



УДК 621.771

**В.А. Андреященко**  
Екибастузский инженерно-технический институт  
им. акад. К. Сатпаева  
г. Экибастуз, Республика Казахстан  
E-mail: Vi-ta.z@mail.ru  
Дата поступления 03.10.2020

## АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС ТОО «ПРОММАШКОМПЛЕКТ»

### Аннотация

В работе выполнен анализ качества железнодорожных колес, выпущенных ТОО «Проммашкомплект» в 2019 году, который показал, что в целом качество колес соответствует требованиям ГОСТ 10791-2011 «Колеса цельнокатаные, технические условия. Комплексный показатель качества железнодорожных колес находится в диапазоне от 0,97 до 1. С целью снижения брака рекомендовано проведение входного контроля химического состава и корректировка режима обработки на основе уточненных данных по химическому составу.

**Ключевые слова:** железнодорожное колесо, качество, химический состав, механические свойства, квалитетический анализ.

### Введение

Уровень развития железнодорожного транспорта влияет на общее развитие экономики страны. Важность железнодорожных перевозок заключается в том, что осуществляя перевозки в соответствии с запросами производства, они дают возможность нормальному развитию и функционированию всех отраслей, регионов и предприятий, работа которых зависит от своевременных перевозок, тем самым обеспечивает экономическую целостность и безопасность страны.

В Транспортной стратегии Казахстана поставлены задачи интеграции в общемировую транспортную систему, создания современной инфраструктуры, развития и эффективного использования транзитного потенциала. Основным приоритетным направлением в долгосрочной перспективе является формирование в республике полноценной, современной сети железных дорог – комфортных для трансконтинентального движения грузов, а также удобных для международного и внутреннего туризма.

Географическое положение страны создает уникальные возможности развития транзитных железнодорожных перевозок, поскольку именно через Казахстан проходят кратчайшие маршруты в Европу из

стран Юго-восточной Азии (включая Китай), из Европы в Центральную и Южную Азию.

Основной задачей колесопрокатного комплекса ТОО «Проммашкомплект» является производство железнодорожных цельнокатаных колес, бандажей, центров и шестерен большого диаметра для подвижного состава железных дорог. Оборудование предприятия позволяет производить колеса по требованиям современных стандартов (ГОСТ 10791-2011, AAR, IS) в том числе и колеса для локомотивов и высокоскоростного пассажирского подвижного состава.

Для производства продукции высокого качества применяется широкий спектр оборудования для нагрева металла перед прокаткой, с использованием электроэнергии, оборудования для прессопрокатной деформации металла, автоматизированные процессы термической обработки, полнопрофильной механической обработки поверхности колес, дробеметного упрочнения дисков колес, проведение всех видов неразрушающего контроля качества продукции. Обеспечение стабильной и безаварийной работы цеха осуществляется за счет использования в производственном процессе автоматизированных транспортных систем и роботов-манипуляторов.

Цель настоящего исследования заключается в анализе качества железнодорожных колес, производимых на ТОО «Проммашкомплект».

### Основная часть

Качество железнодорожных колес, получаемых на ТОО «Проммашкомплект» оценивалось за 2019 год. Для оценки качества была выбрана наиболее распространенная сталь для производства железнодорожных колес, эксплуатируемых на территории СНГ – колесная сталь марки 2.

Требования ГОСТ 10791-2011 [1] по химическому составу и уровню механических характеристик, каждый из которых является единичным показателем качества, приведены в таблицах 1 и 2. Выборка состояла из 234 данных сдаточных испытаний всех колес, произведенных из колесной стали марки 2 в 2019 году. Колеса отбирались по одному из партии, партия составляет 180-200 колес. Для проведения статистического анализа результатов испытаний вся выборка была проверена на нормальность. В ходе проверки выявлено, что такие элементы, как углерод, кремний, марганец, сера и фосфор имеют нормальный закон

распределения, однако статистическое распределение остальных элементов состава стали отличается от нормального распределения. Это может быть связано с их низким содержанием в стали, а также тем, что количественно с учетом погрешности прибора их содержание близко к нижнему допустимому пределу определения элемента прибором. Распределение относительной частоты появления значений механических свойств железнодорожных колес является нормальным. Это свидетельствует о том, что в данной выборке отсутствуют грубые промахи и грубые погрешности, а также ошибки, связанные с человеческим фактором и др., следовательно, такую выборку можно принять для последующего анализа.

