

Анатолий БОГДАНОВ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА КОЛЁСНЫХ ПАР

**Резюме.** В работе приведена методика выбора технических средств ремонта колёсных пар, на основе оптимизации параметров технологических модулей и линий.

В основу расчета параметров линий положен модульный принцип построения структур технологии и критерий, учитывающий приведённые затраты на технологических операциях, транспортно-накопительных устройствах и систем управления, а также эффективность в сфере эксплуатации за счет увеличения срока службы колёсных пар. Приведены результаты расчета эффективности в сфере эксплуатации за счет применения токов высокой частоты перед obtачиванием профиля поверхности катания колёсных пар на станках фирмы "Рафамет".

В условиях роста скоростей движения и повышения интенсивности работы подвижного состава увеличиваются статистическое и динамические нагрузки на колёсные пары, возрастает циклическая напряжённость колёс и осей, способствующая ускорению процессов износа и повышения дефектов. В эксплуатации встречается более 60 видов дефектов колёсных пар [1], которые прямо или косвенно влияют на безопасность движения.

Существующая на железных дорогах система контроля и ремонта направлена на выявление и устранение дефектов и поддержание колёсных пар в исправном состоянии.

В последние годы наблюдается тенденция с одной стороны увеличения потребности в ремонте колёсных пар, а с другой - неустойчивого выпуска их из ремонта. Это вызывает необходимость создания более производительных технических средств и совершенствования технологии ремонта. При этом важнейшим требованием является не только повышение производительности оборудования, но и более высокое качество ремонта, обеспечивающее технологическими методами повышение надёжности и долговечности колёсных пар.

В ЛИИЖТе в этом направлении проводится целенаправленная работа. В последние годы она осуществляется на основе плодотворного сотрудничества с фирмой "Рафамет" в рамках Межведомственного соглашения по научно-техническому сотрудничеству между МПС и Минстанкопромом СССР и Минметмашпромом ПНР по проблеме создания высокопроизводительного оборудования и технологических линий ремонта колёсных пар подвижного состава. По этому соглашению разрабатываются такие линии, которые содержат оборудование нового поколения, включая колёсоточкарные станки с числовым программным управлением, ин-



дукционные установки для отжига поверхности катания колёс, полуавтоматические стенды для магнитной дефектоскопии, высоконапорные моечные машины, транспортно-конвейерные системы.

Как показал опыт совместной работы, при создании нового оборудования и линий необходимо учитывать множество требований, вытекающих из существования неоднородных колёсных цехов ремонтных предприятий с различной производственной мощностью. Для таких предприятий экономически целесообразно иметь оборудование при одном и том же функциональном его назначении с различными производительностью и стоимостью, а следовательно отличающееся по своим техническим параметрам.

Всё это порождает проблему оптимизации параметров и обоснованного выбора оборудования и линий в зависимости от условий их функционирования.

При этом задача выбора оборудования и линий с оптимальными параметрами обусловлена необходимостью разработки научно-обоснованных рекомендаций применения прогрессивной технологии и технических средств при ремонте и формировании колёсных пар в процессе реконструкции или нового проектирования вагоноремонтных предприятий.

Её решение в условиях широкого спектра производственных факторов требует разработки такой модели, которая смогла бы обеспечить универсальный подход к этому сложному объекту и получить типовые ряды технологических линий различной производительности с параметрами, удовлетворяющими технико-экономическому критерию.

В основу моделирования положен модульный принцип построения технологических линий. Этот принцип, несмотря на большое многообразие структурных вариантов линий, даёт возможность свести их к трём типам обобщённых структур (рис. 1). Первый тип (см. Рис. 1а), отображает структуру технологии ремонта колёсных пар, соответствующую условиям пассажирских и грузовых вагонных депо, второй тип (см. Рис. 1б) — условиям вагонколёсных мастерских и третий (см. Рис. 1в) — условиям вагоноремонтных заводов. Обобщённые структуры имеют некоторое различие между собой по составу модулей и межмодульным связям.

В рамках указанных обобщённых структур можно конструировать различные варианты модулей, сохраняя автономность их анализа и возможность выбора.

Каждый вариант модуля представляет собой комплекс технических средств в виде технологического оборудования, средств управления и транспортного обеспечения.

