

Игорь И. АНОВ

Ленинградский институт инженеров  
железнодорожного транспорта

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОЛЕС РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Содержание. Выполнен анализ технологического обеспечения рабочеспособности колес на стадиях их производства и эксплуатации. Предложена методика исследования и управления качеством функционирования колес на основе системного подхода.

В управлении качеством продукции управление качеством изделий выделяется как самостоятельная комплексная задача для оптимизации качества функционирования изделий (колес рельсово-го транспорта) в техническом аспекте. Качество колес тесно связано с их надежностью. В то же время - это самостоятельные характеристики колес, каждая со своей собственной мерой. В частности, надежность - одна из составляющих качества, функции времени, в течение которого должно работать колесо. Повышение качества функционирования колес, управление их надежностью должно предусматривать действия, направленные на изменение параметров колес, характеристик и условий их производства и восстановления в процессе эксплуатации. Управление надежностью колес при неизменной средней наработке между отказами достигается:

- увеличением вероятности безотказной работы при заданной наработке  $t_1$ , т.е.  $P_2(t_1) > P_1(t_1)$ , где  $P_1(t_1)$  - исходная функция вероятности безотказной работы (рис. I);

- увеличением наработки  $t_2 > t_1$  при заданной вероятности безотказной работы  $P$ , т.е.  $P_2(t_2) = P_1(t_1) = P$ .

При увеличении средней наработки между отказами  $T_2$  достигается одновременно увеличение гамма-процентной наработки

$$T_{P(3)} > T_{P(1)}$$

с заданной вероятностью безотказной работы для любых  $t$ , т.е.

$$P_3(t) > P_1(t)$$

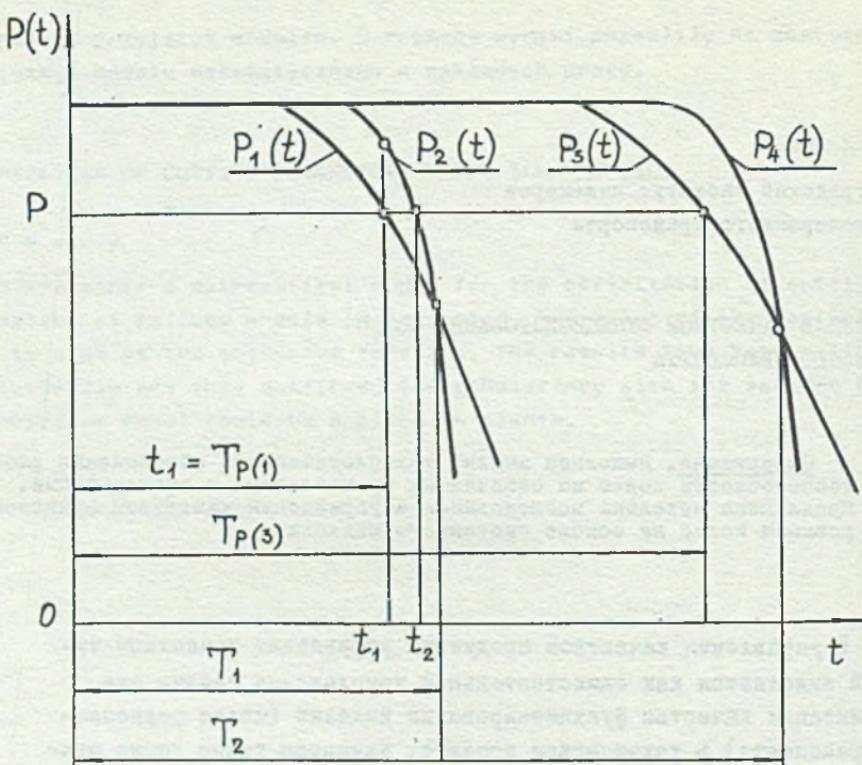


Рис. 16

При сочетании указанных методов управления надёжностью колеса, качеством его функционирования безотказность последнего будет характеризоваться функцией  $P_4(t)$ . Этого можно достигнуть специальными технологическими мероприятиями.

Основным свойством, определяющим надёжность колеса, является его безотказность, так как непрерывное сохранение работоспособности колеса необходимо для обеспечения безопасности движения. Работоспособность характеризуется таким состоянием колеса, при котором оно способно выполнять требования эксплуатации, установленные нормативно-технической документацией. К ним следует отнести нагрузку на ось, скоростной режим эксплуатации и др. При этом колесо также характеризуется совокупностью значений его параметров на данный момент времени. Например, геометрических - толщина диска, толщина обода и др., физико-механических - временное сопротивление, твердость и др.