После проверки выборки на нормальность решено перейти к анализу качества железнодорожных колес. На основе результатов сдаточных испытаний железнодорожных колес из колесной стали марки 2 построены графические карты по каждому единичному показателю качества. Для удобства проведения анализа на картах нанесены предельно допустимые границы каждого показателя качества.

Таблица 1

Требования ГОСТ 10791-2011 [1] к массовой доле элементов колесной стали марки 2, содержание в %

Химический элемент	C	Si	Mn	P
Содержание, %	0,55-0,63 <sup>+0,03</sup> <sub>-0,02</sub>	0,22-0,45±0,03	0,5-0,9 <sup>+0,05</sup> <sub>-0,03</sub>	≤0,03+0,005
Химический элемент	S	Cr	Mo	Nb
Содержание, %	≤0,025+0,05	≤0,3+0,02	≤0,08	≤0,05
Химический элемент	Ti	Ni	Cu	V
Содержание, %	≤0,03+0,006	≤0,3+0,02	≤0,3+0,03	≤0,1+0,02

Таблица 2

Требования ГОСТ 10791-2011 [1] к механическим свойствам железнодорожных колес из колесной стали марки 2

Определяемая характеристика (параметр)	Ед. изм.	Значение параметра
Временное сопротивление обода $\sigma_B$	МПа	910-1110
Относительное удлинение обода $\delta$	%	не менее 8
Относительное сужение обода $\psi$		не менее 14
Ударная вязкость диска КСУ, при +20°C	Дж/см <sup>2</sup>	не менее 20
Твердость обода на глубине 30 мм	НВ	≥255
Твердость обода в точке А		твердость должна быть ниже твердости на глубине 30 мм от поверхности катания не менее чем на 15 НВ

Анализ полученных данных по химическому составу стали железнодорожных колес показал, что все (кроме углерода) элементы химического состава стали находятся в рамках регламентируемых ГОСТ 10791-2011 диапазонов. Количество углерода для некоторых колес выходит за требуемый диапазон значений (рисунок 1). При этом наблюдается как превышение по количеству углерода, так и пониженное его содержание. Стоит отметить, что отклонение в количестве углерода не сопровождается отклонением по другим химическим элементам. В целом кремний и марганец находятся в диапазоне, смещенном к верхней допустимой границе. Как следует из анализа литературных данных, повышенное в допустимом диапазоне количество кремния способствует росту характеристик прочности при неизменном уровне пластичности. При этом такие вредные примеси, как сера и фосфор находятся существенно ниже допустимого диапазона значений. Такой уровень этих элементов исключает образование микро- и макроструктурных дефектов, и существенной ликвации. Предположительно, сталь с пониженным содержанием вредных примесей должна показывать хорошие данные по количеству неметаллических включений в структуре металла. Сталь имеет весьма низкое содержание таких элементов, как титан, ванадий, ниобий. Распределение этих элементов при анализе показало отклонение от нормального закона распределения.

Как отмечено выше, отклонения по углероду можно разделить на две основные группы. Первая группа с повышенным количеством углерода, вторая группа с пониженным количеством углерода. В целом 4% железнодорожных колес имеют завышенное количество углерода и 2 % от всех произведенных колес имеют заниженное по углероду количество. Стоит отметить, что максимальное значение углерода не превышает 1 относит. % от верхнего значения и находится в пределах погрешности измерения, которая составляет 0,04. Минимальное

значение углерода отличается от номинального значения также не более чем на 1 относит. %, и, аналогично, находится в пределах погрешности измерения. Таким образом, можно сделать вывод о практически полном соответствии химического состава стали регламентируемым параметрам.

Так как непрерывнолитые заготовки для производства железнодорожных колес приобретаются, а не производятся на данном предприятии, то по металлургическому признаку выработка рекомендаций не требуется и имеет смысл перейти к оценке качества механических характеристик произведенных железнодорожных колес. Уровень механических характеристик железнодорожных колес показан на рисунке 2.

