

УДК 621.771.2

КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КАЛИБРОВКИ СОРТОПРОКАТНЫХ ВАЛКОВ. СООБЩЕНИЕ 2. ПРОСТРАНСТВО КАЛИБРОВ

*Михайленко А.М., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением»
Шварц Д.Л., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением» (sd1190977@mail.ru)*

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Аннотация. Используя идеи системного подхода и основываясь на опыте, накопленном при теоретическом изучении, проектировании и промышленном освоении процессов сортовой прокатки широкого спектра профилей, на кафедре обработки металлов давлением Уральского федерального университета разрабатывается универсальная «Концепция оптимальной калибровки». Общая идеология оптимизации калибровки сортопрокатных валков изложена авторами в работе «Концепция оптимальной калибровки сортопрокатных валков. Основные положения». В рамках разрабатываемой концепции рассмотрены понятия непрерывного и дискретного пространства калибров. Для построения дискретного пространства калибров предложено использовать метод классификации. В качестве измерений пространства калибров взяты наиболее значимые, простые и наглядные характеристики калибров. Как пример использования рассматриваемой процедуры, выполнено построение дискретного пространства рельсовых калибров. При этом в качестве измерений (характеристик) пространства калибров использованы технологические и геометрические особенности рельсовых калибров: Т – тип калибра по характеру и целям формоизменения, С – наличие осей симметрии и Р – положение разъема валков калибра или количество валков, образующих калибр. Наполнение пространства калибров проведено в процессе структурного анализа рабочих калибровок прокатных валков, известных из литературы и заводских атласов калибровок. Пространство калибров представлено в виде трехмерной таблицы, отражающей в структурированном виде полное множество всех возможных рельсовых калибров. Установлено, что для каждой из выбранных характеристик калибров (Т, С и Р) существует ограниченное количество уровней варьирования (6, 4 и 7 соответственно). Геометрически возможно лишь 97 сочетаний уровней характеристик, каждое сочетание однозначно определяет вид конкретного рельсового калибра и имеет собственный формальный код. Изменение уровня любой характеристики в этой таблице приводит к переходу в пространстве калибров к другой точке этого пространства, т. е. к использованию калибра другого вида. Рассмотренный подход к построению пространства калибров может быть использован при создании систем автоматизированного проектирования и оптимизации калибровок прокатных валков.

Ключевые слова: сортовая прокатка, рельс, калибровка прокатных валков, калибр, системный анализ, оптимизация калибровки валков, классификация, пространство калибров.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-5-364-371

Используя идеи «системного подхода» [1 – 4] и основываясь на опыте, накопленном при теоретическом изучении, проектировании и промышленном освоении процессов сортовой прокатки широкого спектра профилей, на кафедре обработки металлов давлением Уральского федерального университета разрабатывается универсальная «Концепция оптимальной калибровки» [5]. Общая идеология оптимизации калибровки сортопрокатных валков изложена авторами в работе [6]. Оптимизационная модель состоит из ряда информационных блоков, связанных процедурами преобразования информации и поиска оптимума. Обширность, сложность и неоднородность отдельных компонент общей оптимизационной модели требуют отдельного, специального их рассмотрения. В частности, одним из таких необходимых информационных блоков является блок, отражающий так называемое «пространство калибров». В соответствии с общей идеологией разрабатываемой концепции для этого понятия сформулировано следующее определение: «Пространство калибров – упорядоченное пространство, содержащее все принципиально возможные калибры, применимые для прокатки кон-

кретного сортового профиля проката на конкретном прокатном стане».

При формировании пространства калибров под термином «калибр» будем понимать плоский геометрический объект, состоящий из двух, трех или более плоских контуров ручьев прокатных валков с прилегающими к ним небольшими отрезками контуров буртов этих валков. Каждый калибр однозначно определен двумерным чертежом с формальными размерами и имеет обобщенное аналитическое описание в декартовой системе координат. С учетом сказанного, «пространство калибров» – это совокупность специфических геометрических объектов – калибров, упорядоченных в определенной (не геометрической) системе координат.