Рассмотрим некоторые направления технологического обеспечения работоспособности колеса, качества его функционирования на стадиях производства и эксплуатации колёс.

Недостаточная изученность вопросов обрабатываемости колёс и надёжности используемого инструмента ведут к его поломкам, врезам в колесо и последующим переточкам колёс. Например, стандартом установлен размер колеса по кругу катания 950 мм с верхним отклонением 14 мм. При производстве колёс прокатка их и последующая механическая обработка ориентированы на размер 964 мм. При поломке инструмента и врезе его в колесо возникает необходимость повторной механической обработки, и, как следствие, уменьшение его диаметра. Часть работоспособного слоя металла обода переводится в стружку, уменьшается диаметр колеса, снижается его ресурс. Т.е. для уменьшения врезов, увеличения наработки при заданной вероятности безотказной работы (ресурса колеса) и экономии транспортного металла необходимо повышение надёжности работы инструмента, исследование вопросов обрабатываемости колёсной стали.

Представим технический ресурс колеса в виде площади (рис2) ОАСН, ограниченной осями координат и кривой  $\rho(x)$  – функцией износстойкости металла обода [1]. Как было отмечено выше, на

Схема представления ресурса колеса

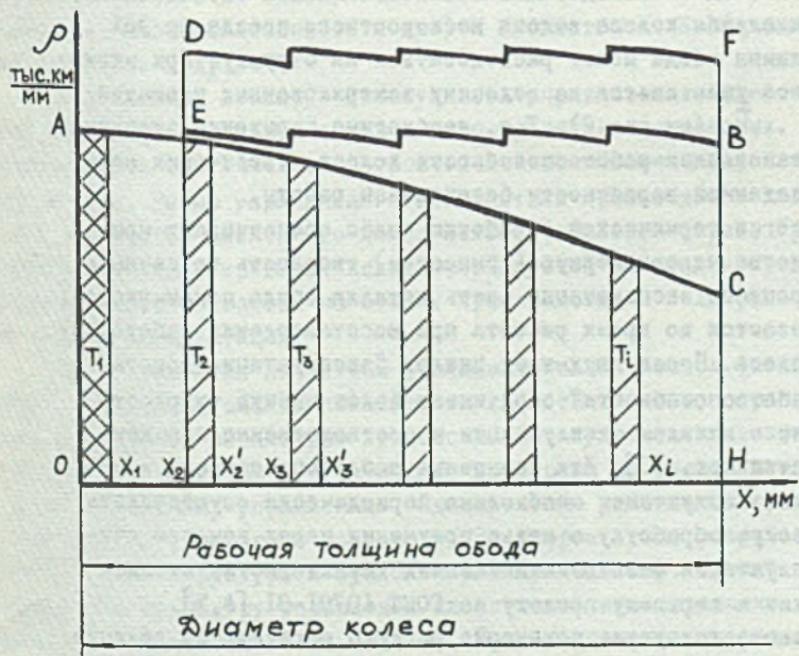


Рис. 2

стадии производства часть работоспособного слоя металла обода переводится в стружку. При этом ресурс колеса уменьшается на величину заштрихованной площади  $T_1$  (см.рис.2).

Технология производства колеса определяет возможность появления на поверхности его диска микронеровностей, обезуглероженности, "морщинистости" и др. дефектов [2,3]. Не контролируется уровень остаточных напряжений диска колеса и другие характеристики качества его поверхности. В результате часть колес выходит из строя по усталостным показателям. Технологией производства колес должны быть обеспечены требуемые параметры качества поверхностей диска и других элементов колеса и необходимая циклическая несущая способность, т.е. обеспечено увеличение вероятности безотказной работы при заданной наработке.

Восстановление работоспособности колеса в процессе эксплуатации предусматривает действия, направленные на восстановление колеса до состояния, при котором оно будет способно выполнять требования эксплуатации при установленных условиях функционирования. Традиционно производится восстановление только геометрических параметров профиля катания колеса. При этом восстановление ведется незакономично. Из-за дефектов на поверхности катания, возникающих в процессе эксплуатации (ползны, навары и т.д.), и возможности поломки инструмента при восстановлении профиля, обработка ведется "под корку", т.е. снимается работоспособный слой металла обода. Исследования ВНИИЖТа и ЛИИЖТа [2] показали, что за срок службы колеса вагона межскоростного поезда до 36% рабочей толщины обода может расходоваться на стружку. При этом ресурс колеса уменьшается на величину заштрихованных площадей  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4 \dots T_n$  (см.рис.2). Т.е. необходимо повышение экономичности восстановления работоспособности колеса, увеличения наработки при заданной вероятности безотказной работы.