К таким модулям, например относятся (см. Рис. 1) модули демонтажа  $M_d$ , монтажа  $M_m$ , обмывки  $M_{об}$ , входного  $M_{вк}$  и выходного  $M_{к}$  контроля, восстановления профиля поверхности катания колёс  $M_a$  и щеек  $M_{щ}$  осей, распрессовки  $M_p$  и формирования колёсных пар  $M_f$ , промежуточной ревизии буксовых узлов  $M_{пр}$ , снятия внутренних колец подшипников  $M_{ск}$ , окраски и сушки  $M_{ок}$  колёсных пар, а также изготовления новых осей  $M_{ос}$ .

Параметры оборудования и модулей являются основой для формирования технологических линий путём оптимизации их на модульном уровне. В этой связи существенным является выбор и обоснование критерия.

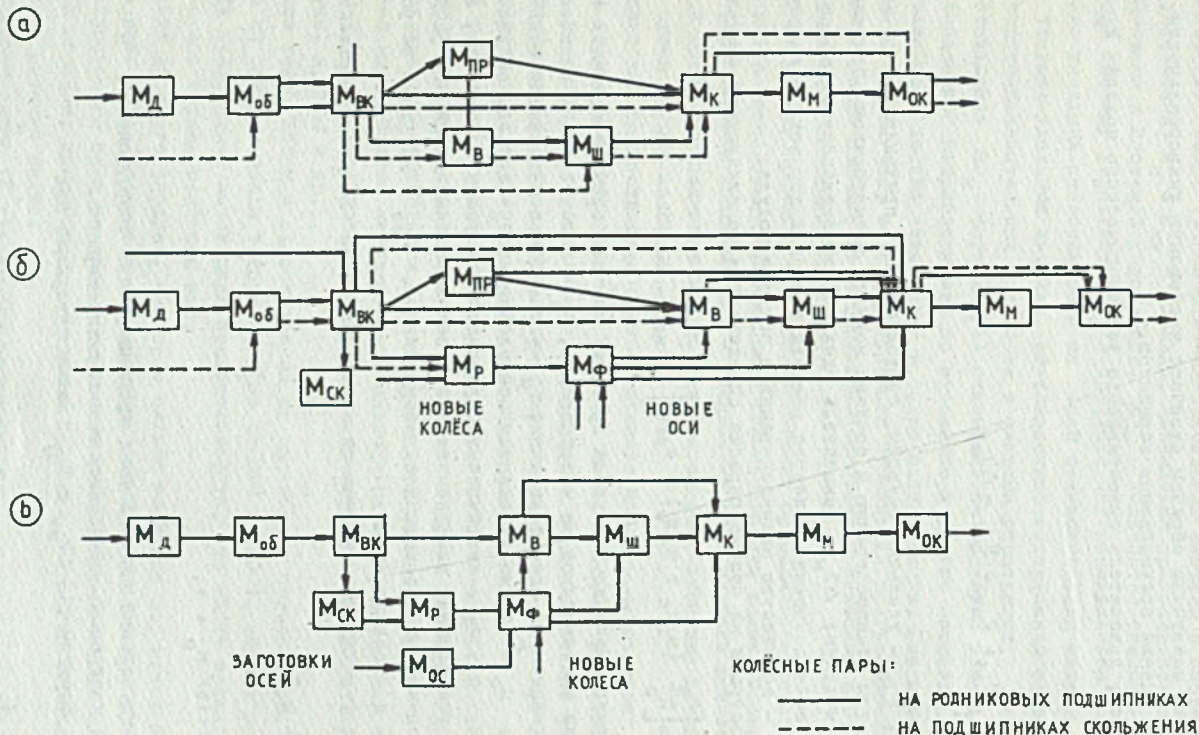


Рис. 1. Модульные структурные схемы технологического процесса ремонта колёсных пар  
 Rys. 1. Schemat struktury modułowej procesu technologicznego remontu zestawów kolejowych



На основе анализа [2, 3] в качестве критерия выбран показатель эффективности, отображающий удельные приведённые затраты на ремонт колёсных пар. Этот показатель наилучшим образом отвечает требованию универсальности и комплексности оценки сравниваемых вариантов.

