

Обоснование использования ресурсосберегающей технологии бандажирования в реновационном производстве

К.П. Колотырин¹ , С.А. Богатырев¹ , Д.Ю. Савон² 

¹ АПК Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова, 410012, Саратов, Театральная пл., д. 1, Российская Федерация

² Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, Российская Федерация

 di199@yandex.ru

Аннотация. В статье обосновывается целесообразность применения основ ресурсосбережения при разработке инновационных технологий упрочнения серийных деталей и восстановления изношенных. При этом основной задачей является рациональное использование имеющихся материальных ресурсов в условиях спада производства, когда становится выгодно восстанавливать изношенные до критического уровня металлоемкие детали. При капитальном ремонте машин основные проблемы связаны с энергоемкостью процесса и значительным количеством выбракованных деталей, не подлежащих восстановлению. В настоящее время большинство изношенных металлоемких чугунных и стальных деталей, исчерпавших ресурс, подвергается энергоемкой переплавке. Для повторного использования металлоемких деталей предложена технология многослойного бандажирования изношенной поверхности, при которой вместо традиционных бандажных колец применяется стальная лента. Намотка ленты происходит под натягом в несколько слоев. При этом образуется многослойный бандаж с межвитковыми напряжениями, не уступающий по прочности цельному бандажному кольцу. Использование стального «бинта» для «лечения» деталей снижает почти в 2,5 раза расход металла для его изготовления по сравнению с известным цельным кольцом, сделанного из круглого проката. В качестве примера в статье обоснована возможность осуществления процесса бандажирования применительно к восстановлению и упрочнению посадочного места под подшипник корпусной детали. Многослойный бандаж может быть также применен при восстановлении списанных в scrap металлоемких прокатных валков, используемых на широкополосных станах холодной прокатки.

Ключевые слова: инновационные технологии, металлообработка, ресурсосбережение, металлоемкая деталь, восстановление, метод бандажирования, металлосбережение, эффективность

Для цитирования: Колотырин К.П., Богатырев С.А., Савон Д.Ю. Обоснование использования ресурсосберегающей технологии бандажирования в реновационном производстве. *Экономика промышленности*. 2021;14(4):425–432. <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-425-432>

Justification for using resource-saving banding technology in renovative production

K.P. Kolotyryn¹ , S.A. Bogatyrev¹ , D.Yu. Savon² 

¹ Vavilov Saratov State Agrarian University, 1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russian Federation

² National University of Science and Technology "MISIS", 4 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation

 di199@yandex.ru

Abstract. The article substantiates the expediency of applying the basics of resource saving in the development of innovative technologies for strengthening serial parts and restoring worn ones. At the same time, the main task is the rational use of available material resources in the conditions of a decline in production, when it becomes profitable to restore metal-

intensive parts worn out to a critical level. In capital repair of machines, the main problems are associated with the energy intensity of the process and a significant number of rejected parts that cannot be restored. Currently, most of the worn-out metal-intensive cast iron and steel body parts that have exhausted the resource are subjected to energy-intensive melting. For the reuse of metal-consuming parts in operation, a technology has been proposed for multilayer banding of a worn surface, in which steel tape is used instead of traditional banding rings. Winding the tape occurs under an interference in several layers. In this case, a multilayer bandage with interturn stresses is formed, which is not inferior in strength to a whole banding ring. The use of a steel “bandage” for the “treatment” of parts reduces the metal consumption for its manufacture by 2.5 times in comparison with the well-known one-piece ring made of round steel. As an example, the article substantiates the possibility of carrying out the banding process in relation to the restoration and strengthening of the seat under the bearing of the housing part. A multilayer bandage can also be used in the recovery of metal-intensive rolling rolls written off in scrap used on broadband cold rolling mills.

