

Бергеман Г. В. /к. т. н./  
 ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского»

## Разработка новой прогрессивной технологии прокатки профиля бесшечного желобчатого трамвайного рельса

В условиях прокатного производства ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» разработана и освоена новая прогрессивная технология производства асимметричного железнодорожного рельсового профиля типа бесшечного желобчатого трамвайного рельса. Данный прокатный профиль производится на трех-клетьевом рельсобалочном стане «800», обладающим линейным расположением черновых и чистовых двухвалковых клетей и используется при производстве блочной конструкции трамвайных путей в транспортном машиностроении. Ил. 5. Табл. 4. Библиогр.: 7 назв.

**Ключевые слова:** асимметричный железнодорожный рельсовый профиль, трех-клетьевого линейный рельсобалочный стан «800», открытый ящичный калибр, гребень верхнего и нижнего ручья калибра, головка, подошва и реборда трамвайного рельса

In terms of rolling production of PJSC «EVRAZ – DMP nam. Petrovsky» developed and introduced advanced technology production retardant asymmetric rail profile rail type besshechnogo grooved tramway rail. This profile is made on a rolling three-stand rolling mill «800», having a linear arrangement of roughing and finishing a two-roll stands and is used in the manufacture of modular construction of tramways in transport engineering.

**Keywords:** asymmetric profile of rail, three-stand rolling mill line «800», an open drawer caliber, comb the top and bottom of the stream gauge, head, foot and flange of the tram rails

### Постановка проблемы

В настоящее время в Украине и странах СНГ значительная доля общественных транспортных средств и расходов приходится на городской трамвайный транспорт. Развитие современного трамвайного транспорта, который всегда оказывает благоприятное экологическое влияние на городское жизненное пространство, в первую очередь, зависит от достижения высоких показателей транспортировочной способности его подвижного состава.

Одним из основных факторов, положительно влияющих на решение данного вопроса, является хорошее техническое состояние трамвайных путей, напрямую зависящее от эксплуатационной надежности (прочности и долговечности) трамвайных рельсов, в совокупности с более совершенным и обеспечивающим большую устойчивость способом их укладки с использованием специальной безшпальной технологии.

При сооружении трамвайных путей в Украине и СНГ, в основном, применяются две основные разновидности рельсов: желобчатые трамвайные типов Т<sub>в</sub>65, Т<sub>в</sub>60, Т62, Т58 и стандартные рельсы магистральных железных дорог – типов Р65, Р50 Р43 (рис. 1). Классический профиль желобчатых трамвайных рельсов (рис. 1а) имеет свои характерные особенности: он весьма крупногабаритен, асимметричен в двух направлениях и имеет более сложную конфигурацию попе-

речного сечения по сравнению с профилем железнодорожных рельсов (рис. 1б)

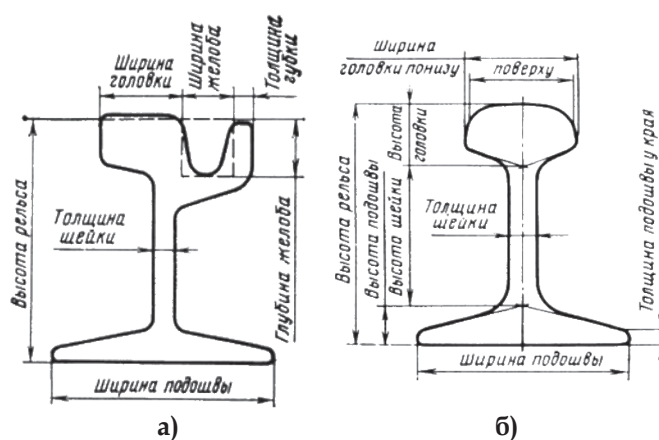


Рис. 1. Основные разновидности рельсов, используемых при сооружении трамвайных путей в Украине и СНГ и названия размерностей, формирующих их конструктивные геометрические параметры

Вес 1-го погонного метра желобчатых трамвайных рельсов, находящихся в эксплуатации в Украине и СНГ, приведен в табл. 1.