Так например, показатель эффективности технологического модуля  $P_M$  имеет вид

$$P_M = \sum_{i=1}^n P_{B1} + P_{MV} + P_{MY} - \Delta \varepsilon_M, \quad (1)$$

где  $P_B$ ,  $P_{MV}$ ,  $P_{MY}$  - удельные затраты, соответственно приходящиеся на технологическую  $i$ -тую станкооперацию в составе модуля, транспортное обслуживание и управление модулем;  $\Delta \varepsilon_M$  - показатель удельной эффективности в сфере эксплуатации за счёт повышения качества ремонта колёсных пар технологическими методами;  $n$  - количество станкоопераций в составе модуля.

Удельные затраты на станкооперации определяются по следующему выражению

$$P_B = \bar{t}_B \left[ \frac{n_0}{n_p} (a_1 c_0 + a_2 s_0) + a_3 \beta_0 \right] + b_{из}, \quad (2)$$

где  $\bar{t}_B$  - среднее значение интервала времени штучное время обработки колёсных пар или их элементов на оборудовании,  $n_0$  - целочисленное количество единиц оборудования на станкооперации,  $n_p$  - расчётное количество единиц оборудования,  $c_0$  - стоимость единицы оборудования,  $s_0$  - площадь, занимаемая оборудованием,  $a_1, a_2$  - коэффициенты при соответствующих переменных,  $a_3$  - коэффициент, учитывающий влияние цеховых и общезаводских накладных расходов,  $\beta_0$  - количество работающих на оборудовании,  $b_{из}$  - удельные затраты на инструмент и электроэнергию.

Входящие в формулу 2 переменные определяются по следующим выражениям

$$n_p = \frac{1}{p_d} N \bar{t}_B, \quad (3)$$

$$n_0 = \text{antier } n_p + 1, \quad (4)$$

где  $p_d$  - действительный годовой фонд времени работы оборудования,  $N$  - производственная программа, приходящаяся на станкооперацию.

Составляющие формулы (1)  $P_{MV}$  и  $P_{MY}$  имеют следующий вид

$$P_{MV} = \bar{t}_M \left[ (a_4 K_M + a_5 s_M + a_6) + a_7 v_M (a_8 + C_{HM} + C_{YM}) \right] + \sum_{i=1}^n C_{M1}, \quad (5)$$

$$P_{MY} = \bar{t}_M (a_9 K_{MY} + a_{10} s_{MY} + a_{11} \beta_{MY} + a_{12}), \quad (6)$$

где  $\bar{t}_m$  - средний интервал времени выпуска продукции с модуля,  $a_1 + a_{12}$  - константы для заданных условий функционирования модуля,  $K_n$  и  $K_{му}$  - стоимость соответственно транспортно-накопительной системы и системы модульного управления,  $a_n$  и  $a_{му}$  - площади, занимаемые транспортно-накопительными устройствами и системой управления,  $\beta_{му}$  - количество специалистов, обслуживающих систему управления,  $v_m$  - значение внутримодульного задела,  $C_m$  - значение удельной себестоимости на  $i$ -той станкооперации модуля,  $C_{нми}$  и  $C_{ум}$  - текущие удельные затраты, обусловленные содержанием соответственно транспортно-накопительных устройств и системы управления.

Составляющая  $\Delta Z_m$  формулы (1) оказывает на критерий влияние как вектор противоположной направленности по отношению к другим составляющим и отображает влияние качества технологии в сфере эксплуатации. Она может быть больше нуля в том случае, если в результате применения прогрессивной технологии целенаправленно изменяется качественное состояние колёсных пар, дающее эффект за счёт повышения качества.

Так например, применяя при восстановлении профиля поверхности катания колёс новую технологию обтачивания с использованием токов высокой частоты, а при формировании колёсных пар - технологию оптимального комплектования колёс и осей, составляющая  $\Delta Z_m$  появляется за счёт экономии металла и увеличения срока службы колёсных пар.

Однако для осуществления количественного анализа показателя  $\Delta Z_m$  требуется специальная методика его расчёта. Ниже приведены фрагменты исследований, на основе которых показан методический подход к оценке эффективности применения новой технологии и определения показателя  $\Delta Z_m$  при восстановлении профиля поверхности катания колёсных пар.