Технология термической обработки колёс обеспечивает при их производстве неравномерную (убывающую) твердость по сечению обода. В процессе эксплуатации часть металла обода изнашивается, а часть срезается во время ремонта при восстановлении работоспособности колеса. После двух-трёх циклов "эксплуатация-восстановление работоспособности" обод имеет более низкую твердость по сравнению с началом эксплуатации и соответственно пониженную износстойкость [3]. Для повышения работоспособности колеса на стадии эксплуатации необходимо периодически осуществлять его термическую обработку с целью получения перед началом очередной эксплуатации физико-механических характеристик металла обода близких к верхнему пределу по ГОСТ 10791-81 [4,5]. На рис. 2 соответствующее повышение ресурса определится величиной площади СВЕ.

Износостойкость металла обода в настоящее время не удовлетворяет требованиям эксплуатации, особенно в связи с возросшим числом нарушений исправного состояния колёс в результате подреза гребня. С целью повышения ресурса колеса, повышения его износостойкости целесообразно в процессе эксплуатации не только восстанавливать, но и улучшать в пределах требований стандарта физико-механические свойства металла обода, а также параметры атомно-кристаллической структуры (размер блоков, углы их разориентирования и др.) его поверхностного слоя. На рис.2 соответствующее повышение ресурса определяется величиной площади ВГДЕ, т.е. будет получено увеличение наработки при заданной вероятности безотказной работы.

Выполненный анализ некоторых направлений технологического обеспечения работоспособности цельнокатанных колёс на стадиях их производства и эксплуатации показывает имеющиеся возможности совершенствования технологического обеспечения работоспособности колеса, повышения качества его функционирования.

Рассмотрим вопросы повышения работоспособности, качества функционирования колеса, как систему управления [6]. Под системой понимается комплекс взаимосвязанных элементов, функционирование которых приводит к выполнению поставленной цели.

Объект управления. Им является качество функционирования колёс, состоящее из совокупности свойств отдельных колёс (надежность, работоспособность и др.) и множества колёс (взаимозаменяемость и др.).

Управляющий объект – совокупность управляющих воздействий на колесо (колесную пару) в виде принятия технических решений, технологического метрологического обеспечения, стандартизации. Выбор управляющего воздействия производят в зависимости от стадии жизненного цикла колеса (колесной пары). Уровень качества функционирования колеса формируется на стадии проектирования, обеспечивается на стадии производства и поддерживается на стадии эксплуатации.

При управлении качеством функционирования колеса (колесной пары) необходима оценка показателей качества колеса, ограничений, критериев, параметров процессов. Совокупность номенклатуры показателей качества и ограничений формируют на первом этапе (рис.3) программу управления. Одновременно уточняются границы комплексного управления качеством. На втором этапе разрабатывается схема структуры и функционирования системы. Третий этап определяет процедуру управления качеством – моделирование, построение математических моделей. При моделировании решаются три задачи: анализа, синтеза и технического контроля. На чет-

вертом этапе определяются параметры и решаются вопросы их технологического обеспечения.

Решение задач анализа и синтеза может быть проиллюстрировано общим функциональным описанием системы.

Инвариант рассматриваемой системы  $S$  (качество функционирования колеса) определяется как преобразование входа  $X$  в выход  $Y$  посредством некоторого оператора  $F$

$$S : X^F \rightarrow Y$$

где  $X$  и  $Y$  - множества, имеющие реальное содержание (анализ).

Например, входы - структура металла, физико-механические свойства и т.д.; выходы - износостойкость, циклическая несущая способность и т.д.