В целом механические характеристики железнодорожных колес соответствуют требованиям ГОСТ 10791-2011. Однако результаты анализа показали, 13 колес имеют отклонения по уровню временного сопротивления, что составляет 6% от общего количества произведенных железнодорожных колес. При этом во всех случаях отклонения относятся к заниженным значениям предела прочности. Максимальное отклонение значений временного сопротивления составляет 12%. При этом стоит отметить, что величина отклонения от регламентируемого уровня предела прочности существенно превышают величину погрешности измерения. По остальным показателям механические характеристики находятся в допустимых пределах.

Также в результате анализа выявлены отклонения по величинам твердости на глубине 30 мм от обода колеса. Отклонения имеют 3 колеса, что составляет около 1% от всех колес. Максимальное отклонение составляет 6% от нормированного показателя. Стоит отметить, что отклонения по значениям твердости имеют колеса, не имеющие отклонений по другим показателям качества.

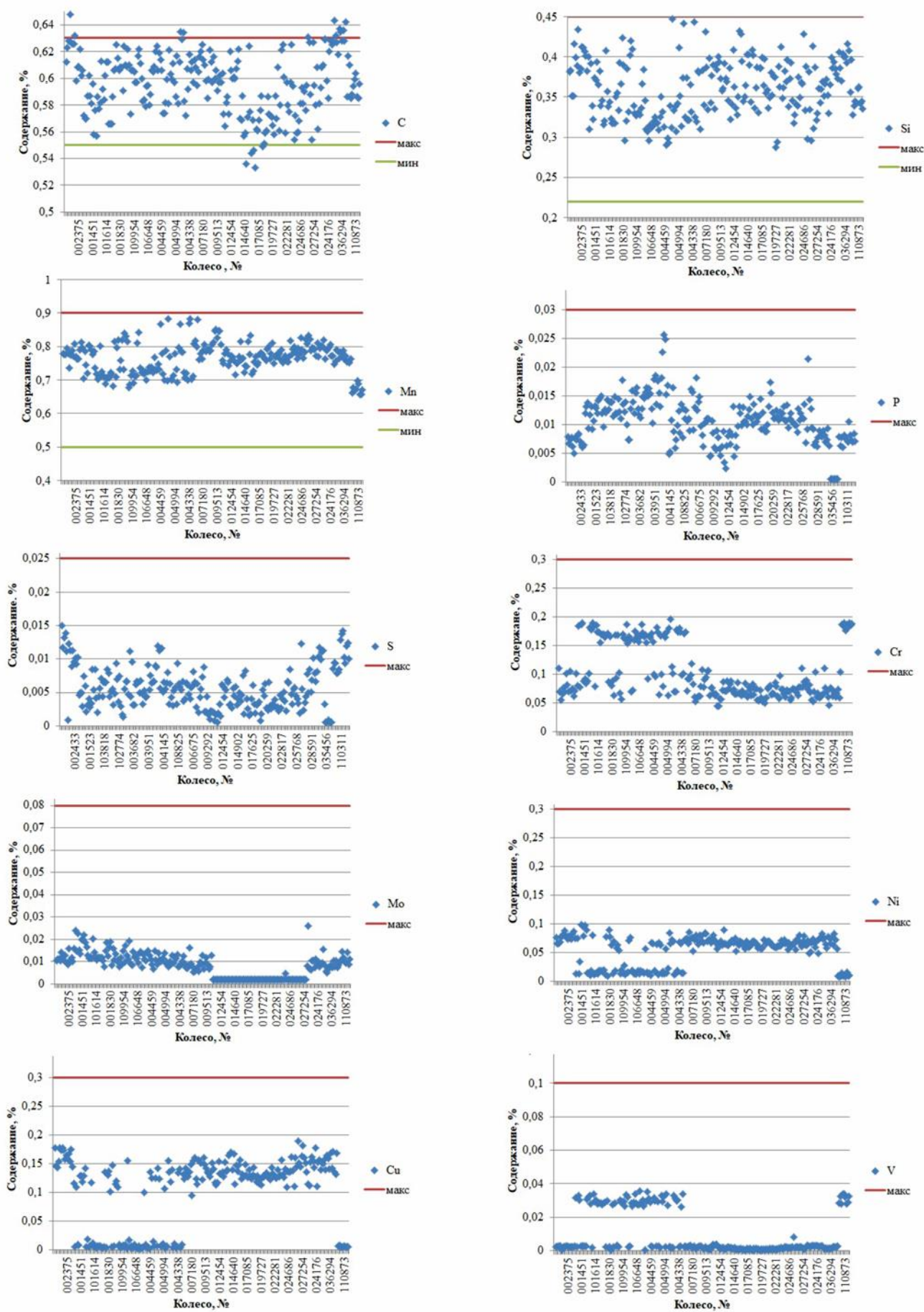


Рисунок 1. Графические карты распределения химического состава

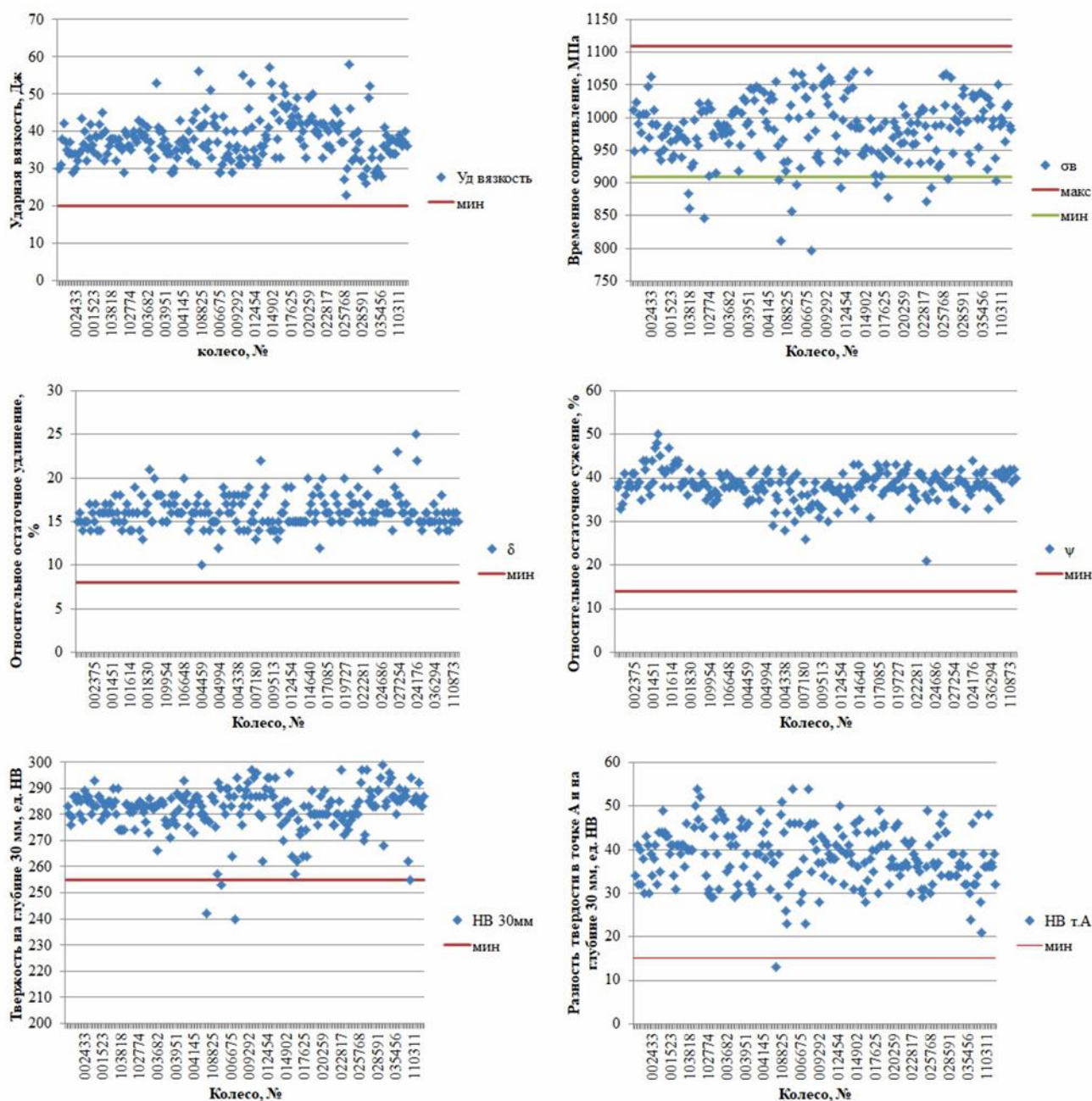


Рисунок 2. Графические карты распределения механических свойств

Для оценки качества воспользуемся построением обобщенного показателя качества. С этой целью частные отклики обобщим, воспользовавшись формулой (1) [2]:

$$Y_i = \sqrt[N]{\prod_{N=1}^N u_{ui}}, \quad (1)$$