Как известно [1], при существующей технологии обтачивания поверхностей катания колёс на колёсотокарных станках срок службы колёсных пар сокращается, так как при обработке в среднем с каждого колеса снимают в стружку слой 3-4 мм полезного металла из-за наличия на поверхности катания твёрдых (НВ 700-1000) труднообрабатываемых дефектов термомеханического происхождения (ползуны, навары и др.).

Кроме того, обладая недостаточной по значению и неравномерно распределённой по сечению обода твёрдостью (НВ от 290 до 250), металл поверхности катания колёс имеет пониженную износостойкость, что также приводит к сокращению срока службы колёсных пар.

Исходя из этого следует, что срок службы колёсных пар может быть увеличен за счёт использования в эксплуатации сэкономленного при восстановлении работоспособного слоя металла и улучшения физико-механических характеристик, главным образом, повышения до разумных пределов твёрдости верхних слоёв поверхности катания колёс.

Это видно также из следующего соотношения

$$T = \frac{h_p - \bar{h}_T}{h_{иг}} = \frac{h_p - \bar{h}_T}{\varphi_{ик}^1}, \quad (7)$$



где  $T$  – срок службы колёс,  $h_p$  – толщина рабочей части обода колеса,  $\bar{h}_T$  – среднестатистическое значение толщины рабочей части обода колеса, снимаемой в стружку при восстановлении профиля (технологический износ) за период службы колеса,  $\bar{h}_{иг}$  – среднегодовое значение износа (проката) поверхности катания колёс (эксплуатационный износ),  $\rho_{и}$  – средняя интенсивность износа (измеритель износа) поверхности катания колёс, измеряемая в мм/10<sup>4</sup> км,  $l_k$  – среднегодовой пробег колёсной пары.

Из выражения (7) следует, что срок службы зависит от экономичного обтачивания, что приводит к уменьшению  $\bar{h}_T$  и к увеличению  $T$ , а также от интенсивности износа  $\rho_{и}$ , уменьшение которого приводит к росту  $T$ .

Среднегодовой пробег колёсных пар  $l_k$  не зависит от качественных показателей колёс, а определяется условиями эксплуатации (пробегом) вагонов на сети дорог.

Придерживаясь изложенной концепции, учёные ЛИИЖТа, используя токи высокой частоты, разработали технологические процессы отжига с целью улучшения обрабатываемости металла поверхности катания колёс перед обтачиванием и термоупрочнения с целью улучшения физико-механических свойств его после механической обработки.

Проведённые исследования и эксплуатационные испытания колёсных пар, обработанных по новой технологии, подтверждают необходимость широкого использования её при ремонте колёсных пар. Однако внедрение новой технологии требует экономического обоснования.

Экономический эффект от внедрения отжига и термоупрочнения складывается за счёт экономии металла колёс и экономии расходов, связанных с ремонтом и эксплуатацией колёсных пар, в связи с увеличением срока службы колёс. Причём увеличение срока службы колёс возможно по двум направлениям: за счёт сохранения слоя металла в процессе обтачивания путём применения отжига, а также за счёт повышения износостойкости путём термообработки.

Исходя из этого, получены следующие выражения для расчёта удельного экономического эффекта  $\Delta \mathcal{E}_T$  за период службы колёс

$$\Delta \mathcal{E}_T = n_1 \left( \frac{2\pi}{h_p} \bar{h}_{TK1} + P_{B1} \right) - \gamma_3 n_2 \left( \frac{2\pi}{h_p} \bar{h}_{TK2} + P_{B2} \right) + (1 - \gamma_3) P, \quad (8)$$

или

$$\Delta \mathcal{E}_T = \frac{2\pi}{h_p} (n_1 \bar{h}_{TK1} - \gamma_3 n_2 \bar{h}_{TK2}) + (n_1 P_{B1} - \gamma_3 n_2 P_{B2}) + (1 - \gamma_3) P, \quad (9)$$

где  $n_1, n_2$  – количество восстановлений профиля за период службы соответственно до и после внедрения новой технологии,  $\zeta$  – преysкурантная стоимость цельнокатаного колеса или бандажа,  $P_{B1}, P_{B2}$  – удельные затраты на одно восстановление профиля соответственно до и после внедрения новой технологии  $P$  – удельные затраты на переформирование и ремонт колёсной пары со сменой колёс,  $\bar{h}_{TK1}, \bar{h}_{TK2}$  – среднестатистическое значение толщины слоя снимаемого в стружку металла при одном восстановлении (Рис. 2) соответственно до и после