В системе, помимо входных и выходных элементов, имеется управляющее множество. Если зафиксировать роль управляющего множества  $W$ , систему можно задать отображением

$$X \cdot W^F \rightarrow Y$$

#### ЭТАПЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РАБОТЫ КОЛСА

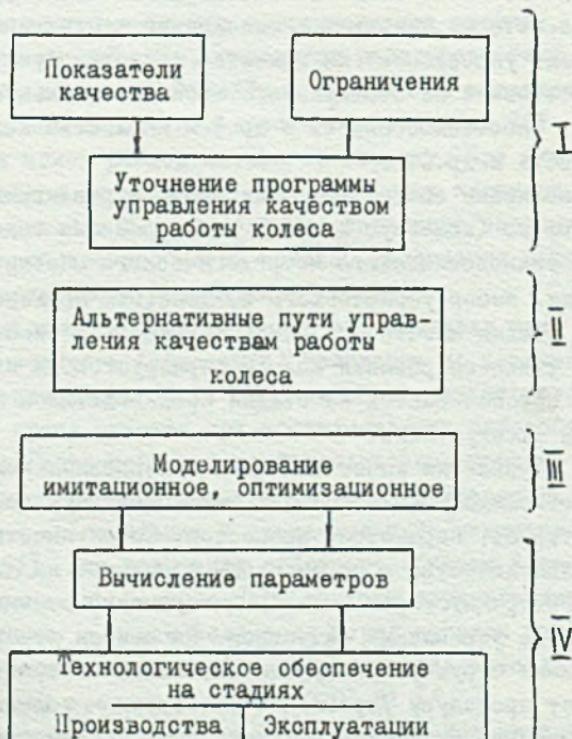


Рис. 3

Если на систему действуют неопределенные внешние возмущения, то система осуществляет отображение

$$S: X \times W \times \mathcal{E} \rightarrow Y$$

Цель управления качеством функционирования колеса состоит в оптимизации функции цели решением задачи синтеза. Аналитически это записывается так. Задана система, осуществляющая отображение  $X \times W \times \mathcal{E} \rightarrow Y$  и функция

$$g: X \times W \times Y \rightarrow \{G\}$$

отображающая множество входных, управляющих и выходных элементов в множество  $\{G\}$ , частично или полностью упорядоченное отношением. Функция  $g$  может быть задана двумя функциями

$$F: X \times W \rightarrow Y \quad \text{и} \quad G: X \times W \times Y \rightarrow \{G\}$$

или  $g(x, u) = G[x, u, F(x, u)]$  где  $u \in W; x \in X$

Поскольку цель состоит в комплексной оптимизации параметров цельнокатаного колеса, то задача синтеза при оптимизации сводится к условию: дано подмножество  $\mathcal{A}_f(X)$ , требуется найти  $x^* \in \mathcal{A}_f$  такое, что для всех  $x$  из  $\mathcal{A}_f$

$$g(x) \geq g(x^*)$$

Здесь  $\mathcal{A}_f$  – множество допустимых решений, а элемент  $x^*$  – решение задачи  $(g, \mathcal{A}_f)$ . В определении  $g(x^*)$  цель системы состоит в отыскании  $\sup_{x \in \mathcal{A}_f} g(x)$ .

На конечный результат управления качеством функционирования колеса влияют три уровня требований к системе: к методологии, управляемому и управляющему объектам.

Общие правила системного подхода [6] определяют следующие требования к методологии системы: относительность, целенаправленность, адаптивность.

Объектами управления являются качество функционирования готового колеса, его формирование, обеспечение и поддержание (повышение работоспособности). Эти процессы – непосредственные объекты управления и совместно с качеством функционирования колеса интерпретируются адекватным математическим описанием.

При обеспечении качества функционирования колеса необходимо соблюдать следующие требования: функционирование по совокупности показателей качества, их полноту и детализацию. Полнота показателей качества характеризует уровень охвата управляющих параметров, существенно влияющих на функционирование колеса.

Детализация заключается в доведении отклонений показателей качества до допусков на каждый его вид (размер, форма, жероховатость, остаточные напряжения, наклёт и др.).

Рассмотрим, например, первое направление повышения качества функционирования колеса, совершенствования технологического обеспечения его работоспособности за счет сохранения металла обода на стадии производства. Т.е. ставится задача увеличения наработки при заданной вероятности безотказной работы колеса. Эту задачу будем рассматривать как единый комплекс, состоящий из взаимосвязанных частей. Под комплексом понимаем технологическую систему механической обработки колеса (ТСМОК). Структурная схема [7] ТСМОК может быть представлена в следующем виде (рис.4). Принятая схема исследования ТСМОК на основе имитационного моделирования использует три основных вектора. Вектор входных параметров  $\bar{X}$ , вектор управляющих параметров  $\bar{W}$ , и вектор выходных параметров  $\bar{Y}$ .

