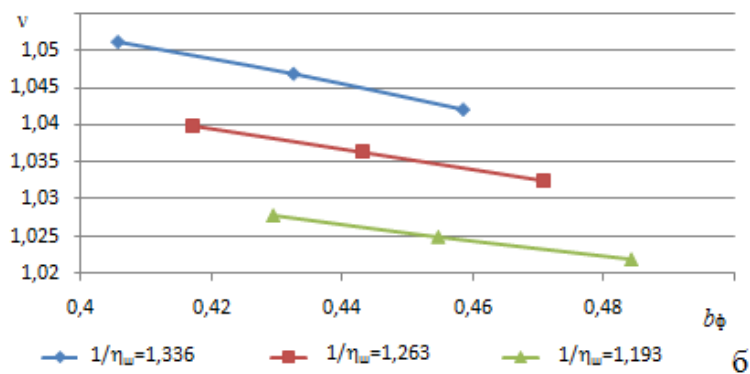
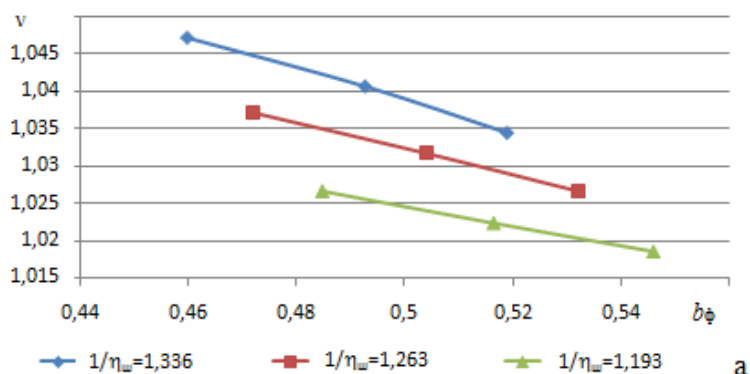


Рис. 3. Зависимость коэффициента опережения от приведенной ширины фланцев: а –  $A = 42$ ; б –  $A = 56$ ; в –  $A = 67$

что при любых сочетаниях коэффициента обжатия шейки и приведенного диаметра горизонтальных валков увеличение  $b_\phi$  вызывает уменьшение  $v$  (рис. 3). Этот факт можно объяснить следующим

образом: при увеличении ширины подошвы и головки для сохранения коэффициентов вытяжки по элементам профиля необходимо увеличивать их обжатие. Следовательно, необходимо подводить

больше мощности на осуществление пластической деформации приводными горизонтальными валками. При этом зоны отстаивания на них увеличиваются, а зоны опережения уменьшаются.

Существенное влияние на опережение оказывают условия трения на контактной поверхности металла с валками (рис. 4). С ростом показателя трения  $\psi$  коэффициент опережения увеличивается, что также соответствует общим физическим представлениям о процессах продольной прокатки.

В состав современного рельсобалочного стана входят одна или две отдельно стоящие реверсив-

ные клетки (обжимная и черновая) и непрерывная группа, включающая две или три универсальных и одну вспомогательную двухвалковую рабочие клетки (рис. 5, а).

Точность геометрических размеров готового рельсового профиля существенно зависит от точности согласования скоростей прокатки в непрерывной группе. Как известно, для согласования скоростей вращения валков при прокатке в непрерывном режиме необходимо знать опережение металла.

Для этого массив полученных расчетных данных был аппроксимирован, и получено сле-

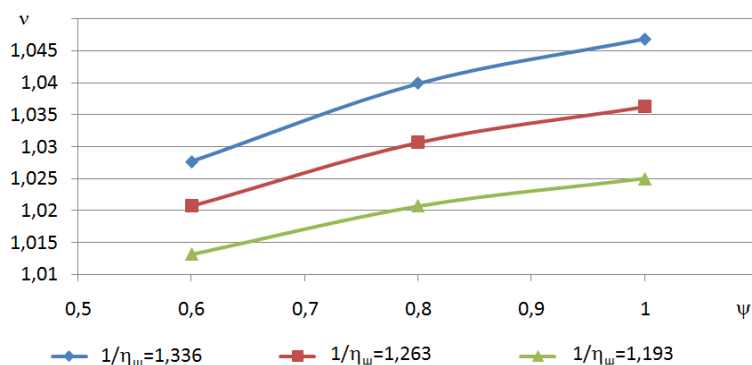


Рис. 4. Зависимость коэффициента опережения от показателя трения ( $A = 56$ )

