

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ И УСТАНОВКИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОСАДОЧНЫХ МЕСТ ПОД ПОДШИПНИКИ В КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЯХ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ НАТИРАНИЕМ

И. Х. Гималтдинов, М. Р. Садыков, Н. Р. Адигамов, А. В. Гриценко

Реферат. В условиях сложной экономической ситуации политика импортозамещения в сфере сельского хозяйства направлена на обеспечение продовольственной безопасности страны. Проблемой является износ парка сельскохозяйственной техники, требующий значительных затрат. Обновление парка машин затруднено из-за высокой стоимости новой техники, поэтому предприятия прибегают к ремонту и восстановлению деталей. Цель исследований заключается в повышении эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей машин за счет повышения качества и обоснования режимов электролитического натирания, для получения заданных физико-механических свойств восстанавливаемых поверхностей. Разработана лабораторная установка с роликовыми анодами, обеспечивающая формирование железных покрытий при перемещении анода по восстанавливаемой поверхности. Использован анод из стали 3 по ГОСТ 380–2005. Электролит: FeCl_2 – 250–300 г/л, KCl – 40–50 г/л, H_3BO_3 – 15–30 г/л, NaH_2PO_2 – 15–30 г/л, аскорбиновая кислота – 0,5–2 г/л. Прокладка – технический войлок толщиной 6–12 мм, плотностью 0,28 г/см³. Проведён факторный эксперимент по плану второго порядка. Варьировались площадь контакта (0,160–0,277 дм²), скорость вращения анода (15–55 мин⁻¹), подача электролита (0,42–2,53 л/мин). Условия: pH = 1, ток 20–30 А, температура 52–55 °С. Максимальная скорость осаждения составила 1030,08 мкм/ч против исходного значения 460,44 мкм/ч. Полученные покрытия достигли твёрдости 59 HRC, износостойкость увеличилась на 20–30%. Применялись установка 77MT-1, твердомер ТК-2М, весы AND HR-200. Построено регрессионное уравнение второго порядка с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,93$. Дисперсионный анализ подтвердил значимость всех факторов ($p < 0,05$). Результаты позволяют рекомендовать технологию для ремонтных подразделений сельхозпредприятий. Обеспечивается повышение производительности процесса и воспроизводимость свойств покрытия при восстановлении внутренних цилиндрических поверхностей.

Ключевые слова: импортозамещение, корпусные детали, восстановление, электролитическое натирание, качество поверхности, износостойкость, надежность.

Введение. В условиях сложной экономической обстановки в Российской Федерации и в мировом сообществе в целом, государство реализует политику импортозамещения, в частности в сфере обеспечения населения достаточным количеством качественной сельскохозяйственной продукции отечественного производства, от чего напрямую зависит продовольственная безопасность страны [1, 2, 3]. Одной из актуальных

проблем остаётся износ и старение парка сельскохозяйственной техники, что требует постоянного внимания и значительных затрат физических, трудовых и финансовых ресурсов [4,5,6].

Анализ данных о состоянии машинного парка в сельскохозяйственных предприятиях показал, что ежегодно требуется значительные затраты на ремонт техники в соответствии с данными на 2022 год (рис. 1).

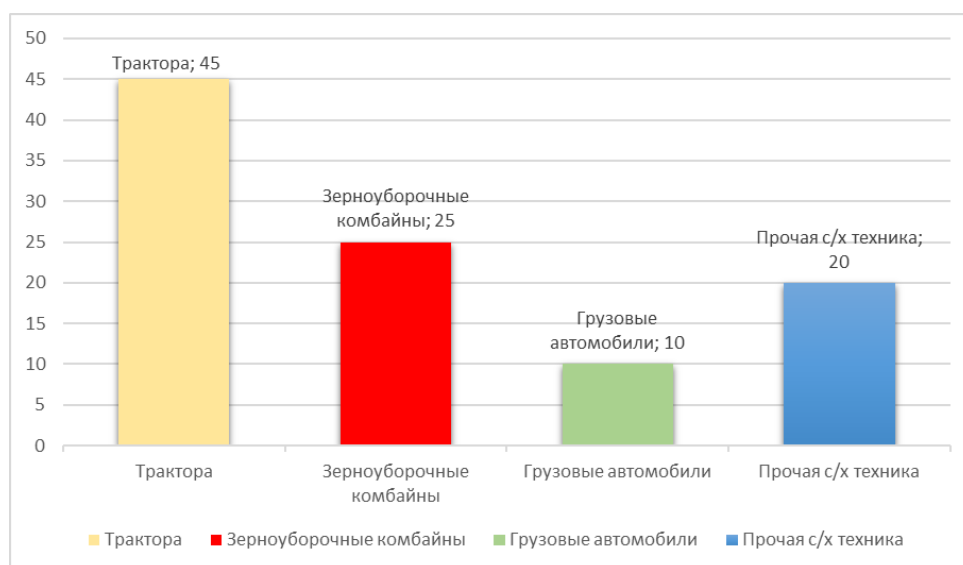


Рис. 1 – Общий годовой объем ремонта сельскохозяйственной техники в млрд руб. на 2022 год