В качестве координат (измерений, наименований осей) пространства калибров можно использовать любые свойства калибров, но здесь выделим лишь небольшую группу наиболее важных для проводимого исследования свойств и назовем их «Характеристики калибров». Под этим термином будем понимать такие свойства калибров, полный набор которых должен удовлетворять следующим требованиям:

– однозначно идентифицировать калибр как единственную точку пространства калибров;

– изменение значения любой из характеристик должно приводить к изменению формы калибра, обеспечивающее изменение характера формоизменения металла в нем;

– изменение значений этих параметров должно иметь общетехнические, технологические, организационные, экономические или иные последствия, важные с точки зрения проводимого исследования, т. е. приводящие к изменению значения целевой функции используемого в исследовании критерия оптимальности.

Дополнительным, не обязательным, но желательным требованием к характеристикам калибров является простота использования, наглядность и ясный физический смысл.

В наиболее общем случае пространство калибров представляет собой непрерывное пространство. Однако в ряде случаев удобней его дискретизировать. Для этого необходимо выделить определенный набор дискретных значений (уровней) вдоль каждой из осей пространства калибров и установить соответствие конкретных точек пространства конкретным сочетаниям этих уровней. При таком подходе пространство калибров будет представлено в виде многомерного упорядоченного множества или многомерного массива калибров. Естественно, упорядочение этого множества (массива) производится по тем же характеристикам, которые являются координатами исходного пространства калибров. Описать такое множество калибров можно в виде многомерной «Матрицы калибров».

Дискретное, матричное представление несомненно «загрубляет» модель фактического пространства калибров, но позволяет существенно упростить как процедуру его описания, так и последующее практическое использование этого пространства.

Для описания структуры и содержания пространства калибров в дискретном виде, в виде «Матрицы калибров», можно воспользоваться разными методами. Достаточно удобным для получения различных табличных и матричных структур является так называемый «метод классификации» [7, 8] имеющий следующий алгоритм действия.

1. Определяют полную совокупность объектов, подвергаемых структурированию.

2. Анализируют содержательно важные свойства, признаки, характеристики рассматриваемых объектов, выбирают из них наиболее общие и используют их в качестве классификационных (структурообразующих) признаков.

3. Устанавливают возможные уровни варьирования каждого из этих признаков.

4. Производят структурирование, устанавливая соответствие каждому из сочетаний уровней классификационных признаков конкретного объекта из структурируемой совокупности объектов.

Согласно принятому определению, пространство калибров это не абстрактное множество, а вполне конкретная совокупность калибров, специально ограниченная рамками конкретного профиля проката и конкретного прокатного стана. В настоящей работе нет потребности привязывать рассмотрение к конкретному стану, будем использовать более общий подход, учитывая только одно ограничение – вид прокатываемого профиля. В случае рассмотрения условий конкретного прокатного стана, рассмотренное ниже пространство калибров может быть сокращено за счет учета дополнительных ограничений, накладываемых оборудованием этого стана.

В качестве примера рассмотрим построение пространства калибров, предназначенных для прокатки крупных железнодорожных рельсов типов Р50, Р65, Р75 [9] и их зарубежных аналогов. «Рельсовая тематика» выбрана в качестве примера рассмотрения не случайно, а в связи со значительной актуальностью этой темы, так как в настоящее время в России и СНГ происходит коренное преобразование всего комплекса рельсопрокатного производства. Построение пространства калибров для прокатки рельсов выполнили, используя приведенный выше алгоритм.

К настоящему моменту накоплен большой опыт производства железнодорожных рельсов на разных прокатных станах с использованием большого количества различных калибровок [10 – 19]. Это дает возможность использовать для построения пространства рельсовых калибров калибры, выбранные из этих и других известных рельсовых калибровок.

Проведенный анализ показал, что наиболее простыми, очевидными и в то же время достаточно влиятельными свойствами рельсовых калибров, удовлетворяющими сформулированным выше требованиям, являются следующие: Т – тип калибра; С – симметричность калибра; Р – тип закрытия калибра и количество валков, образующих калибр. Именно эти свойства и будем использовать в качестве характеристик, устанавливающих координаты пространства рельсовых калибров.

Рассмотрим более подробно выделенные характеристики калибров с целью установления возможных уровней их варьирования.