Таблица 1

Вес желобчатых трамвайных рельсов

Тип желобчатых трамвайных рельсов	Т <sub>в</sub> 65	Т <sub>в</sub> 60	Т62	Т58
Вес 1-го погонного метра рельса (кг)	64,8	60,14	62,05	57,59

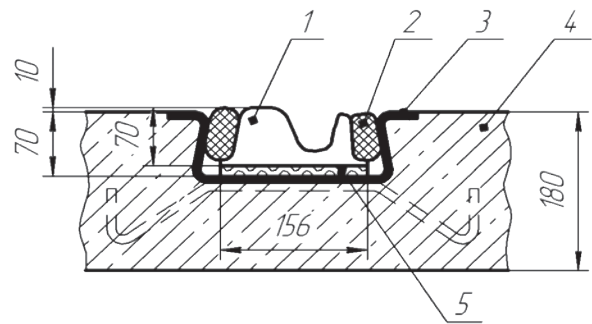
Составными структурными элементами желобчатого трамвайного рельса являются: глубокий желоб, отделяющий головку от реборды (губки), который разрезается вертикальными роликами в предчистовом и чистовом калибрах прокатных станков, высокая и относительно тонкая шейка, а также массивная широкая подошва, обладающая тонкими фланцами [1]. Кроме того, желобчатые трамвайные рельсы отличаются от железнодорожных химическим составом, структурой стали (сталь Э75 – Э76) и наличием термообработки, вследствие чего обладают большей прочностью при статистическом изгибе, а также высокими показателями твердости, износостойкости и временного сопротивления разрыву. Данные качественные характеристики говорят о том, что желобчатые трамвайные рельсы могут эксплуатироваться интенсивнее железнодорожных и выдерживать значительные динамические нагрузки [2].

В начале 80-х гг. прошлого века, для уменьшения строительной высоты верхнего строения трамвайного пути при его сооружении, а также снижения шумов и вибраций, возникающих при скоростном движении трамвайных вагонов [3], была разработана специальная блочная бесшпальная путевая конструкция, более долговечная и удобная при проведении процесса укладки трамвайного пути и проведении его текущих ремонтов по сравнению с путем, уложенным согласно традиционной шпальной технологии.

В данной конструкции (рис. 2) верхнее строение трамвайного пути представляет собой несущую железобетонную (рельсовую) плиту (панель) большой площади, в которую установлены «низкие» бесшпальные желобчатые трамвайные рельсы (РТЖБ) омега-подобного поперечного сечения [4-5].

Своей подошвой рельсы опираются на подкладку из резинокордного композита и двумя боковыми упруго-эластичными резиновыми уплотнительными полосами жестко защемляются в специальном стальном желобе железобетонной плиты, при этом верхняя плоскость плиты выполняет функции дорожного покрытия.

По сравнению с желобчатыми трамвайными рельсами Т<sub>в</sub>65, Т<sub>в</sub>60 и Т62 с шириной подошвы 180 мм, РТЖБ имеют более сложную конфигу-



**Рис. 2. Блочная бесшпальная конструкция трамвайного пути:**

- 1 – бесшпальный блочный желобчатый рельс;
- 2 – уплотнительная резиновая полоса;
- 3 – стальной желоб;
- 4 – несущая железобетонная плита;
- 5 – подкладка из резинокордного композита

рацию, несколько меньшую массу и обладают значительно меньшими габаритными размерами поперечного сечения. Так номинальные габаритные размеры рельсов РТЖБ-58, которые определяют ширина подошвы и высота данной разновидности желобчатого трамвайного рельса, составляют 156 и 70,8 мм.

В настоящее время данная блочная бесшпальная конструкция трамвайных путей, с использованием бесшпальных желобчатых рельсов типа РТЖБ-58, все активнее применяется для укладки новых и реконструкции старых трамвайных путей, а также широко используется для поддержания их в удовлетворительном работоспособном состоянии.

Основные технические характеристики прокатного профиля бесшпального желобчатого трамвайного рельса типа РТЖБ-58 приведены в табл. 2.

Основные механические свойства прокатного профиля бесшпального желобчатого трамвайного рельса типа РТЖБ-58, согласно ТУ У 27.1-053930565-257-2004, приведены в табл. 3.

Согласно табл. 2-3, для данного профиля трамвайного рельса характерны высокие показатели моментов инерции, прочности на растяжение и твердости и, соответственно, значительное сопротивление кручению и действию пространственных нагрузок, вызывающих сложный продольно-поперечный изгиб.