где  $Y_i$  – обобщенный показатель качества для каждого исследуемого железнодорожного колеса;

$\prod_{N=1}^N u_{ui}$  – произведение частных откликов;

$u_{ui}$  – частные отклики.

Такое обобщение частных откликов возможно только в случае перевода частных откликов в безразмерные величины. Для каждого частного отклика введем следующие преобразования:

$$C = \begin{cases} 1, & \text{если } 0,55 \leq C \leq 0,63 \\ 0, & \text{если } C < 0,55 \text{ и } C > 0,63 \end{cases}$$

$$Si = \begin{cases} 1, & \text{если } 0,22 \leq Si \leq 0,45 \\ 0, & \text{если } Si < 0,22 \text{ и } Si > 0,45 \end{cases}$$

$$Mn = \begin{cases} 1, & \text{если } 0,5 \leq Mn \leq 0,9 \\ 0, & \text{если } Mn < 0,5 \text{ и } Mn > 0,9 \end{cases}$$

$$P = \begin{cases} 1, & \text{если } P \leq 0,03 \\ 0, & \text{если } P > 0,03 \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 1, & \text{если } S \leq 0,025 \\ 0, & \text{если } S > 0,025 \end{cases}$$

$$Cr = \begin{cases} 1, & \text{если } Cr \leq 0,3 \\ 0, & \text{если } Cr > 0,3 \end{cases}$$

$$Mo = \begin{cases} 1, & \text{если } Mo \leq 0,08 \\ 0, & \text{если } Mo > 0,08 \end{cases}$$

$$Nb = \begin{cases} 1, & \text{если } Nb \leq 0,05 \\ 0, & \text{если } Nb > 0,05 \end{cases}$$

$$Ti = \begin{cases} 1, & \text{если } Ti \leq 0,03 \\ 0, & \text{если } Ti > 0,03 \end{cases}$$

$$Ni = \begin{cases} 1, & \text{если } Ni \leq 0,3 \\ 0, & \text{если } Ni > 0,3 \end{cases}$$