Характеристика калибров «Т – Тип калибра». Под термином «Тип калибра» будем понимать структурообразующий признак, отражающий назначение калибра по изменению формы поперечного сечения раската. Для обозначения (наименования) уровней варьирования этой характеристики будем использовать внешнее сходство соответствующего этому уровню калибра с одной из геометрических фигур, а так же направление главной оси калибра.

В большинстве реальных промышленных калибровок, применяемых для производства фасонных профилей проката, все используемые калибры мож-

но разделить как минимум на две группы: вытяжные и формообразующие. При производстве железнодорожных рельсов в качестве вытяжных калибров в подавляющем большинстве случаев используют типовые ящичные калибры. Они не отличаются существенным разнообразием формы и слабо влияют на конечные свойства калибровки. Поэтому ящичные калибры (или любые другие вытяжные калибры простой формы) в разрабатываемое пространство рельсовых калибров включать не будем. Будем рассматривать только фасонные формообразующие калибры.

Особенностью конструкции современных железнодорожных рельсов является то, что их поперечное сечение имеет только одну ось симметрии. Относительно другой оси сечение существенно несимметрично по размерам (высота и ширина головки и подошвы отличаются в два раза), но почти симметрично по площадям элементов. Типовое поперечное сечение рельсовой заготовки имеет прямоугольную форму и две оси симметрии. Поэтому перед рельсовой калибровкой стоит задача обеспечить весьма специфический характер формоизменения (рассматриваем рельс «в положении лежа»): в два раза большее обжатие головки по высоте и в два раза большее обжатие подошвы по ширине и, при этом, предотвратить существенное перетекание металла из одного элемента профиля в другой. Эта непростая задача может быть решена по-разному, что и нашло отражение в значительном разнообразии схем деформирования, заложенных в основу разных калиб-

ровок и в форме и назначении различных формообразующих калибров.

Анализ известных из литературы и заводских рабочих калибровок с позиций различий в назначении калибров для изменения формы поперечного сечения раската позволил выделить шесть существенно различных типов рельсовых калибров и установить, таким образом, шесть уровней варьирования характеристики «тип калибра», показанных в табл. 1.

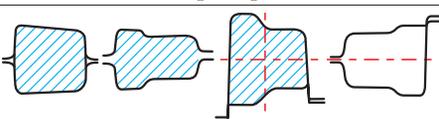
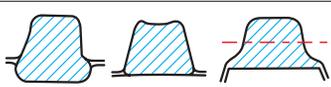
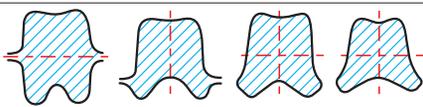
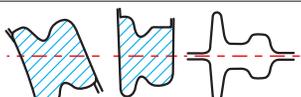
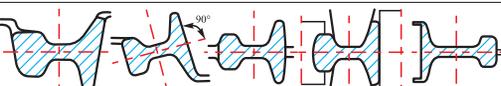
Несмотря на внешнее сходство ряда калибров, отнесенных к уровням Т2, Т3 и Т4, а так же калибров уровней Т5 и Т6, их место в калибровке и сочетание с различными смежными калибрами определяет их различное назначение и, главное, характер течения металла в них различен. Каждому такому калибру присущи индивидуальные особенности изготовления и эксплуатации, деформирующие свойства, различное поведения раската при прокатке в них. Есть и другие особенности, позволяющие отнести эти калибры к разным уровням характеристики Т.

Характеристика калибров «С – Симметричность калибра». Симметричность калибра можно охарактеризовать наличием или отсутствием осей симметрии калибра. Будем рассматривать только две оси симметрии – горизонтальную и вертикальную. Для однозначности трактовки, назовем вертикальной ось симметрии калибра, перпендикулярную оси валков в клети дуо или трио и ось, перпендикулярную оси приводных горизонтальных валков в универсальной клети. Распределение

Таблица 1

Уровни варьирования характеристики Т – «Тип калибра»

Table 1. Levels of varying of the T characteristic – “Caliber type”

Обозначение	Наименование	Назначение	Пример
T1	Трапецевидный осевой	Перераспределение металла сечения вдоль осей прокатных валков	
T2	Трапецевидный ребровой	Перераспределение металла сечения поперек осей валков за счет заземления и естественного уширения	
T3	Подрезной	Односторонняя подрезка сечения по подошве с целью последующего отгибания элементов	
T4	Тавровый	Формирование подошвы за счет вынужденного уширения	
T5	Разрезной	Распределение металла по будущим элементам профиля	
T6	Рельсовый	Формирование и окончательное оформление элементов профиля	

калибров по различным уровням варьирования характеристики «С» приведено в табл. 2.