Keywords: innovative technologies, metalworking, resource saving, metal consuming part, restoration, banding method, metal saving, efficiency

For citation: Kolotyryn K.P., Bogatyrev S.A., Savon D.Yu. Justification for using resource-saving banding technology in renovative production. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2021;14(4):425–432. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2021-4-425-432>

论证资源节约型“绷带”技术在翻新生产中的应用

K.P. 科洛蒂林¹, S.A. 博加特列夫¹, D.Y. 萨文²

¹ 萨拉托夫瓦维洛夫国立农业大学农工联合体,
410012, 俄罗斯联邦, 萨拉托夫市, 剧院广场1号,

² 国立研究型技术大学 MISIS,
119049, 俄罗斯联邦, 莫斯科, 列宁斯基大街4号

✉ di199@yandex.ru

摘要: 文章论述了在开发硬化系列零件和翻新磨损零件的创新技术时应用资源节约原则的可行性。并且, 主要任务是在生产下降的条件下, 当翻新磨损到临界水平的金属密集型零件变得有利可图时, 合理利用现有的材料资源。在机器大修时, 主要问题与工艺流程的耗电量和相当数量的无法翻新的废弃零件有关。目前, 大多数已经达到使用寿命的已经磨损的金属密集型铸铁件和钢件都要进行高耗能的熔化。为了在工作中再利用金属密集型零件, 提出了磨损表面多层“绷带”技术, 用钢带代替传统的护环。几层钢带绷紧缠绕, 形成了具有缠绕应力的多层“绷带”, 其强度不亚于一体式扣环。使用钢制“绷带”来“处理”零件, 与已知的用圆轧材制成一体式扣环相比, 其金属消耗量几乎减少了百分之六十。作为一个例子, 文章论证了“绷带”工艺应用于翻新和硬化壳体零件轴承座的可能性。多层“绷带”还可用于翻新宽带冷轧机的废金属密集型轧辊。

关键词: 资源节约、金属密集型零件、翻新、“绷带”方法、金属节约、效率

Введение

В ремонтном производстве в условиях необходимости снижения энергозатрат конкурентным преимуществом обладают реновационные технологии с максимальным коэффициентом технического использования материалов для восстановительных операций [1]. Величина потерь стали, необходимой для устранения износа деталей промышленной техники, зависит прежде всего от выбранного метода ремонта [2–5]. Исходя из анализа наиболее распространенных и перспективных технологий установлено, что наиболее безотходной, отличающейся простотой

реализации, обладающей высокими показателями ресурсосбережения и доступной стоимостью ремонта, является технология нанесения дополнительного многослойного бандаж, разработанная учеными Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова [6, 7].

Сейчас большинство изношенных металлоемких стальных деталей, исчерпавших ресурс, подвергается списанию по естественному износу и энергоемкой переплавке, при которой выгорают легирующие элементы. Затем литьем под давлением, горячей штамповкой либо ковкой получают поковки с припусками на обра-

ботку резанием [8, 9]. Альтернативой изготовлению деталей взамен изношенных является восстановление, т.е. приведение базовых размеров и исходных свойств рабочих поверхностей в соответствие с техническими требованиями заводских чертежей [10].

Для продления ресурса и упрочнения рабочей поверхности использовался способ многослойного ленточного бандажирования. Отмеченные преимущества предлагаемой технологии подтверждают перспективность ее дальнейшего широкого использования, особенно применительно к металлоемким деталям, полученным литьем, ковкой или штамповкой.

Целью работы является продление ресурса изношенных металлоемких деталей, восстанавливаемых бандажированием, за счет повышения отдельных механических свойств многослойного ленточного бандажа, а также снижение металлоемкости за счет частичного исключения потерь металла на изготовление аналогичного изделия более энергоемким способом из профильного проката [11].

Отличие предложенной технологии от ранее существующих заключается в обеспечении возможности снижения расхода металла при изготовлении дополнительной ремонтной детали не из традиционного листового проката, а из стальной ленты. Кроме того, существующие технологии основаны на неверном предположении, что прочность многослойного бандажа прямо пропорциональна количеству бандажных колец.