Таблица 2

**Технические характеристики профиля бесшпального желобчатого трамвайного рельса типа РТЖБ-58 (согласно ТУ У 27.1-053930565-257-2004)**

Площадь поперечного сечения рельса, см <sup>2</sup>	Теоретическая масса 1-го погонного метра рельса, кг	Справочные значения для осей (x-x) и (y-y)					
		Момент инерции J, см <sup>4</sup>		Момент сопротивления W, см <sup>3</sup>		Радиус инерции i	
S	m	J <sub>x</sub>	J <sub>y</sub>	W <sub>x</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>x</sub>	i <sub>y</sub>
74,54	58,52	288,96	1067,0	66,25	120,95	1,99	3,66

**Механические свойства прокатного профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса типа РТЖБ-58**

Временное сопротивление $G_{\text{в}}$ (Н/мм <sup>2</sup> ) / (кгс/мм <sup>2</sup> )	Предел текучести $G_{\text{т}}$ (Н/мм <sup>2</sup> ) / (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta$	Твердость по Бринеллю НВ
не менее 785/80	не менее 390/40	не менее 5,0	не менее 218

### Постановка задачи

Существующие технологические схемы прокатки и калибровки данного ассиметричного железнодорожного профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса РТЖБ, положительно зарекомендовавшие себя на Тршинецком металлургическом комбинате (Чехия) и российском металлургическом предприятии ОАО «НКМК», предусматривают использование для его производства 7-9 трапециевидных и фасонных (закрытых, полузакрытых и открытых) калибров. Однако, несмотря на удовлетворительное качество готового профиля РТЖБ и сравнительно высокую производительность прокатных станов в процессе его производства, данные схемы прокатки и калибровки имеют ряд существенных недостатков.

Так негативной особенностью для трапециевидных калибров, обладающих большой горизонтальной осью, является то, что данные калибры работают неустойчиво и требуют повышенного внимания к настройке, что в конечном итоге отражается на снижении производительности прокатного стана и ухудшении качества формирующегося профиля РТЖБ. К недостаткам существующих калибровок, используемых для производства профиля РТЖБ также относится использование большого количества калибров закрытого типа, обладающих глубокими врезами в тело прокатных валков, что значительно ускоряет износ валков, усложняет процесс изготовления данных калибров, а также прокатку в них раската формирующегося профиля вследствие его активного «защемления» в закрытых ручьях данных калибров.

Кроме того, большое число проходов по линии прокатных станов, а также достаточно сложная конфигурация профиля РТЖБ приводят к дополнительной потере температуры раската формирующегося профиля, способствуют его ускоренному охлаждению и, соответственно, повышенному износу калибров, что в свою очередь приводит к снижению стойкости и поломкам прокатных валков, а также потерям металла в брак по недокатам.

Поэтому разработка новой прогрессивной технологии прокатки ассиметричного железнодорожного профиля типа бесшпечного желобчатого трамвайного рельса РТЖБ-58 за счет создания в двухвалковых клетях линейного рельсо-

балочного стана «800» рациональной системы (оптимальной компоновочной схемы) черновой и чистовой групп калибров, предназначенной для получения стабильного и эффективно производства данного прокатного профиля и предоставляющей возможность значительно повысить производительность линейного рельсобалочного стана «800», является актуальной производственной задачей.

### Анализ последних исследований и публикаций

На реверсивном стане «950» Тршинецкого металлургического комбината, производство профиля РТЖБ начинается с прокатки исходной прямоугольной заготовки в группе черновых закрытых трапециевидных калибров, с последующей кантовкой на 90° раската формирующегося профиля, производимой перед его задачей в закрытый черновой фасонный калибр. Проведение в данном калибре интенсивного прямого обжатия по высоте окантованного трапециевидного раската позволяет начать постепенное формирование составных структурных элементов данного ассиметричного железнодорожного рельсового профиля. В дальнейшем, в попеременно чередующихся открытых и закрытых черновых и чистовых фасонных калибрах, происходит последовательное и окончательное формирование составных структурных элементов поперечного сечения профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса в виде подошвы, головки, реборды (губы) и фланцевых крепежных элементов [6].