$$Cu = \begin{cases} 1, & \text{если } Cu \leq 0,3 \\ 0, & \text{если } Cu > 0,3 \end{cases}$$

$$V = \begin{cases} 1, & \text{если } V \leq 0,1 \\ 0, & \text{если } V > 0,1 \end{cases}$$

$$\sigma_B = \begin{cases} 1, & \text{если } 910 \leq \sigma_B \leq 1110 \\ 0, & \text{если } \sigma_B < 910 \text{ и } \sigma_B > 1110 \end{cases}$$

$$\delta = \begin{cases} 1, & \text{если } \delta \geq 8 \\ 0, & \text{если } \delta < 8 \end{cases}$$

$$\psi = \begin{cases} 1, & \text{если } \psi \geq 14 \\ 0, & \text{если } \psi < 14 \end{cases}$$

$$KCU = \begin{cases} 1, & \text{если } KCU \geq 20 \\ 0, & \text{если } KCU < 20 \end{cases}$$

$$НВ = \begin{cases} 1, & \text{если } НВ \geq 255 \\ 0, & \text{если } НВ < 255 \end{cases}$$

$$\Delta НВ = \begin{cases} 1, & \text{если } \Delta НВ \geq 15 \\ 0, & \text{если } \Delta НВ < 15 \end{cases}$$

Преобразовав частные отклики по приведенным выше условиям (регламентированы ГОСТ 10791-2011) получили значения частных откликов для каждого анализируемого колеса. В случае если хотя бы один из показателей качества не удовлетворяет требуемым условиям, то обобщенный показатель качества обращается в 0. В случае, когда все анализируемые характеристики находятся в заданном диапазоне, обобщенный показатель качества равен 1. Таким образом, обнаружено, что годными по химическому составу являются 92% исследованных колес, по механическим свойствам – 93%, и полностью годными по всем показателям являются 86% железнодорожных колес.