Новизна предлагаемого технического решения заключается в применении усовершенствованного ленточного многослойного бандажа, нанесенного на поверхность не традиционной напрессовкой друг на друга колец, а намоткой с натягом стальной ленты. Авторами доказано, что дополнительный запас прочности создается исключительно благодаря возрастанию суммарного сопротивления инерции слоеного бандажированного сечения, а не за счет увеличения количества слоев, как предполагалось ранее [12]. В результате не только повышается ресурс металлоемких деталей без неоправданного увеличения габаритов ремонтных деталей, но и расширяется номенклатура восстанавливаемых деталей, имеющих элементы частичной модернизации конструкции.

Реализация полученных результатов не требует больших материальных и энергетических затрат, отличается доступностью изготовления элементов дополнительного ремонтного бандажа и реализации способа его установки на изношенный участок восстанавливаемой детали.

Материалы и методы

Анализ износного состояния ремонтного фонда базируется на статистическом анализе результатов дефектационного микрометрирования. Микротрещины при выбраковке выявлялись флуоресцентным методом. Заключительное решение о пригодности к ремонту, целесообразности восстановления или утилизации ремонтного фонда принималось на основании величины комплексного коэффициента годности.

Помимо износа рабочих поверхностей из-за трения скольжения в условиях воздействия знакопеременных нагрузок корпусные штампованные детали подвергаются скручиванию и ударным воздействиям, при этом возникают дефекты в виде трещин, вмятин, короблений, пробоев и изломов.

Для упрощения расчета напряжений длинномерная корпусная деталь представлялась в виде балки с жестко закрепленными элементами конструкции. Такая модель позволяет с достаточной точностью определить запас прочности ресурсопределяющих деталей.

Качество многослойного бандажа оценивалось наличием достаточного натяга между нерабочей поверхностью восстанавливаемого элемента детали и наматываемой стальной лентой. За параметр оптимизации было принято поперечное усилие зажима, обеспечивающего продольное натяжение между витками бандажной ленты. Последующий регрессионный анализ позволил определить оптимальное сочетание режимов бандажирования.

Статическим сжатием оценивался параметр стойкости к образованию трещины усиленной бандажным кольцом стенки корпуса в месте установки подшипника качения.

Макро- и микроструктурные исследования проводились для анализа мозаичного строения материала детали по глубине от поверхностного слоя к внутренней поверхности путем сравнения изношенных, восстановленных и заводских деталей. Причем структура сравнивалась с эталонными фотографиями атласа постадийно: до и после установки бандажа. Микроскопия проводилась в целях изучения изменений размеров и форм зерен металла, обнаружения наличия микропороков и неметаллических включений, определения химического состава.

Замеры показателей износостойкости, работоспособности и надежности серийных и восстановленных деталей проводились в условиях производства.

Форма, габариты и количество слоев бандажного кольца определялись на основе результатов расчета напряжений и упругих деформаций, пропорциональных сопротивлению выбранной марки стали.

**Возможности
металлосберегающего бандажирования**

В качестве примера, иллюстрирующего возможности разработанного металлосберегающего бандажирования, был выбран металлоемкий рукав из серого чугуна марки СЧ 25, который в случае предельно-допустимого износа гнезд установки подшипников и возникновения локальных микротрещин подвергался выбраковке и утилизации переплавкой.

Предварительные поверочные прочностные расчеты показали наличие близких к предельным знакопеременные циклические нагрузки в местах установки подшипников. Результирующие напряжения в опасном сечении близки к критическому значению прочности чугуна СЧ 25, колеблются от 180 до 250 МПа и ведут к образованию усталостных микротрещин. Поскольку нагрузки на деталь носят циклический характер, то для объекта исследований необходимо обеспечить как минимум трехкратный запас прочности, т.е. подвергнуть корпусную деталь упрочнению, например, при капитальном ремонте, либо дать предложение заводу-изготовителю модернизировать конструкцию путем увеличения толщины стенки серийного рукава с 8 до 16 мм. Для повышения запаса прочности посадочных мест под подшипники предлагается использовать многослойный ленточный бандаж с намотанными под односторонним натягом витками стальной ленты, при этом увеличивается суммарное сопротивление инерции слоеного бандажированного сечения. Кроме того, возникла необходимость в уточнении результатов анализа напряженного состояния участков деталей с нанесенным ленточным бандажом с целью проверки обеспечения рекомендуемого уровня прочности и жесткости деформированной дополнительной ремонтной деталью, бандажом, конструкции серийной корпусной детали.