Вектор  $\bar{X}$  представляет параметры операции обработки резанием, которые не меняются в процессе использования расчетной модели: физико-механические свойства основного материала обрабатываемого колеса, его размеры, форма; характеристики износостойкости и прочности инструментального материала и др.

Вектор  $\bar{W}$  включает все те основные параметры из множества допустимых, которые должен выбрать разработчик процесса для реализации поставленной технологической задачи: параметры режима обработки, оборудование, инструмент, параметры нагружения инструмента, допустимые отклонения режима обработки и др.

Вектор  $\bar{Y}$  содержит три группы параметров, определяющих частные критерии, характеризующие технический уровень изготовленных колес, технологического процесса и технический уровень инструмента.

Частные критерии оценки технологического процесса, являющиеся параметрами модели, требуют, чтобы модель воспроизводила во взаимосвязи поведение обрабатываемого колеса, инструмента и оборудования в ходе реализации технологического процесса. Так, имитационную модель процесса обработки колеса можно представить следующими взаимосвязанными моделями (рис.5). Имитационная модель процесса позволит оптимизировать значение частных критериев оценки технологического процесса с использованием принципа декомпозиции, а также произвести выбор оптимального варианта технологического процесса на основе значений критериев оценки технологического процесса при различных управлениях. На моделях 1,5 решаются оптимизационные эксперименты. С моделями 2,3,4 проводятся имитационные эксперименты.

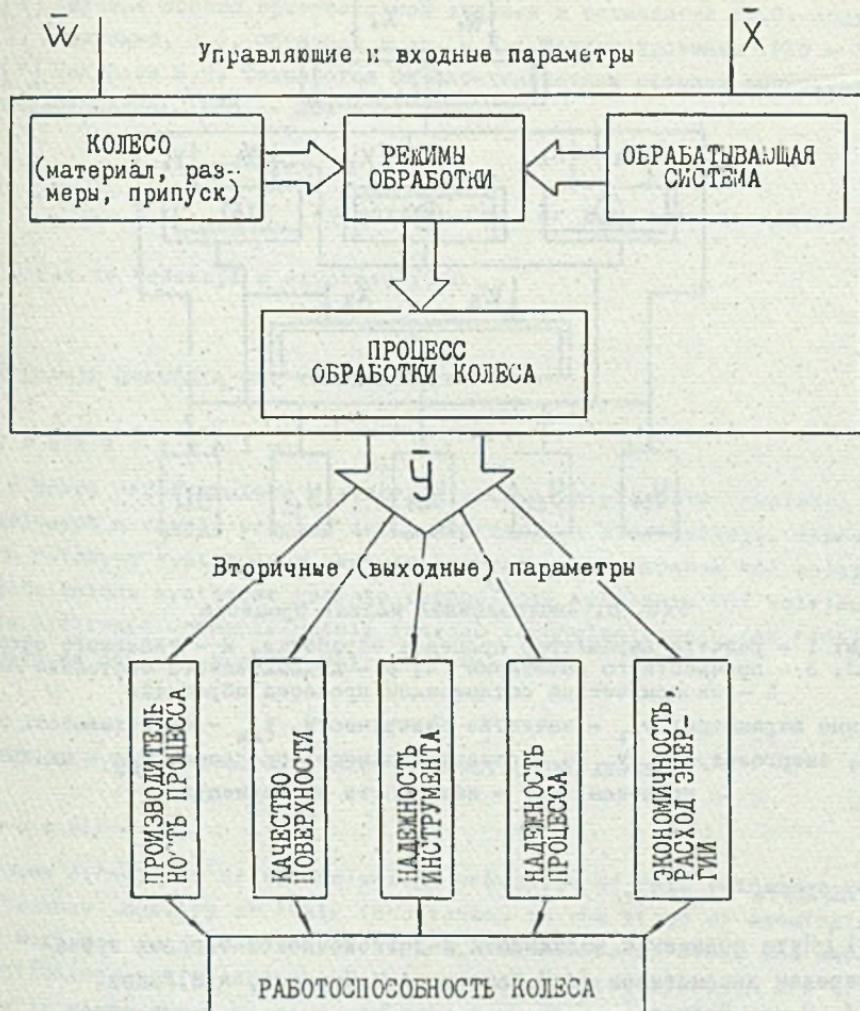


Рис. 4

Рассмотренная методика использована для анализа и других направлений совершенствования технологического обеспечения работоспособности колёс.