Следующим этапом анализа является построение «Дерева свойств» [3] с определением коэффициентов весомости (таблица 3). Коэффициенты весомости были назначены при помощи экспертного метода.

Для перевода единичных показателей качества в нормированные показатели качества воспользовались методикой, приведенной в работе [4]. Был определен обобщенный показатель качества  $K_o$  для всех железнодорожных колес, произведенных на ТОО «Проммашкомлект» в 2019 году, а также показатели качества с ранжированием по группе показателей качества: показатель качества по химическому составу, механическим свойствам, а также показатель качества структуры стали. Результаты распределения показателя качества по количеству появлений показаны на рисунке 3.

Таблица 3

Иерархическая совокупность свойств железнодорожных колес  
из колесной стали марки 2

$i=0$	$i=1$	$i=2$
Качество железнодорожных колес – $K_0$	Химический состав $k_{1.1}; \alpha=0,3$	C (углерод) $r_{2.1}; \alpha=0,2$
		Si (кремний) $r_{2.2}; \alpha=0,2$
		Mn (марганец) $r_{2.3}; \alpha=0,1$
		Величина углеродного эквивалента ( $C_{ЭКВ}$ ) $r_{2.4}; \alpha=0,5$
	Механические свойства $k_{1.2}; \alpha=0,4$	Временное сопротивление обода $\sigma_B$ $r_{2.5}; \alpha=0,1$
		Относительное удлинение обода $\delta$ $r_{2.6}; \alpha=0,1$
		Относительное сужение обода $\psi$ $r_{2.7}; \alpha=0,1$
		Ударная вязкость диска КСУ, при +20°C $r_{2.8}; \alpha=0,1$
		Твердость обода на глубине 30 мм $r_{2.9}; \alpha=0,3$
		Твердость обода в точке А $r_{2.10}; \alpha=0,3$
	Структура стали $k_{1.3}; \alpha=0,3$	Микроструктура $r_{2.11}; \alpha=0,5$
		Макроструктура $r_{2.12}; \alpha=0,5$