Схема расположения «слоеного» бандаж, состоящего из намотанных под натягом слоев стальной ленты, необходимая для расчета возникающих в сопряжениях эквивалентных напряжений, приведена на **рис. 1**. Для сведения к минимуму значений этих напряжений необходимо, чтобы соблюдалось равенство отношений (k_n) радиусов сопряженных бандажных колец ($r_{(n+1)}/r_{(n+1)(n+2)}$):

$$k_1 = k_2 = k_3 = \dots = k_n, \tag{1}$$

где $k_1 = \frac{r_{01}}{r_{12}}$; $k_2 = \frac{r_{12}}{r_{23}}$; $k_3 = \frac{r_{23}}{r_{34}}$.

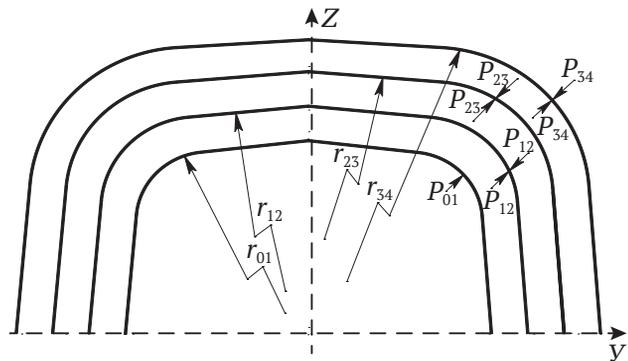


Рис. 1. Схема для расчетов напряжений в сопряжениях деталь–бандаж и бандаж–бандаж конструкции многослойного бандаж

Fig. 1. Scheme for calculating the stresses in the part–bandage, bandage–bandage mates of the multilayer bandage design

На рис. 1 показатели r_{01} , r_{12} , r_{23} , r_{34} – радиусы бандажных колец, мм; p_{01} , p_{12} , p_{23} , p_{34} – внутреннее и наружное давление на элементы трехслойного бандаж, н/м².

Допуская, что $k_{расч} = 0,98$, а габариты сечения составляют 170×170 мм², получаем расчетное значение толщины ленточного фрагмента слоеного бандаж $t = 170/0,98 = 170 \approx 3$ мм.

Для определения суммарных (эквивалентных) напряжений использовалась формула Мора с учетом асимметричности прилагаемых нагрузок:

$$\sigma_{экр} = \sigma_{нб} - \nu \cdot \sigma_{нм}, \tag{2}$$

где $\sigma_{нб}$, $\sigma_{нм}$ – максимальное и минимальное значение нормального напряжения соответственно, н/м²; ν – коэффициент асимметричности прилагаемых нагрузок: $\nu = 0,28$.

При расчете напряжений принимается условие равенства прочности чугуна ремонтируемой детали и стали бандажных колец

$$\sigma_{экр1} = \beta \cdot \sigma_{экр2} = \beta^2 \cdot \sigma_{экр3} = \dots = \sigma^{m-1}, \tag{3}$$

где β – значение коэффициента равнопрочности; n – номер порядка расположения бандажного кольца.

Численное значение β зависит от материала детали и бандаж. Учитывая, что при изготовлении бандаж для чугунного (СЧ 25) рукава рекомендуется применять сталь Ст.3, значение коэффициента β принято равным 1,2 [13].

Далее приведены формулы для расчета напряжений и давлений, возникающих в конструкции восстанавливаемого изделия.