Важность выделения характеристики «С» определяется значительным влиянием симметричности калибра на особенности прокатки в нем. Отсутствие симметрии относительно вертикальной оси калибра может приводить к искривлению раската на входе в калибр и выходе из него, смещению раската в калибре, неравномерному износу калибра по ширине, силовому воздействию раската на привалковую арматуру и т. п. [10]. Несимметричность относительно горизонтальной оси калибра, как правило, связана с использованием валков увеличенного начального диаметра, что сказывается на их стоимости, приводит к неравномерному и ускоренному износу калибров, часто повышает вероятность окова валков, увеличивает требования к привалковой арматуре, имеет и другие отрицательные последствия.

Характеристика калибров «Р – тип закрытия калибра и количество валков, образующих калибр». Под термином «Тип закрытия» будем понимать способ размещения разьема валков относительно положения поперечного сечения раската. Используем общепринятую классификацию двухвалковых калибров по этому признаку [20]. При производстве рельсов известны случаи использования двухвалковых калибров со всеми возможными способами их закрытия. На современных рельсобалочных станах используют так же трех- и четырехвалковые универсальные калибры, но способ их закрытия на практике однотипен и нет смысла рассматривать разные, только лишь потенциально возможные, но не применяемые на практике варианты. С точки зрения формоизменения металла в калибре, способ закрытия влияет, прежде всего, на степень охвата прокатываемого металла калибром и степень контроля ме-

талла валками. Похожее контролирующее воздействие калибра на металл оказывает и изменение количества валков, образующих калибр. С увеличением количества валков, степень контроля металла валками обычно возрастает. Учитывая сказанное, объединили внешне различные, но функционально похожие признаки «тип закрытия калибра» и «количество валков, образующих калибр» в единую характеристику калибра «Р». Другой причиной такого объединения является стремление уменьшить количество используемых характеристик, что приводит к сокращению размерности пространства калибров и упрощает работу с ним. Распределение калибров по различным уровням варьирования характеристики «Р» приведено в табл. 3.

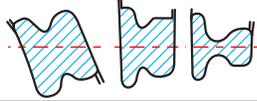
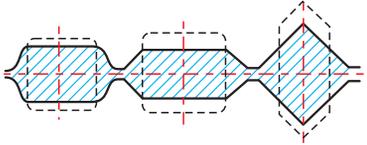
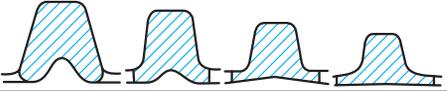
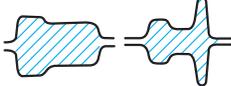
Несмотря на кажущуюся малозначимость выбора того или иного способа закрытия калибра, влияние этой характеристики на его действительные свойства весьма существенно. Способ закрытия предопределяет такие важные свойства, как, например, величины диаметров валков, необходимых для размещения калибра (а это напрямую связано со стоимостью валков), скорость, величину и равномерность износа калибров, стабильность процесса прокатки, вероятность образования дефектов, сложность настройки клетки на профиль и др. При этом каждый из способов закрытия калибра имеет свой набор как положительных, так и отрицательных разноплановых последствий (экономических, технологических и др.).

Последовательно перебирая разные сочетания уровней варьирования характеристик калибров, приведенных в табл. 1 – 3, можно получить наиболее общее дискретное представление пространства калибров, применяемых при прокатке рельсов. Одновременно используя принятые в табл. 1 – 3 цифровые обозначения уровней этих признаков, можно получить индивидуаль-

Таблица 2

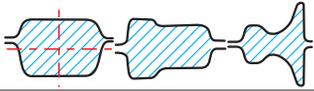
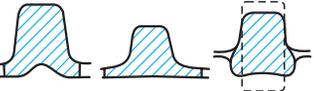
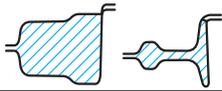
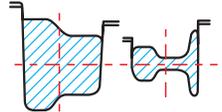
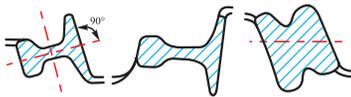
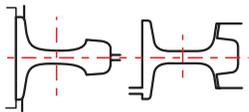
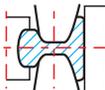
Уровни варьирования характеристики С – «Симметричность калибра»