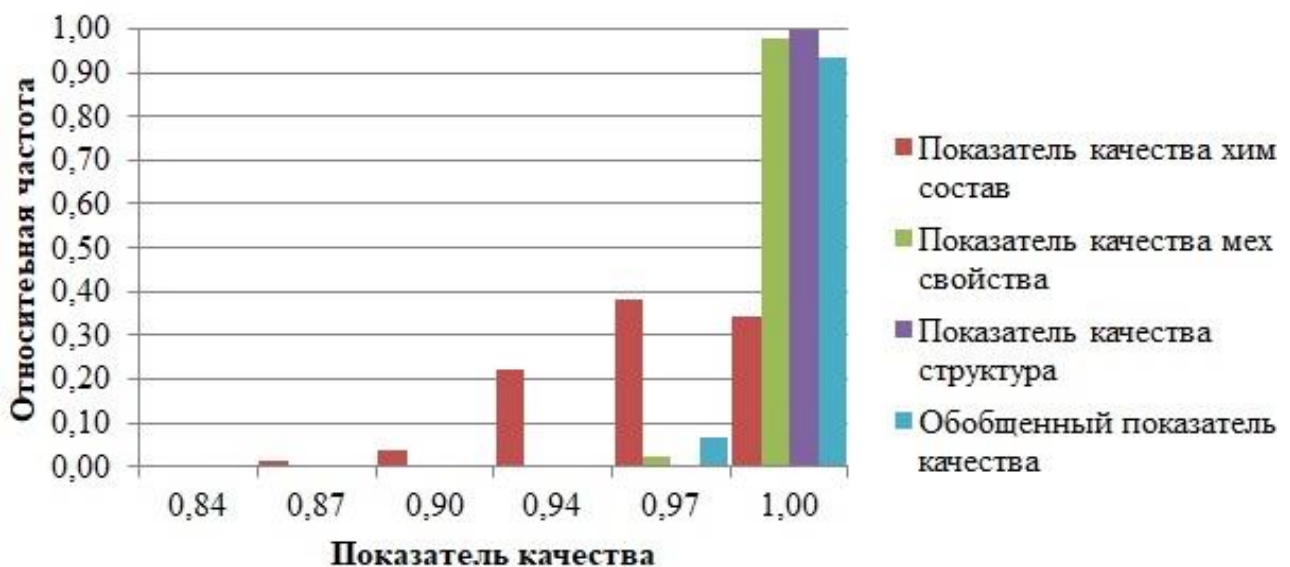


Рисунок 3. Показатель качества железнодорожных колес

Анализ результатов значений показателя качества показал, что наибольшее отклонение наблюдается по химическому составу. При этом распределение является нормальным. Показатель качества по химическому составу находится в диапазоне от 0,84 до 1. Показатель качества по механическим характеристикам находится в диапазоне от 0,97 до 1. Отклонений от идеальных показателей качества по микроструктуре не выявлено. Таким образом, наибольшее влияние на обобщенный показатель качества  $K_0$  оказывает химический состав стали. Отклонение качества по химическому составу вызывает его снижение в наибольшей степени, при этом обобщенный показатель качества  $K_0$  находится в пределах от 0,97 до 1.

### Заключение

Анализ качества железнодорожных колес, выпущенных ТОО «Проммашкомплект» в 2019 году показывает, что в целом качество колес соответствует требованиям ГОСТ 10791-2011 «Колеса цельнокатаные, технические условия. Комплексный показатель качества железнодорожных колес находится в диапазоне от 0,97 до 1. Максимальный вклад в отклонения от единицы вносит химический состав стали. В ряде случаев отклонения по химическому составу вызывают отклонения по механическим свойствам. Отбраковка продукции по

уровню механических характеристик составляет 1,5% от общего количества произведенных железнодорожных колес за 2019 год. Таким образом, с целью снижения брака рекомендовано проведение входного контроля химического состава и корректировка режима обработки на основе уточненных данных по химическому составу.

### Библиографический список

1. ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатаные, технические условия. В 2012–01–01. М.: Стандартиформ. 2011. 27 с.
2. Зорин В.А., Павлов А.П., Пегачков А.А. Контроль качества продукции и услуг: Учебное пособие. М.: МАДИ (ГТУ), 2007. 82с.
3. Комплексная оценка качества арматурного проката, производимого в условиях АО «АМТ» / Кривцова О.Н., Гун Г.С., Кузьмина Н.Ю., Панин Е.А., Насонов А.И. // Качество в обработке материалов. 2015. №2 (4). С. 18-23.
4. Оценка качества арматурной стали СПЦ АО «АМТ» / Кривцова О.Н., Панин Е.А., Кузьмина Н.Ю., Насонов А.И. // Современная металлургия начала нового тысячелетия. К 80-летию НЛМК: сб.науч.тр. МНПК. 2014.Ч.2 С. 26-33.

---

### *Information about the paper in English*

V.A. Andreyashchenko  
Satpayev Ekibastuz Engineering and Technical Institute  
Ekibastuz, Kazakhstan  
E-mail: Vi-ta.z@mail.ru  
Received 03.10.2020

### ANALYSIS OF THE QUALITY OF RAILWAY WHEELS PRODUCED BY LLP PROMMASHKOMPLEKT

#### Abstract

The paper analyzes the quality of railway wheels produced by LLP Prommashkomplekt in 2019 in general compliance with GOST 10791-2011 “Wrought steel railway wheels. Specifications.” An integrated quality factor was within a range of 0.97 to 1. To reduce the amount of rejected products, it is recommended to carry out an incoming control of chemistry and adjust the treatment schedule using updated information about the chemistry.

**Keywords:** railway wheel, quality, chemistry, mechanical properties, qualimetric analysis.

---