При отсутствии бандажа эквивалентные напряжения помимо формулы (2) можно также определять по формуле

$$\sigma_{\text{эkv}} = P_{01} \cdot \left(\frac{1+k^2}{1-k^2} + \nu \right). \quad (4)$$

Для прочностного расчета однобандажной схемы используются следующие уравнения:

$$P_{12} = \frac{P_{01} \cdot a}{\beta \cdot a + 2}; \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{эkv1}} = \frac{\frac{P_{01}}{1-k^2} \cdot \beta \cdot a^2}{\beta \cdot a + 2}; \quad (6)$$

$$\sigma_{\text{эkv2}} = \frac{\frac{P_{01}}{1-k^2} \cdot a^2}{\beta \cdot a + 2}. \quad (7)$$

Напряжения, возникающие в двухбандажной схеме:

$$P_{12} = \frac{P_{01} (\beta \cdot a + 2)}{\beta^2 \cdot a + \frac{2\beta \cdot a + 4}{a}}; \quad (8)$$

$$P_{23} = \frac{P_{01} \cdot a}{\beta^2 \cdot a + \frac{2\beta \cdot a + 4}{a}}; \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{эkv1}} = \frac{\frac{P_{01}}{1-k^2} \cdot \beta^2 \cdot a^2}{\beta^2 \cdot a + \frac{2\beta \cdot a + 4}{a}}; \quad (10)$$

$$\sigma_{\text{эkv2}} = \frac{\frac{P_{01}}{1-k^2} \cdot \beta \cdot a^2}{\beta^2 \cdot a + \frac{2\beta \cdot a + 4}{a}}; \quad (11)$$

$$\sigma_{\text{эkv5}} = \frac{\frac{P_{01}}{1-k^2} \cdot a}{\beta^2 \cdot a + \frac{2\beta \cdot a + 4}{a}}, \quad (12)$$

где

$$a = 1 + \nu + k^2(1 - \nu). \quad (13)$$

Установлено, что оптимальной является трехбандажная схема.

Авторами предлагается напрессовывать на восстанавливаемую поверхность не более трех бандажных колец или наматывать под натягом не более трех слоев стальной ленты. Доказано, что дальнейшее увеличение количества бандажных колец нецелесообразно, т.к. будет способствовать только лишь равномерности распределения напряжений по сечению. Кроме того, неоправданно увеличиваются габаритные размеры и завышается расход ремонтных и комплементарных материалов [14].

Поверочные расчеты, проведенные по формулам (10)–(12), позволили получить численные значения эквивалентных (суммарных) напряжений в наиболее нагруженных точках: $\sigma_{\text{эkv1}} = 185,6$ МПа; $\sigma_{\text{эkv2}} = 170,7$ МПа; $\sigma_{\text{эkv3}} = 128$ МПа. Если многослойное бандажное кольцо заменить монолитной цельной втулкой, то максимальное эквивалентное напряжение в сечении станет равным 330 МПа.

Бандажирование осуществляется намоткой стальной ленты на винторезном станке с расчетным натягом с промежуточной фиксацией слоев кольцевого бандажа точечной электродуговой сваркой. Целесообразно на восстанавливаемую поверхность над посадочным отверстием под подшипник наносить не более 2–3 слоев бандажной стальной ленты.

Распределение напряжений в поперечном сечении трехслойного бандажа приведено на рис. 2. Пунктиром показана эпюра напряжений для цельного бандажного кольца.