На рельсобалочном стане «900» ОАО «НКМК», при разработке технологии производства и калибровки валков для производства бесшпечного желобчатого трамвайного рельса, используется схема прокатки, в соответствии с которой формирование профиля начинается в симметричном относительно вертикальной оси трапециевидном калибре, образованном в верхней и нижней частях, соответственно, ручьями ящичных калибров большей и меньшей ширины. Затем раскат подается в наклоненный под углом 10-15° с раскрытием по диагонали, типа неравнополочной трапеции, полузакрытый калибр, образованный углообразным верхним и нижним ручьями, боковые стенки которых выполнены к основанию под углами 90° и 100-105°, где раскат обжимается по высоте и одной из диагоналей.

В дальнейшем, раскат после кантовки на 90° прокатывается в системе закрытых и открытых фасонных калибров, с чередованием по высоте раскрытия калибров в боковые стороны, и с ориентацией большей стороны раската из неравноположного трапециевидного калибра в сторону реборды (губы) профиля. Окончательное оформление профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса производится в предчистовом и чистовом калибрах, имеющих одинаковые раскрытия [7]. Необходимо отметить, что конструктивные отличия, имеющиеся в схемах прокатки, задействованных при производстве ассиметричных железнодорожных профилей типа бесшпечного желобчатого трамвайного рельса, объясняются особенностями технологического оборудования прокатных станов и различными инженерными подходами к решению задачи проектирования калибровки валков.








**Результаты произведенной работы**

Достижению стабильного промышленного производства прокатного профиля рельса трамвайного желобчатого бесшпечного РТЖБ-58 на ПАО «ЕВРАЗ – ДМЗ им. Петровского» предшествовал комплекс достаточно трудоемких и кропотливых работ.

В соответствии с конструктивными особенностями данного ассиметричного железнодорожного профиля и технологическими возможностями трех-клетьевого линейного рельсобалочного стана «800», была разработана технологическая схема прокатки и спроектирована калибровка для производства трамвайного рельса РТЖБ-58, изготовлены привалковая арматура, комплекты производственных и контрольных шаблонов, а также разработана и утверждена нормативно-техническая документация, включающая техническое задание на прокатку профиля РТЖБ-58 и технические условия на его производство. Исходя из возможностей технологического оборудования стана «800» и особенностей профиля РТЖБ-58, выполненная калибровка валков предполагает его последовательную однопроходную прокатку в трех открытых ящичных калибрах и четырех фасонных (закрытых и открытых) калибрах, с двумя кантовками на 90° раската формирующегося профиля (рис. 3).

Исходную заготовку – блюмс с поперечным сечением квадратной формы, размерами 195x195 мм, выплавленную из стали марки К75 или К63Ф и сформированную в 5 калибрах блюминга «1050», с температурой нагрева 1050-1110 °С вначале прокатывают в системе ящичных и фасонных калибров черновой клетки рельсобалочного стана «800».

Структурная схема расположения и компоновки группы черновых калибров стана «800»

черновая клеть рельсобалочного стана "800"	чистовая клеть рельсобалочного стана "800"
калибр №1  КАНТОВКА НА 90°	калибр №6 
калибр №2 	калибр №7 
калибр №3  КАНТОВКА НА 90°	
калибр №4 	
калибр №5 	

**Рис. 3. Структурная схема расположения и компоновки групп черновых и чистовых калибров рельсобалочного стана «800», задействованная для производства РТЖБ-58**

первоначально предполагает последовательную однопроходную прокатку раската формирующегося профиля РТЖБ-58 в подготовительных черновых ящичных калибрах (открытого типа) № 1-3, с последующей кантовкой на 90° раската формирующегося профиля перед его задачей во 2-й калибр.

В процессе деформации в последнем открытом ящичном калибре № 3 раскат формирующегося профиля получает прямоугольную форму и достигает габаритных геометрических размеров 120 мм по высоте и 142 мм по ширине калибра. В дальнейшем, после повторной кантовки на 90°, раскат задается в разрезной черновой фасонный калибр (закрытого типа) № 4 (рис. 4), где гребнями верхнего и нижнего ручья калибра в теле раската создаются желоб 1 и канавка 2, образующие основные контуры составных элементов поперечного сечения формирующегося профиля в виде головки 3, реборды (губы) 4 и фланцев 5. Затем, раскат формирующегося профиля РТЖБ-58 поступает в профилирующий черновой фасонный калибр (закрытого типа) № 5 (рис. 5).