Таким образом, решение важной для подвижного состава проблемы повышения качества функционирования колеса, экономии транспортного металла может быть успешно осуществлено путем совершенствования ряда направлений технологического обеспечения его работоспособности на основе системного подхода.

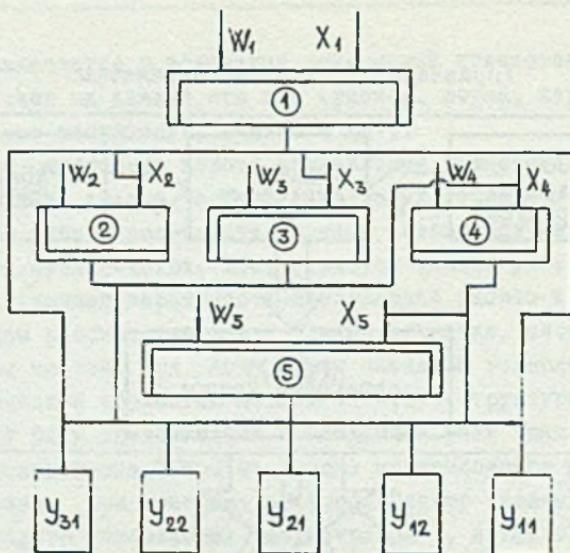


Рис. 5. Имитационная модель процесса

Модели: 1 - расчета параметров процесса обработки, 2 - теплового состояния РЛ, 3 - прочностного состояния РЛ, 4 - динамического состояния РЛ, 5 - экономической оптимизации процесса обработки

Выходные параметры:  $y_{11}$  - качество поверхности,  $y_{12}$  - себестоимость обработки, энергозатраты,  $y_{21}$  - производительность процесса,  $y_{22}$  - надежность процесса,  $y_{31}$  - надежность инструмента

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пути повышения надёжности и долговечности тяговых зубчатых передач локомотивов /М.М.Машнев, А.И.Иунихин, А.И.Рябов и др./. В кн. Расчет и конструирование транспортных механизмов. Тр. ЛИИМТ, вып.414. - Л.: ЛИИМТ, 1977. - С.3-17.
- [2] Богданов А.Р., Чурсин В.Г. Эксплуатация и ремонт колёсных пар вагонов. - М.: Транспорт, 1985. - 270 с.
- [3] Школьник Л.М., Парышев Ю.М., Вихрова А.А. Эволюция технических условий на вагонные колёса./Вестник ВНИИМТ. - 1986. - № 2. - С.35-39.
- [4] Способ восстановления профиля поверхности катания колёс рельсового транспорта: А.с. 1315077 СССР, МКИ<sup>3</sup> С21 Д9/34/ М.М.Машнев, Н.К.Никеров, В.И.Князев и др. (СССР). - Б.И. № 21, 1987 - 5 с.: ил.
- [5] Способ восстановления профиля поверхности катания колёс рельсового транспорта: А.с. 1420041 СССР, МКИ<sup>3</sup> С21 Д9/34/ М.М.Машнев, И.А.Иванов, Н.С.Продан и др. (СССР). - Б.И. № 32, 1988 - 4 с.: ил.

- [6] Научные основы прогрессивной техники и технологии /В.С. Авдуевский, А.Л. Ишлинский, И.Ф. Образцов и др. - М.: Машиностроение. 1985 - 376 с.
- [7] Подураев Б.Н. Технология физико-химических методов обработки. - М.: Машиностроение, 1985. - 264 с.

Рецензент: Doc. dr hab. inż. Stanisław Tkaczyk

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1990

## STEROWANIE JAKOŚCIĄ KÓŁ KOLEJOWYCH

### S t r e s z c z e n i e

W pracy przedstawiono niektóre kierunki zwiększenia trwałości kół kolejowych w czasie procesu ich wytwarzania i eksploatacji. Zaproponowano metodykę systemowego badania technologii wykonania kół kolejowych. Przedstawione systemowe badania technologii wykonania kół kolejowych daje możliwość unowocześnienia procesu technologicznego jak również wpływu na polepszenia jakości ich wykonania.

### CONTROL OF RAIL TRANSPORT WHEEL S FUNCTIONING QUALITY

#### S u m m a r y

Some directions of technological provision of rail transport wheel's efficiency, quality of their functioning on the stage of manufacture and work are described in the report. The method of study and wheel functioning quality control on base of systematic approach are offered. Here is cited the scheme of technological system study for mechanical working up of wheels on the stage of manufacture, which affords the improvement of wheel's efficiency and raising their functioning quality.