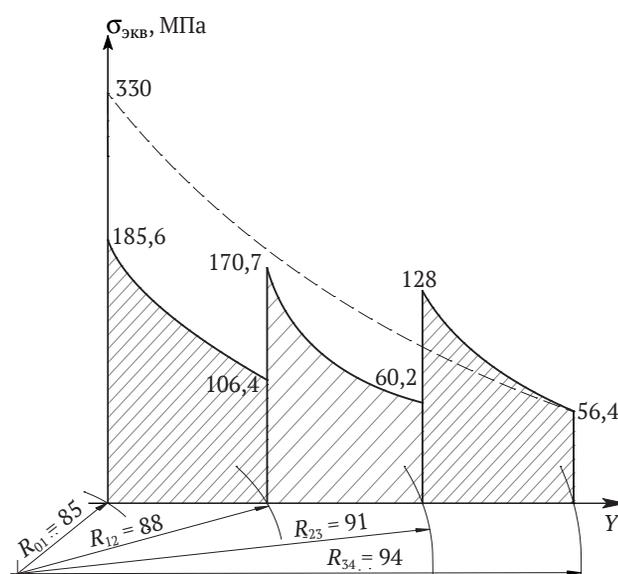


Рис. 2. Эпюра напряжений, возникающих в трехслойном ленточном бандаже

Fig. 2. Diagram of stresses arising in a three-layer tape band

Таким образом, ленточный бандаж позволяет более равномерно распределить напряжения в поперечном сечении и уменьшить габаритные размеры ремонтного бандажа без ущерба прочностных характеристик. Замена громоздкой цельной бандажной втулки на более компактный слоеный бандаж способствует уменьшению расхода конструкционной стали и повышению коэффициента использования ремонтного материала до 95–98 %. Кроме того, слоеная бандажная втулка не может разрушиться мгновенно как цельное кольцо, что гарантирует безопасность при эксплуатации и соответствует современному уровню развития отечественного ремонтного производства. Также уменьшается масса упрочненной детали без ущерба ее прочностным характеристикам.

Внедрение данного способа восстановления позволит частично решить актуальную проблему утилизации изношенных металлоемких деталей и обеспечения запасными частями ремонтно-технологических подразделений на промышленных предприятиях.

Экономия металла образуется за счет разницы между необратимыми потерями металла, образующимися при производстве новых и восстановлении изношенных деталей.

Исходя из программы восстановления 100 шт. и массы детали-представителя 90 кг, общая экономия чугуна СЧ 25 может составить 7 т.

Внедрение разработанной ремонтной технологии позволит с выгодой для ремонтно-технологических предприятий самостоятельно решить проблему обеспечения запасными частями, что свидетельствует о достижении более высокого уровня ресурсосбережения.

Заключение

Восстановленные многослойным бандажированием детали необходимо заменять не чаще 1 раза до постановки техники на капитальный ремонт, в то время как ресурс серийно изготовленных наиболее нагруженных деталей составляет всего 15–20 % от ресурса машины в целом. Повышение качества восстановления подтверждается троекратным увеличением запаса прочности наиболее нагруженного участка детали. Предлагаемая авторами технология, основанная на упрочнении многослойным ленточным бандажом наружной поверхности, позволяет продлить ресурс изношенных металлоемких деталей за счет повышения отдельных механических свойств и частичного исключения потерь металла на изготовление аналогичного изделия вновь энергоемким способом. Метод нанесения дополнительного многослойного бандажа помимо упрочнения корпусных деталей и ремонта штамповой оснастки, может также использоваться при восстановлении рабочей поверхности цельнокованого прокатного валка.

Список литературы

1. Соловьев С.А., Лялякин В.П., Горячев С.А., Мишина З.Н., Герасимов В.С., Соловьев Р.Ю., Черноиванов В.И., Голубев И.Г. Инновационные направления развития ремонтно-эксплуатационной базы для сельскохозяйственной техники. М.: ФГБНУ «Росинформагротех»; 2014. 160 с.
2. Муравьева А.В., Калинина Н.Е. Эффективность восстановления работоспособности прокатных валков методом бандажирования. *Евразийский союз ученых (ЕСУ)*. 2016;(4(25)):101–103. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vosstanovleniya-rabotosposobnosti-prokatnyh-valkov-metodom-bandazhirovaniya/viewer> (дата обращения: 10.08.2021).
3. Фиркович А.Ю., Кушнарв А.В. и др. Опыт восстановления опорных валков методом бандажирования износостойкими материалами. *Черные металлы*. 2002;(1):29–30.
4. Белевский Л.С., Фиркович А.Ю. и др. Составные прокатные валки. Магнитогорск: МГТУ им. Н.Э. Баумана; 2004. 206 с.
5. Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S., Shinkevich M.V., Salimianova I.G., Ishmuradova I.I. Improving the efficiency of production process organization in the resource saving system of petrochemical enterprises. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2019;9(4):233–239. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7966>
6. Рудик Ф.Я., Скрябина Л.Ю., Ковылин А.П., Попова А.В., Володин В.В. Повышение износостойкости и усталостной прочности режущих инструментов перерабатывающей отрасли. *Вестник машиностроения*. 2015;(4):43–47. URL: https://www.mashin.ru/files/2015/ve0415_web.pdf (дата обращения: 10.08.2021).
7. Патент на полезную модель № 41269 РФ, МКИ В23Р6/00. Шестаков А.О., Богатырев С.А., Купин И.В., Чаркин Ю.А. Бандаж для восстановления и укрепления посадочного места под подшипник в корпусе ведущего моста колесного трактора. Заявл. 06.05.2004; опублик. 20.10.2004. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU41269U1_20041020.pdf (дата обращения: 10.08.2021).
8. Богатырев С.А., Сафонов В.В., Элькин С.Ю. Результаты исследований напряженного состояния