Table 2. Levels of varying of the C characteristic – “Caliber symmetry”

Обозначение	Наименование	Характеристика	Пример
C1	Несимметричный	Не имеет осей симметрии	
C2	Две оси симметрии	Имеет две оси симметрии	
C3	Вертикальная ось симметрии	Имеет только вертикальную ось симметрии	
C4	Горизонтальная ось симметрии	Имеет только горизонтальную ось симметрии	

Уровни варьирования характеристики Р – «Тип закрытия калибра и количество валков, образующих калибр»

Table 3. Levels of varying of P characteristic – “Caliber closure type and amount of rolls forming the caliber”

Обозначение	Наименование	Характеристика	Пример
P1	Открытый	Разъем примерно по середине калибра	
P2	Полузакрытый	Разъем в зоне калибра, но значительно смещен от середины	
P3	Односторонне закрытый	Один разъем примерно по середине калибра, а другой – вне калибра	
P4	Прямой закрытый	Разъемы вне зоны калибра по одну его сторону	
P5	Косой закрытый	Разъем вне зоны калибра по разные его стороны	
P6	Трехвалковые	Калибр составлен тремя рабочими валками	
P7	Четырехвалковые	Калибр составлен четырьмя рабочими валками	

ное обозначение, маркировку для каждого вида калибров в создаваемой классификационной структуре, которое будем называть «код калибра». Закрепим следующий порядок вхождения уровней характеристик в код калибра: первая позиция – Т – вид калибра; вторая позиция – С – симметричность калибра; третья позиция – Р – тип закрытия калибра. Тогда код калибра будет иметь вид ТСР. Например, если калибр будет иметь код 432, то, в соответствии с табл. 1 – 3, это будет означать, что рассматриваемый калибр тавровый, с одной вертикальной осью симметрии, полузакрытого типа.

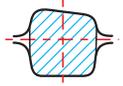
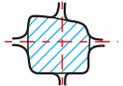
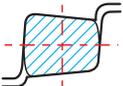
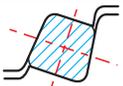
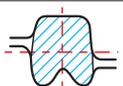
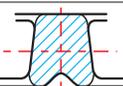
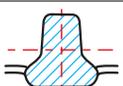
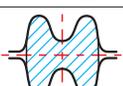
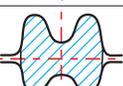
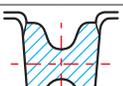
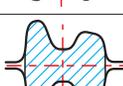
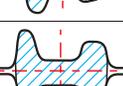
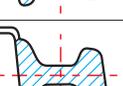
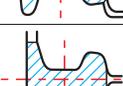
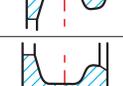
Учитывая, что характеристики калибров Т, С и Р имеют соответственно 6, 4 и 7 уровней варьирования, общее количество комбинаций таких уровней будет составлять $6 \cdot 4 \cdot 7 = 168$ шт. При детальной проработке совместимости разных уровней характеристик Т, С и Р установлено, что ряд их комбинаций геометрически невозможен. Выявлена 71 такая невозможная комбинация. Для остальных 97 реальных сочетаний уровней характеристик составлена таблица, получившая название «Матрица рельсовых калибров». В этой таблице каждой конкретной комбинации уровней характеристик поставлены в соответствие конкретный калибр конкретного вида и его кодовое обозначение, идентифицирующее этот калибр. В связи с обширностью «Мат-

рицы рельсовых калибров», в табл. 4 приведен только ее фрагмент.