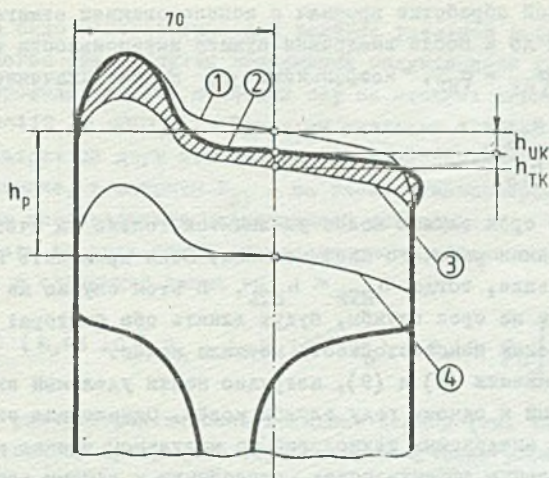


Рис. 2. Профили поверхности катания колеса  
1 - новый, 2 - изношенный, 3 - восстановленный, 4 - предельный

Rys. 2. Zarys powierzchni toczonej koła  
1 nowy, 2 - zużyty, 3 - odnowiony, 4 - dopuszczalny

внедрения новой технологии (удельный технологический износ),  $\gamma_3$  - коэффициент качества технологии восстановления профиля.

Число восстановлений определяется по выражениям

$$n_1 = \frac{h_p}{h_{ИК1} + h_{ТК1}}, \quad n_2 = \frac{h_p}{h_{ИК2} + h_{ТК2}}, \quad (10)$$

где  $h_{ИК1}$ ,  $h_{ИК2}$  - среднестатистическое значение износа колес (см. Рис. 2) по кругу катания, поступающих на восстановление, или средний прокат поступающих в обточку колёсных пар соответственно до и после внедрения новой технологии (удельный эксплуатационный износ).

Смысл коэффициента  $\gamma_3$  выден из следующих соотношений

$$\gamma_3 = \frac{T_1}{T_2} = \frac{(h_p - h_{Т1}) \cdot h_{ИТ2}}{(h_p - h_{Т2}) \cdot h_{ИТ1}} = \frac{(h_p - h_{Т1}) \cdot \varphi_{И2}}{(h_p - h_{Т2}) \cdot \varphi_{И1}} \quad (11)$$

или

$$\gamma_3 = \frac{(h_{ИК2} + h_{ТК2}) \cdot h_{ИК1}}{(h_{ИК1} + h_{ТК1}) \cdot h_{ИК2}} \cdot \frac{h_{ИТ2}}{h_{ИТ1}}, \quad (12)$$

где  $T_1$ ,  $T_2$  - срок службы колёс соответственно до и после внедрения новой технологии.



При экономичной обработке профилей с использованием отжига, когда  $h_{T2} < h_{T1}$ , и при одинаковой до и после внедрения отжига интенсивности износа, когда  $h_{ИТ1} = h_{ИТ2}$  и  $\varphi_{И1} = \varphi_{И2}$ , коэффициент  $\gamma_3$  примет значение

$$\gamma_3 = \frac{h_p - h_{T1}}{h_p - h_{T2}}$$

В этом случае срок службы колёс увеличится только за счёт съэкономленного при обтачивании рабочего слоя металла. Если применить не только отжиг, но и термоупрочнение, тогда  $h_{ИТ2} < h_{ИТ1}$ . В этом случае на коэффициент  $\gamma_3$ , а следовательно и на срок службы, будут влиять оба фактора: и съэкономленные слои и более высокая износостойкость металла колёс.

Используя выражения (8) и (9), нетрудно найти удельный экономический эффект, отнесённый к одному году службы колёс. Однако для экономической оценки вариантов внедряемых технологий на модульном уровне необходимо иметь рассчитывать удельную эффективность, отнесённую к одному восстановлению  $\Delta Z_0$ , так как  $\Delta Z_0 = \Delta Z_M$ .