рукава полуоси колесного трактора. *Научное обозрение*. 2014;(6):17–28.

9. Патент на полезную модель № 34109 РФ, МПК В23Р6/00. Шестаков А. О., Богатырев С.А., Купин И.В. Бандаж для восстановления рукава ведущего моста колесного трактора. Заявл. 20.06.2003.; опубл. 27.11.2003. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU34109U1_20031127 (дата обращения: 10.08.2021).

10. Гун Г.С. Инновационные методы и решения в вопросах обработки материалов. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2014;(4):99–113.

11. Kolotyryn K.P., Bogatyrev S.A., Savon D.Yu., Aleksakhin A.V. Use of resource-saving technologies in fabrication and restoration of steel bushing-type components via hot plastic deformation. *CIS Iron and*

Steel Review. 2019;(18):38–41. <https://doi.org/10.17580/cisisr.2019.02.08>

12. Skripalenko M.M., Bazhenov V.E., Romantsev B.A. Computer modeling of chain processes in the manufacture of metallurgical products. *Metallurgist*. 2014;58(1-2):86–90. <https://doi.org/10.1007/s11015-014-9873-7>

13. Тигунов Л.П., Пикалова В.С., Быховский Л.З. Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая база: состояние, использование, перспективы развития. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 2017;(12):3–11. URL: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/view/754> (дата обращения: 10.08.2021).

14. Цеков В.И. Основы восстановления деталей металлургического оборудования. М.: Металлургия; 1984. 328 с.

References

1. Solovyov S.A., Lyalyakin V.P., Goryachev S.A., Mishina Z.N., Gerasimov V.S., Solovyov R.Yu., Chernoiyanov V.I., Golubev I.G. Innovative directions of development of the repair and maintenance base for agricultural machinery. Moscow: FSBSI “Rosinformagrote”; 2014. 160 p. (In Russ.)

2. Muravyova A.V., Kalinina N.E. The effectiveness of restoring the health of rolling rolls by the banding method. *Eurasian Union of Scientists (EUS)*. 2016;4(25):101–103. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effektivnost-vosstanovleniya-rabotosposobnosti-prokatnyh-vaikov-metodom-bandazhrovaniya/viewer> (accessed on 10.08.2021).

3. Firkovich A.Yu., Kushnarev A.V. et al. Experience in restoring backup rolls by the banding method with wear-resistant materials. *Chernye Metally*. 2002;(1):29–30. (In Russ.)

4. Belevsky L.S., Firkovich A.Yu. et al. Compound rolling rolls. Magnitogorsk: Bauman University; 2004. 206 p. (In Russ.)

5. Shinkevich A.I., Kudryavtseva S.S., Shinkevich M.V., Salimianova I.G., Ishmuradova I.I. Improving the efficiency of production process organization in the resource saving system of petrochemical enterprises. *International Journal of Energy Economics and Policy*. 2019;9(4):233–239. <https://doi.org/10.32479/ijee.7966>

6. Rudik F.Ya., Scriabin L.Yu., Kovylin A.P., Popova A.V., Volodin V.V. Improving wear resistance and fatigue strength of cutting tools in processing industry. *Mechanical Engineering Bulletin*. 2015;(4):43–47. (In Russ.). URL: https://www.mashin.ru/files/2015/ve0415_web.pdf (accessed on 10.08.2021).