Выводы. Рассмотрен один из возможных подходов к построению «пространства калибров» на примере калибров, применяемых при производстве рельсов. За счет дискретизации значений параметров, определяющих измерения пространства, непрерывное пространство калибров сведено к дискретному пространству, представляющему собой многомерный массив калибров. В качестве измерений (характеристик) пространства калибров использованы очевидные технологические и геометрические особенности рельсовых калибров: Т – тип калибра по характеру и целям формоизменения, С – наличие осей симметрии и Р – положение разъема валков калибра или количество валков, образующих калибр. Для построения дискретного пространства калибров предложено использовать классификационный метод. Наполнение пространства калибров проведено в процессе структурного анализа рабочих калибровок прокатных валков, известных из литературы и заводских атласов калибровок. Пространство калибров представлено в виде трехмерной таблицы, отражающей в структурированном виде полное множество всех возможных рельсовых калибров. Установлено, что для каждой из выбранных характе-

Фрагмент матрицы рельсовых калибров

Table 4. Fragment of rail calibers matrix

№ п.п.	Уровень характеристики калибра			Код калибра	Пример калибра
	T	C	P		
1	Трапецевидный осевой	Несимметричный	Открытый	111	
7			Четырехвалковый	117	
12		Горизонтальная ось симметрии	Косой закрытый	145	
25	Трапецевидный ребровой	Вертикальная ось симметрии	Косой закрытый	235	
29	Подрезной	Несимметричный	Открытый	311	
41			Четырехвалковый	337	
48	Тавровый	Вертикальная ось симметрии	Открытый	431	
55		Горизонтальная ось симметрии	Открытый	441	
69	Разрезной	Две оси симметрии	Открытый	521	
75		Вертикальная ось симметрии	Открытый	531	
78			Прямой закрытый	534	
81		Горизонтальная ось симметрии	Открытый	541	
88	Рельсовый	Несимметричный	Открытый	611	
99		Горизонтальная ось симметрии	Косой закрытый	645	
100			Трехвалковый	646	
101			Четырехвалковый	647	

ристик калибров (Т, С и Р) существует ограниченное количество уровней варьирования (6, 4 и 7 соответственно). Геометрически возможно лишь 97 сочетаний уровней характеристик, каждое сочетание однозначно определяет вид конкретного рельсового калибра и имеет собственный формальный код. Изменение уровня любой характеристики в этой таблице приводит к переходу в пространстве калибров к другой точке этого пространства, т. е. к использованию калибра другого вида.

Рассмотренный подход к построению пространства калибров может быть использован при создании систем автоматизированного проектирования и оптимизации калибровок прокатных валков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Садовский В. Н. Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития. – М.: Наука, 1980. – 384 с.
2. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы / Пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума; под ред. В.С. Емельянова. – М.: Мир, 1978. – 311 с.
3. Оптимизация прокатного производства / А.Н. Скороходов, П.И. Полухин, Б.М. Илюкович и др. – М.: Металлургия, 1983. – 432 с.
4. Щедровицкий Г.П. Принципы и общая схема методологической организации системно-структурных исследований и разработок // Системные исследования. Методологические проблемы: Ежегодник. 1981. – М.: Наука, 1981. С. 193 – 227.
5. Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Системный подход к оптимизации калибровки сортопрокатных валков // Производство проката. 2016. № 12. С. 29 – 32.
6. Михайленко А.М., Шварц Д.Л. Концепция оптимальной калибровки сортопрокатных валков. Основные положения // Изв. вуз. Черная металлургия. 2018. № 1. С. 21–27.
7. Воронин Ю.А. Теория классифицирования и ее приложения. – Новосибирск: Наука, 1985. – 232 с.
8. Бреховских С.М. Основы функциональной системологии материальных объектов. – М.: Наука, 1986. – 192 с.
9. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2014. – 96 с.
10. Илюкович Б.М., Нехаев М.Е., Меркурьев С.Е. Прокатка и калибровка. Т. VI. – Днепропетровск: Дніпро-Вал, 2004. – 824 с.
11. Разработка прогрессивных калибровок и технологий прокатки на станах Новокузнецкого металлургического комбината / В.В. Павлов, В.В. Дорофеев, Е.М. Пятайкин, В.В. Ерастов. – Новосибирск: Наука, 2006. – 224 с.
12. Поляков В.В., Артамонова Е.А. Развитие прокатки рельсов за рубежом. Обзор. информ. – М.: Ин-т «Черметинформация». 1989. – 30 с.
13. Поляков В.В., Великанов А.В. Основы технологии производства железнодорожных рельсов. – М.: Металлургия, 1990. – 416 с.
14. Смирнов В.К., Паршин В.А., Смирнов М.В. и др. Производство рельсов с применением универсальных клетей за рубежом // Черная металлургия. Бюлл. ин-та «Черметинформация». 1983. № 20. С. 28 – 39.
15. Полухин П.И., Гридина Ю.В., Зарвин Е.Я. Прокатка и термообработка рельсов. – М.: Металлургиздат, 1962. – 510 с.
16. Зиновьев А.В. Процесс PSP для производства средне- и крупносортовых профилей и рельсов // Новости черной металлургии за рубежом. 2003. № 2. С. 69 – 72.
17. Матвеев Б.Н. Современные рельсопрокатные станы // Черная металлургия. Бюлл. ин-та «Черметинформация». 2006. № 2. С. 40 – 43.
18. Свейковски У., Нерзак Т. Производство рельсов высокого качества с использованием компактных универсальных клетей и технологий RailCool // Металлургическое производство и технология (МРТ). Русское издание. 2006. № 2. С. 50 – 56.
19. Актуальные проблемы производства рельсов / В.Е. Громов, Н.М. Кулагин, В.В. Дорофеев и др. – Новокузнецк: СибГИУ, 2001. – 260 с.
20. Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В. Калибровка прокатных валков. – М.: Теплотехник, 2008. – 490 с.