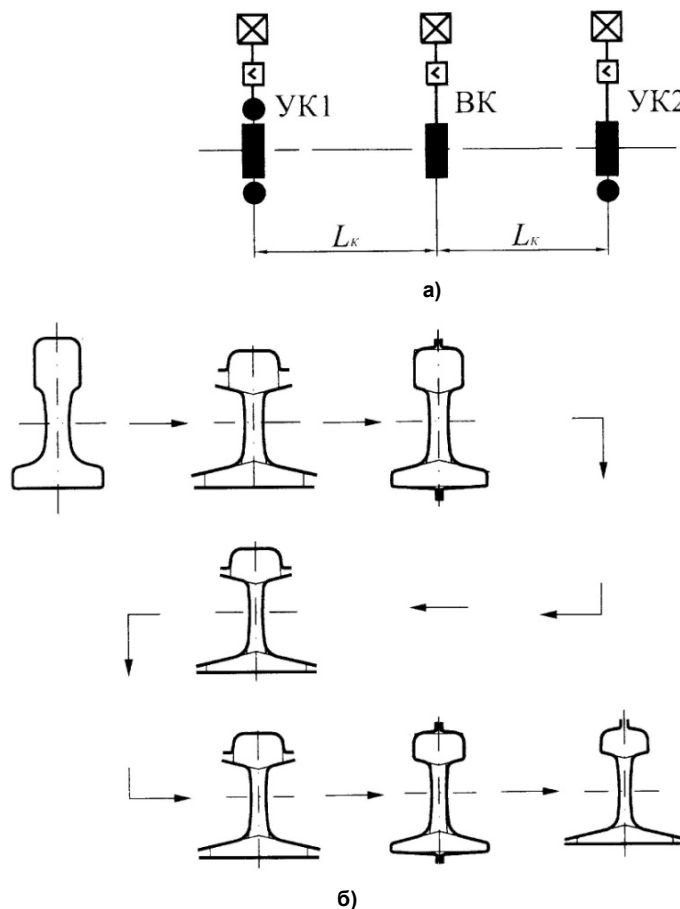


Рис. 5. Расположение рабочих клеток (а) и схема прокатки рельсов (б) в непрерывно-реверсивной группе современного рельсобалочного стана

дующие выражение для расчета коэффициента опережения

$$v = 1 + 0,0917(1/\eta_{ш} - 1)^{1,177} A^{-0,161} b_{\phi}^{-1,53} \psi^{0,855}. \quad (2)$$

В нашей работе [4] предложена модель расчета рационального скоростного режима прокатки в непрерывной группе клетей современного рельсобалочного стана. Однако представленная модель разработана без учета опережения металла, и ее целесообразно уточнить, используя полученную зависимость (2).

Рассмотрим первый проход одной из возможных схем прокатки рельсов в непрерывной группе клетей (см. рис. 5, б): поступающий из черновой клетки разрезной профиль прокатывают в клетях УК1 и ВК (валки клетки УК2 разведены).

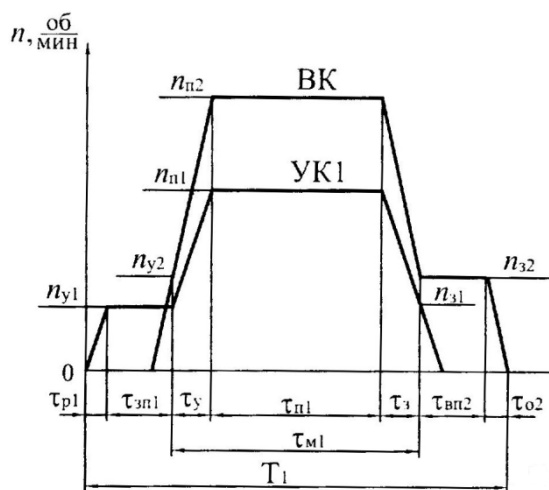


Рис. 6. Диаграмма изменения частоты вращения валков клетей УК1 и ВК при прокатке в непрерывном режиме

В соответствии с положениями разработанной модели скоростного режима прокатки для всех рабочих клетей непрерывной группы ( $i = 1, 2, 3$ ) на характерных участках скоростной диаграммы (рис. 6): ускорения валков с полосой  $\tau_y$ , прокатки с постоянной скоростью  $\tau_p$ , замедления валков с раскатом  $\tau_3$  – должно выполняться условие постоянства секундных объемов  $V_i \omega_i = \text{const}$  ( $V_i$  – скорость прокатки,  $\omega_i$  – поперечное сечение раската), вследствие чего частота вращения валков каждой последующей ( $i+1$ -й) клетки и предыдущей ( $i$ -й) клетки связаны соотношением

$$n_{i+1} = n_i \frac{D_{ki}}{D_{k(i+1)}} \lambda_{i+1}, \quad (3)$$

**Шварц Данил Леонидович**, канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; d.l.shvartc@urfu.ru.

**Шилов Владислав Александрович**, д-р техн. наук, профессор кафедры обработки металлов давлением, Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург; omd@urfu.ru.