Выражение для расчёта эффективности  $\Delta Z_0$ , приходящейся на одно восстановление, определено и имеет следующий вид

$$\Delta Z_0 = 2Ц\gamma_K + \gamma_P P + (P_{B1} - P_{B2}), \quad (13)$$

где  $\gamma_K$  — коэффициент экономичности механической обработки профиля катания колёс,  $\gamma_P$  — коэффициент качества технологии восстановления профиля. Причём коэффициенты  $\gamma_K$  и  $\gamma_P$  определяются по формулам

$$\gamma_K = \frac{h_{ТК1} - h_{ТК2}}{h_p}, \quad (14)$$

$$\gamma_P = \frac{h_{ИК1} - h_{ИК2}}{h_p} + \frac{h_{ТК1} - h_{ТК2}}{h_p} \quad (15)$$

Если осуществляется только экономичное обтачивание после отжига, то первая составляющая выражения (15) будет равна нулю. В этом частном случае  $\gamma_P = \gamma_K$ , а выражение (13) примет вид

$$\Delta Z_0 = \gamma_K(2Ц + P) + (P_{B1} - P_{B2}) \quad (16)$$

После подстановки в выражение (16) прекуррантных значений Ц и P и расчёта по формуле (14) коэффициента  $\gamma_K$ , с использованием известных статистических данных значений  $h_{ТК1}$  и  $h_{ТК2}$ , оно приобретает следующий явный вид

$$\Delta Z_0 = 16,8 + (P_{B1} - P_{B2}) \quad (17)$$



Это выражение было использовано для расчёта удельной эффективности от внедрения технологии отжига путём применения индукционной установки при восстановлении профиля катания колёсных пар на станках фирмы "Рафамет" моделей UBB112, UDA112 и UBC150. При этом удельные затраты  $P_{B2}$  определялись как сумма затрат на двух станкооперациях: индукционной установке и колёсотокарной станке, а затраты  $P_{B1}$  - на одной станкооперации: колёсотокарной станке без использования индукционной установки.

Удельные затраты на всех станкооперациях рассчитывались по выражению (2), преобразованному в следующий явный вид

$$P_B = \bar{\tau}_B \left[ \frac{n_0}{n_p} (8,83 \cdot 10^{-2} \zeta_0 + 1,65 \cdot 10^{-2} \varepsilon_0) + 2,16 \beta_0 \right] + v_{из} \quad (18)$$

Используя для расчёта фактические исходные данные (см. табл. 1) и варьируя производственной программой обработки, получены графики (Рис. 3) функциональной зависимости удельного эффекта в результате применения отжига от программы обтачивания колёсных пар.

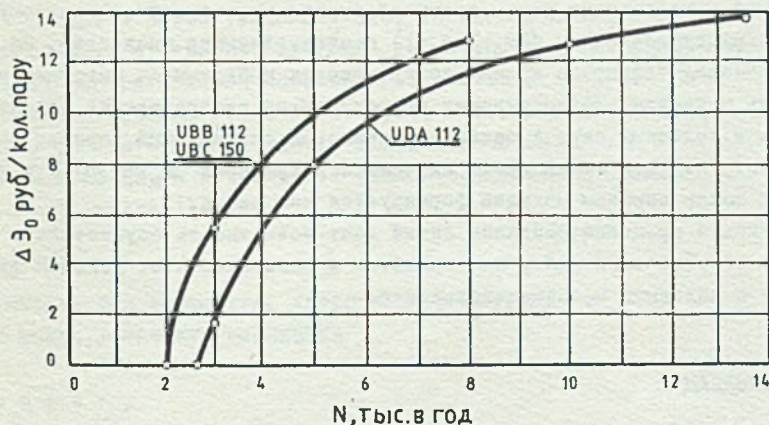


Рис. 3. Графики зависимости удельного эффекта от производственной программы ремонта колёсных пар

Рис. 3. Zależność efektu właściwego od ilości remontowanych zestawów kołowych

Из графиков видно, что с увеличением программы эффект возрастает и при полной загрузке станков достигает 12-13 Р/кп. Установленная граница эффективности показывает, что применение новой технологии невыгодно, если программа меньше 2 тыс. колёсных пар для станков моделей UBC150 и UBB112 и 2,7 тыс. - для станка модели UDA112.