Поступила 14 июля 2016 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. VOL. 61. NO. 5, PP. 364–371.

THE CONCEPT OF OPTIMAL BAR ROLL DESIGN. REPORT 2. CALIBERS SPACE

A.M. Mikhailenko, D.L. Shvarts

Ural Federal University named after the first President of Russia
B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia

Abstract. Using the ideas of systems concept and based on the experience of a theoretical study, design and industrial mastering of processes of section rolling of a wide range of profiles at the Chair of Metal Forming of Ural Federal University the universal “Concept of optimum calibration” was developed. The general ideology of optimization of roll pass design was explained in Report 1 of the article. Within the developed intention, concepts of the continuous and discrete space of calibers are considered. For creation of the discrete space of calibers it is offered to use a classification method. As measurements of calibers space are the most significant, simple and evident characteristics of calibers are used. As an example of use of the considered procedure, creation of the discrete space of rail calibers was executed. At the same time, as measurements (characteristics) of calibers space technological and geometrical features of rail calibers are used: T – caliber type on character and the purposes of forming, C – existence of axes of symmetry and P – provision of the connector of caliber rolls or quantity of the rolls forming caliber. Filling of calibers space was carried out

in the course of structural analysis of working calibrations of the rolls known from literature and factory atlases of calibrations. The calibers space is presented in the form of the three-dimensional table reflecting a complete set of all possible rail calibers in the structured form. It was set that for each of the selected characteristics of calibers (T, C and P) the limited number of levels of variation exists (6, 4, 7, respectively). Geometrically it is possible only 97 combinations of levels of characteristics, each combination are single-digit defined by a type of specific rail caliber and has native formal code. Change in level of any characteristic in this table leads to transition in calibers space to other point of this space i.e. using caliber of other type. The present approach to the construction of calibers space can be used to create computer-aided design and optimization of roll pass design.

Keywords: section rolling, rail, roll pass design, caliber, system analysis, optimization of roll pass design, optimality criterion.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-5-364-371

REFERENCES

1. Sadovskii V.N. *Sistemnyi podkhod i obshchaya teoriya sistem: status, osnovnye problemy i perspektivy razvitiya* [System approach