При этом в данном профилирующем фасонном калибре только начинается формирование торца подошвы 2 и активно продолжается формирование общей конфигурации составных элементов поперечного сечения профиля: желоба 1, головки 3, реборды (губы) 4 и фланцевых

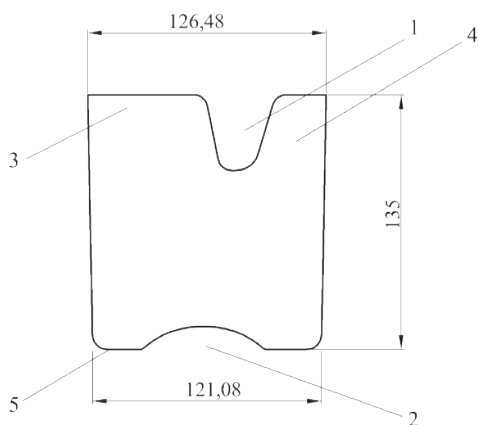


Рис. 4. Поперечное сечение раската РТЖБ-58, сформированное в черновом разрезном калибре № 4:

1 – желоб; 2 – подошва; 3 – головка;  
4 – реборда (губа); 5 – фланцы

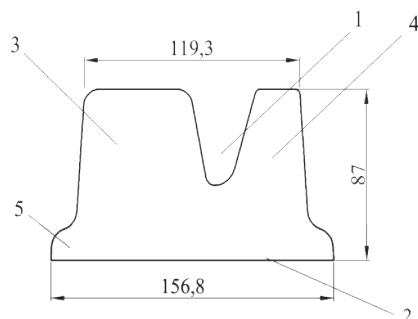


Рис. 5. Поперечное сечение раската РТЖБ-58, сформированное в черновом профилирующем фасонном калибре № 5:

1 – желоб; 2 – подошва; 3 – головка;  
4 – реборда (губа); 5 – фланцы

крепёжных элементов 5. Окончательное формирование геометрических размеров всех составных структурных элементов поперечного сечения данного ассиметричного железнодорожного рельсового профиля, в том числе и элемента подошвы профиля 6, происходит в системе 2-х открытых фасонных калибров, образованных верхним и нижним валками чистой клетки стана «800». На выходе из данной системы чистовых калибров, в частности из калибра № 7, завершается горячая прокатка профиля РТЖБ-58 с получением заданных геометрических размеров элементов поперечного сечения профиля.

В дальнейшем, остывший на холодильнике стана «800» прокатный профиль РТЖБ-58 обязательно подвергается холодной правке на специальной роликоправильной машине, так как в результате неравномерности (перепадов) температуры охлаждения составных структурных элементов профиля РТЖБ-58, вызванной их сложной конфигурацией и различными размерами площади их поперечного сечения, штанги готового профиля имеют отклонения от заданной кривизны как горизонтальной плоско-

сти (не более 0,08 % длины штанги рельса), так и в вертикальной плоскости (не более 0,06 % длины штанги рельса).

В процессе освоения наиболее распространенным поверхностным дефектом в готовом профиле бесшпечного трамвайного рельса было образование «уса» – узкого продольного выступа, расположенного на кромке (пере) подошвы в местах разъема валков (рис. 6), в связи с «переполнением» металлом предчистового и чистового калибров, а также «серповидность» отдельных штанг готового профиля, в связи с отклонением их от заданной кривизны в горизонтальной плоскости, превышающим 0,08 % длины штанги.

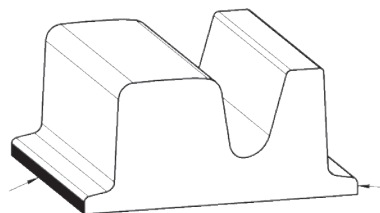


Рис. 6. Место образования «уса» (указано стрелкой) на кромке подошвы готового профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса РТЖБ-58

Основные технические показатели, характеризующие предлагаемый способ прокатки ассиметричного железнодорожного профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса РТЖБ-58 приведены в табл. 4.