Как видно из результатов приведённого исследования, составляющая  $\Delta \mathcal{E}_M$  критерии (см. выражение 1) имеет существенное значение, поэтому она должна учитываться на тех модулях, где используются варианты новой технологии.

Таблица 1

Наименование и модель оборудования	штучное время, ч $t_{\text{в}}$			Стоимость оборудования, т.р. $\Pi_0$	Площадь, занимаемая оборудованием $\text{м}^2, \text{э}_0$	Удельные затраты на инструмент и электроэнергию, Р/к.п.	
	колёсотокарных станков		индукционной установки			с ТВЧ	без ТВЧ
	без ТВЧ	с ТВЧ					
Колёсотокарные станки VBB112 (VCB150) VDA112	0,45 0,27	0,28 0,18	- -	210 466	33 29	0,75 0,78	1,12 1,22
Индукционная установка	-	-	0,23	180	10		0,12

С учётом изложенного, выбор технологических линий осуществляется следующим образом. Перед формированием линий конструируются альтернативные варианты модулей с различными параметрами оборудования, образующие по каждому "квадрату" структурной схемы (см. Рис. 1) соответствующее множество. По заданной производительности линии рассчитывается программная нагрузка на каждый модуль с учётом статистических коэффициентов распределения ремонтируемых потоков колёсных пар. А затем определяется оптимальный вариант каждого модуля структурной схемы путём минимизации критерия  $P_{\text{н}} \Rightarrow \min$ ) и уже из выбранных таким образом модулей формируется вся линия.

Такой подход в процессе создания линий даёт возможность осуществлять экономически обоснованный выбор их вариантов в зависимости от условий функционирования и заданной производительности.

#### Основные выводы

1. В процессе совершенствования технологии и создания высокопроизводительного оборудования и линий требуется их обоснование и технико-экономический выбор путём оптимизации параметров в зависимости от заданной производительности и условий работы.
2. Разработанный модульный принцип создания линий и описанный в данной работе критерий даёт возможность осуществить оптимизацию параметров модулей и экономически обоснованно определить состав технологических линий.
3. При рассмотрении на уровне модуля альтернативных вариантов ресурсосберегающих технологий необходимо учитывать эффект в сфере эксплуатации, который образуется за счёт повышения качества восстанавливаемых колёсных пар.
4. Разработанная методика, изложенная в данной статье, позволяет рассчитать удельный эффект, образуемый в сфере эксплуатации за счёт внедрения технологических процессов с использованием токов высокой частоты при восстановлении профиля поверхности катания колёсных пар.



## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Богданов А.Ф., Чурсин Б.Г. Эксплуатация и ремонт колёсных пар вагонов. М: Транспорт, 1985, 270 с.
- [2] Кузнецов И.М., Волчкович Л.И., Замчалов Ю.П. Автоматизация производственных процессов. М.: Высшая школа, 1978, 431 с.
- [3] Экономическая эффективность новой техники и технологии в машиностроении. Под ред. К.И. Великанова. М.: Машиностроение, 1981, 256 с.

Recenzent: Doc. dr inż. Roman Bąk

Wpłynęło do Redakcji w styczniu 1990

TECHNICZNO-EKONOMICZNE ASPEKTY UNOWOCZEŚNIENIA  
TECHNOLOGII REMONTU ZESTAWÓW KOLEJOWYCH

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

W artykule przedstawiono zasadę tworzenia modułowego procesu linii technologicznej remontu zestawów kołowych. Zasada ta pozwala na tworzenie optymalnych parametrów modułów oraz części składowych linii technologicznych. Rozpracowano również metodykę, która pozwala określić efekt ekonomiczny od zastosowania nowych linii technologicznych remontu kolejowych zestawów kołowych w tym linii technologicznych z zastosowaniem prądów wysokiej częstotliwości.

TECHNICAL AND ECONOMICAL ASPECTS OF DESIGNING  
NEW WHEEL S REPAIR PROCESSES

## S u m m a r y

The paper presents the modul principle of designing new technology of wheel's repair. This principle gives the opportunity of optimisation module parameters and estimation the number of lines objects. While looking through other repair processes, the attention on increasing of rebuild wheel's quality must be paid. The method, described in the article helps in calculating economical advantages of suing new repair technologies with high frequency current tempering.