- and general theory of systems: status, main problems and prospects of development]. Moscow: Nauka, 1980, 384 p. (In Russ.).
2. Mesarovic M.D., Takahara Yasuhiko. *General systems theory: mathematical foundations*. New York: Academic Press, 1975, 268 p. (Russ.ed.: Mesarovic M., Takahara Ya. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy*. Moscow: Mir, 1978.).
 3. Skorokhodov A.N., Polukhin P.I., Ilyukovich B.M. etc. *Optimizatsiya prokatchnogo proizvodstva* [Optimization of rolling production]. Moscow: Metallurgiya, 1983, 432 p. (In Russ.).
 4. Shchedrovitskii G.P. Principles and general scheme of the methodological organization of system and structural research and development. In: *Sistemnye issledovaniya. Metodologicheskie problemy: Ezhegodnik 1981* [System research. Methodological problems: Yearbook 1981]. Moscow: Nauka, 1981, pp. 193–227. (In Russ.).
 5. Mikhailenko A.M., Shvarts D.L. System approach to optimization of rolls design. *Proizvodstvo prokata*. 2016, no. 12, pp. 29–32. (In Russ.).
 6. Mikhailenko A.M., Shvarts D.L. The concept of optimal bar roll design. Report 1. Basic provisions. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2018, no. 1, pp. 21–27.
 7. Voronin Yu.A. *Teoriya klassifitsirovaniya i ee prilozheniya* [Theory of classification and its application]. Novosibirsk: Nauka, 1985, 232 p. (In Russ.).
 8. Brekhovskikh S.M. *Osnovy funktsional'noi sistemologii material'nykh ob"ektov* [Bases of functional systems science of material objects]. Moscow: Nauka, 1986, 192 p. (In Russ.).
 9. *GOST R 51685-2013. Rel'sy zheleznodorozhnye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST R 51685-2013. Railway rails. General specifications]. Moscow: Standartinform, 2014, 96 p. (In Russ.).
 10. Ilyukovich B.M., Nekhaev M.E., Merkur'ev S.E. *Prokatka i kalibrovka* [Rolling and rolls design]. Ilyukovich B.M. ed. Vol. 4. Dnepropetrovsk: Dnipro-VAL, 2002, 824 p. (In Russ.).
 11. Pavlov V.V., Dorofeev V.V., Pyataikin E.M., Erastov V.V. *Razrabotka progressivnykh kalibrovok i tekhnologii prokatki na stanakh Novokuznetskogo metallurgicheskogo kombinata* [Development of progressive pass design and technologies of rolling on the mills of Novokuznetsk Metallurgical Plant]. Novosibirsk: Nauka, 2006, 224 p. (In Russ.).
 12. Polyakov V.V., Artamonova E.A. *Razvitie prokatki rel'sov za rubezhom. Obzor. inform.* [Development of rails rolling abroad. Review]. Moscow: In-t "Chermetinformatsiya". 1989, 30 p. (In Russ.).
 13. Polyakov V.V., Velikanov A.V. *Osnovy tekhnologii proizvodstva zheleznodorozhnykh rel'sov* [Basics of production technology of railway rails]. Moscow: Metallurgiya, 1990, 416 p. (In Russ.).
 14. Smirnov V.K., Parshin V.A., Smirnov M.V. etc. Production of rails with application of universal stand abroad. *Chernaya metallurgiya: Byull. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 1983, no. 20, pp. 28–39. (In Russ.).
 15. Polukhin P.I., Gridina Yu.V., Zarvin E.Ya. *Prokatka i termoobrabotka rel'sov* [Rolling and heat treatment of rails]. Moscow: Metallurgizdat, 1962, 510 p. (In Russ.).
 16. Zinov'ev A.V. PSP process for production middle- and large sectional bars and rails. *Novosti cherno metallurgii za rubezhom*. 2003, no. 2, pp. 69–72. (In Russ.).
 17. Matveev B.N. Modern rail-rolling mills. *Chernaya metallurgiya. Byul. in-ta "Chermetinformatsiya"*. 2006, no. 2, pp. 40–43. (In Russ.).
 18. Sveikovski U., Nerzak T. Production of quality rails using of compact universal stands and Rail Cool technologies. *Metallurgicheskoe proizvodstvo i tekhnologiya (MRT). Russkoe izdanie*. 2006, no. 2, pp. 50–56. (In Russ.).
 19. Gromov V.E., Kulagin N.M., Dorofeev V.V. etc. *Aktual'nye problemy proizvodstva rel'sov: monografiya* [Current problems of rails production: Monograph]. Novokuznetsk: SibGIU, 2001, 260 p. (In Russ.).
 20. Smirnov V.K., Shilov V.A., Inatovich Yu.V. *Kalibrovka prokatnykh valkov* [Rolls design]. Moscow: Teplotekhnika, 2010, 490 p. (In Russ.).

Information about the authors:

A.M. Mikhailenko, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Metal Forming"

D.L. Shvarts, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Metal Forming" (sd1190977@mail.ru)

Received July 14, 2016