где  $D_k$  – катающий диаметр валков;  $\lambda_{i+1}$  – коэффициент вытяжки.

Катающий диаметр валков  $D_k$  рассчитывают с учетом опережения так:  $D_k = D_r v$ , где  $D_r = 2R_r$  – диаметр горизонтального валка по его бочке (см. рис. 1). Тогда выражение (3) может быть представлено в виде

$$n_{i+1} = n_i \frac{D_{ri} v_i}{D_{r(i+1)} v_{i+1}} \lambda_{i+1}. \quad (4)$$

В выражении (4) коэффициент опережения при прокатке в универсальных рельсовых калибрах рекомендуется определять по выражению (2).

## Выводы

1. Численная реализация в системе MathCAD поставленной вариационной задачи о прокатке рельсов в универсальных калибрах позволила установить закономерности изменения коэффициента опережения в зависимости от основных технологических параметров прокатки.

2. Установленные закономерности позволили уточнить модель скоростного режима прокатки рельсов на современных рельсобалочных станах.

## Литература

1. Шварц, Д.Л. Постановка задачи теоретического исследования по прокатке рельсового профиля в универсальном калибре / Д.Л. Шварц // *Современные металлические материалы и технологии (СММТ'11): тр. междунар. науч.-техн. конф. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2011. – С. 68–70.*

2. Матвеев, Б.Н. Современные рельсопрокатные станы / Б.Н. Матвеев // *Бюлл. «Черная металлургия». – М.: ОАО «Черметинформация», 2006. – № 2. – С. 40–43.*

3. Свейковски, У. Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клетей и технологий Rail Cool / У. Свейковски, Т. Нерзак // *Металлургическое производство и технология (МРТ). Русское издание. – 2006. – № 2. – С. 50–56.*

4. Шилов, В.А. Скоростные режимы прокатки рельсов в непрерывных реверсивных группах клетей современного рельсобалочного стана / В.А. Шилов, Д.Л. Шварц, Р.А. Литвинов // *Производство проката. – 2008. – № 7. – С. 30–34.*

Поступила в редакцию 25 марта 2015 г.

## FORWARD SLIP IN RAIL PROFILE ROLLING IN UNIVERSAL CALIBER

D.L. Shvarts, [d.l.shvartc@urfu.ru](mailto:d.l.shvartc@urfu.ru),

V.A. Shilov, [omd@urfu.ru](mailto:omd@urfu.ru)

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation

The previously stated variational problem of rail rolling in universal calibers is realized in the MathCAD software system. Numerical implementation permitted to establish regularities of forward slip changes depending on principal technological parameters of rolling. Dependences of the forward slip coefficient on the draft ratio of the rail profile web, the equivalent diameter of horizontal rolls, the equivalent flange thickness and friction conditions on contact surfaces are presented. Established regularities permitted to refine the model of the speed mode of rail rolling in modern rail and structural mills.

*Keywords:* rail; universal rail caliber; continuous rolling; forward slip; speed mode of rolling; speed diagram.

### References

1. Shvarts D.L. [Statement of the Problem of the Theoretical Research on Rolling Rail Profile in the Universal Caliber]. *Sovremennye metallicheskie materialy i tekhnologii (SMMT'11). Trudy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Modern Metallic Materials and Technologies (SMMT'11). Proceedings of the International Scientific and Technical Conference]. St. Petersburg, St. Petersburg Polytechnical University Publ., 2011, pp. 68–70. (in Russ.)

2. Matveev B.N. [Modern Rail Rolling Mills]. *Bull. "Chernaya metallurgiya"*, 2006, no. 2, pp. 40–43. (in Russ.)

3. Sveykovski U., Nerzak T. [Manufacture of High Quality Rails Using Compact Universal Stands and Rail Cooling Technology]. *Metallurgicheskoe proizvodstvo i tekhnologiya (MRT)*, 2006, no. 2, pp. 50–56. (in Russ.)

4. Shilov V.A., Shvarts D.L., Litvinov R.A. [High-Speed Rail Rolling Conditions in Continuous Reversible Train of a Modern Rolling Mill]. *Proizvodstvo prokata*, 2008, no. 7, pp. 30–34. (in Russ.)

*Received 25 March 2015*

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Шварц, Д.Л. Опережение при прокатке рельсового  
профиля в универсальном калибре / Д.Л. Шварц,  
В.А. Шилов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлур-  
гия». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 66–71. DOI:  
10.14529/met160109

### FOR CITATION

Shvarts D.L., Shilov V.A. Forward Slip in Rail Pro-  
file Rolling in Universal Caliber. *Bulletin of the South  
Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 1,  
pp. 66–71. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160109