7. Patent for utility model No. 41269 of the Russian Federation, MKI V23R 6/00. Shestakov A.O., Bogatyrev S.A., Kupin I.V., Charkin Yu.A. A bandage for restoring and strengthening the bearing seat in the housing of the drive axle of a wheeled tractor. Declared

06.05.2004; publ. 20.10.2004. (In Russ.). URL: https://patents.s3.yandex.net/RU41269U1_20041020.pdf (accessed on 10.08.2021).

8. Bogatyrev S.A., Safonov V.V., Elkin S.Yu. Results of studying the model of stressed condition of the axle arm of a wheeled tractor. *Nauchnoe obozrenie = Scientific Review*. 2014;(6):17–28. (In Russ.)

9. Patent for utility model No. 34109 of the Russian Federation, МПК V23P 6/00. Shestakov A.O., Bogatyrev S.A., Kupin I.V. Bandage to restore the sleeve of the drive axle of a wheel tractor. Declared 20.06.2003; publ. 27.11.2003. (In Russ.). URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU34109U1_20031127 (accessed on 10.08.2021).

10. Gun G.S. Innovative methods and decisions in materials processing. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2014;(4):99–113. (In Russ.)

11. Kolotyryn K.P., Bogatyrev S.A., Savon D.Yu., Aleksakhin A.V. Use of resource-saving technologies in fabrication and restoration of steel bushing-type components via hot plastic deformation. *CIS Iron and Steel Review*. 2019;(18):38–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/cisisr.2019.02.08>

12. Skripalenko M.M., Bazhenov V.E., Romantsev B.A. Computer modeling of chain processes in the manufacture of metallurgical products. *Metallurgist*. 2014;58(1-2):86–90. <https://doi.org/10.1007/s11015-014-9873-7>

13. Tigonov L.P., Pikalova V.S., Bykhovsky L.Z. The alloying metals in Russia. The mineral and raw materials base in Russia: the status, utilization, prospects for the development. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*. 2017;(12):3–11. (In Russ.). URL: <https://chermetinfo.elpub.ru/jour/article/view/754> (accessed on 10.08.2021).

14. Tsekov V.I. Basics of restoring parts of metallurgical equipment. Moscow: Metallurgiya; 1984. 328 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Колотырин Константин Павлович – д-р экон. наук, профессор кафедры проектного менеджмента и внешнеэкономической деятельности, АПК Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова, 410012, Саратов, Театральная пл., д. 1, Российская Федерация; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9259-0666>; e-mail: kpk75@mail.ru

Богатырев Сергей Аркадьевич – д-р техн. наук, профессор кафедры проектного менеджмента и внешнеэкономической деятельности, АПК Саратовского государственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова, 410012, Саратов, Театральная пл., д. 1, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-4212-9948>; e-mail: tettet@inbox.ru

Савон Диана Юрьевна – д-р экон. наук, профессор кафедры промышленного менеджмента, Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 119049, Москва, Ленинский просп., д. 4, Российская Федерация; e-mail: di199@yandex.ru

Information about authors

Konstantin P. Kolotyryn – Dr.Sci. (Econ.), Professor of the Project Management and Foreign Economic Activity in Agro-Industrial Complex, Vavilov Saratov State Agrarian University, 1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9259-0666>; e-mail: kpk75@mail.ru

Sergey A. Bogatyrev – Dr.Sci. (Eng.), Professor of the Project Management and Foreign Economic Activity in Agro-Industrial Complex, Vavilov Saratov State Agrarian University, 1 Teatralnaya Sq., Saratov 410012, Russian Federation; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4212-9948>; e-mail: tettet@inbox.ru

Diana Yu. Savon – Dr.Sci. (Econ.), Professor of the Department of Industrial Management, National University of Science and Technology “MISIS”, 4 Leninskiy Ave., Moscow 119049, Russian Federation; e-mail: di199@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.10.2021; поступила после доработки 09.12.2021; принята к публикации 16.12.2021
Received 23.10.2021; Revised 09.12.2021; Accepted 16.12.2021