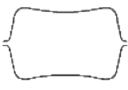



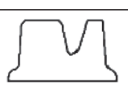


Согласно табл. 4, суммарный коэффициент вытяжки для профиля РТЖБ-58 составляет:  $\lambda_{\text{сумм.}} = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \lambda_3 \times \lambda_4 \times \lambda_5 \times \lambda_6 \times \lambda_7 = 4,802$ .

### Выводы

1. Приведенные в способе прокатки ассиметричного железнодорожного профиля бесшпечного желобчатого трамвайного рельса РТЖБ-58 габаритные размеры исходной заготовки, конструкция калибров, их количество, а также структурная схема их расположения и компоновки, в сочетании с полученными коэффициентами вытяжки по отдельным калибрам и суммарным коэффициентом вытяжки профиля  $\lambda = 4,802$ , обеспечивают стабильное и эффективное производство профиля трамвайного рельса РТЖБ-58 в условиях рельсобалочного линейного стана «800» с минимально возможным расходом прокатных валков, металла и затрачиваемой энергии.

2. Предложенные в разработанном способе прокатки РТЖБ-58 варианты деформации металла в разрезном и профилирующем фасонном калибре № 4-5, в сочетании с общим чис-

Схема калибровки бесшпечного желобчатого трамвайного рельса РТЖБ-58

Общее количество калибров (число) калибров (проходов)	Конфигурация формы калибра (исходной заготовки)	Площадь поперечного сечения калибра (заготовки) S, см <sup>2</sup>	Уменьшение площади поперечного сечения калибра ΔS, см <sup>2</sup>	Уменьшение площади поперечного сечения калибра ΔS, %	Коэффициент вытяжки, полученный в данном калибре λ
0		(365,04)	-	-	-
1		258,04	107	29,3	1,415
2		191,88	66,16	25,64	1,345
3		172,49	19,39	10,1	1,112
4		150,49	22	12,75	1,146
5		100,82	49,67	33	1,493
6		85,31	15,51	15,38	1,182
7		76,04	9,27	10,86	1,122

лом и конструктивным выполнением группы черновых ящичных калибров № 1-3 и группы чистовых фасонных калибров № 6-7, позволяют создать в разработанной системе калибров оптимальные условия для обеспечения в калибрах хорошей устойчивости раската профиля РТЖБ-58, оперативно и качественно получить заданную геометрию готового профиля РТЖБ-58, а также повысить производительность рельсобалочного линейного прокатного стана «800» в горячий час в процессе его производства.

3. Использование температурно-скоростного режима прокатки профиля РТЖБ-58, полученного за счет рационального размещения группы черновых и чистовых калибров по длине бочки валков в черновой и чистовой клетях линейного стана «800», и минимально возможного числа проходов в процессе его производства, позволит увеличить температуру конца прокатки и существенно повысить стойкость предчистового и чистового фасонных калибров.

**Библиографический список**

1. Кучко И. И., Серкин М. Г., Рапопорт И. Б. Производство трамвайных рельсов новых типов // Сталь. - 1956. - № 8. - С. 708-716.

2. Критинин И. А., Кошкин В. А., Дарушин Р. И. Повышение качества желобчатых трамвайных рельсов // Сталь. - 1969. - № 1. - С. 52-53.

3. Патент Украины 10416. Пружне кріплення жолобчастої безшпичкової рейки до залізобетонної рейкової плити / А. Д. Кердівара – Прийнято 14.02.2005; Опубл. 15.11.2005; Бюл. № 11.

4. Коссой Ю. М. Рельсовые пути трамваев и внутризаводских дорог – Москва: Транспорт, 1987. – 269 с.

5. А.с. №1788116 А1 СССР. Желобчатый бесшпечный рельс / В. И. Дервянко, Г. Ф. Кулагин, Ю. Г. Малый, В. Н. Поляков, В. Н. Кокин, В. Н. Цымбал. – Опубл. 15.01.1993 г.

6. Valah T. První výrobní zkušenosti a praktické uplatňování bessheechnyh žlábkové kolejnice / časopis «GUTNIK». – 1979. – № 9. – p.p. 350-353.

7. Патент РФ №2284872 С1. Способ прокатки ассиметричных железнодорожных профилей / В. В. Дорофеев, Е. М. Пятайкин, Е. Л. Кравченко, В. С. Марамзин, А. Ю. Каретников, И. А. Шапов. – Опубл. 10.10.2006.

**Поступила 03.02.2015**