В последние годы обновление парка машин на сельскохозяйственных предприятиях происходит медленно или не происходит вовсе из-за сложной экономической ситуации и высокой стоимости новой техники [7]. Пополнение запасных частей и комплектующих для ремонта также затруднено из-за необходимости серьезных финансовых вложений. Восполнение чаще всего на современных сельскохозяйственных предприятиях происходит путем ремонта и восстановления деталей, узлов и агрегатов, что требует меньших затрат. Однако для повышения эффективности процессов ремонта и восстановления необходимо выбирать оптимальные и продуктивные методы [8, 9].

Таким образом актуальным направлением является разработка и внедрение новых и ресурсосберегающих технологий и методов, выбор качественного, дешевого и более

доступного оборудования, конструирование инновационных устройств, менее затратного материала для восстановления внутренних цилиндрических отверстий представляют большой теоретический и практический интерес [10].

Целью исследований является повышение эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей машин за счет повышения качества и обоснования режимов электролитического натирания, для получения заданных физико-механических свойств восстанавливаемых поверхностей.

Условия, материалы и методы. В лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ была разработана установка для восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей машин электролитическим натиранием (рис. 2).

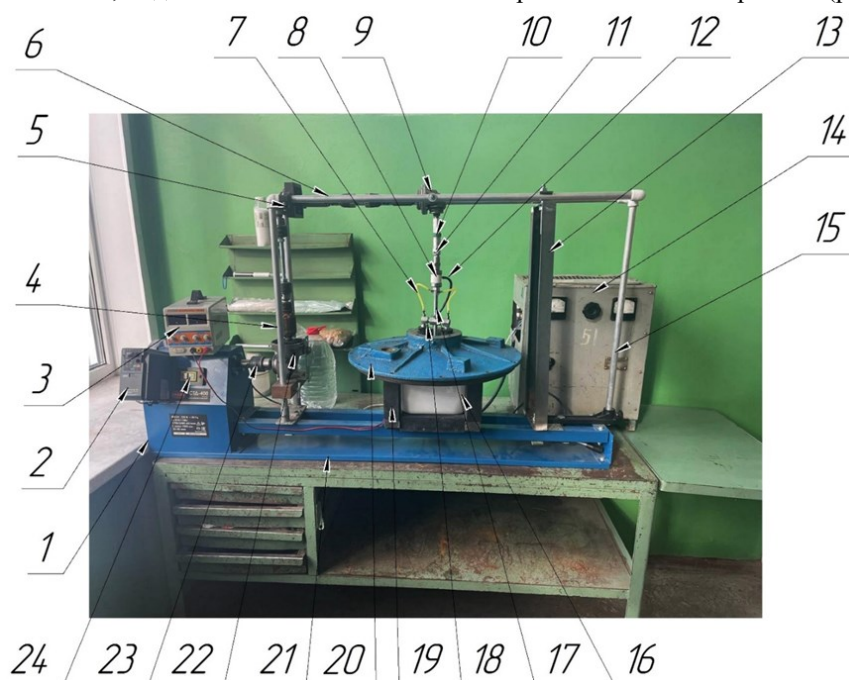


Рис. 2 – Установка для восстановления посадочных мест под подшипники деталей машин электролитическим натиранием: 1 – корпус блока управления электродвигателем; 2 – блок управление электродвигателем; 3 – лабораторный источник питания PSN 305D; 4 – левая стойка; 5 – зубчатая коническая передача вертикальный вал – горизонтальный вал; 6 – горизонтальная планка; 7 – патрубок роликового анода; 8 – система подачи жидкости с подвижным элементом; 9 – зубчатая коническая передача горизонтальный вал – вал привода роликового анода; 10 – диэлектрик; 11 – верхний шарнирный кардан; 12 – патрубок электронасоса; 13 – стойка установки; 14 – выпрямитель тока ВУ- 4270Б; 15 – правая стойка; 16 – емкость для электролита; 17 – резьбовая штанга; 18 – роликовый анод; 19 – остов; 20 – корпус дробилки КД-2; 21 – рама; 22 – зубчатая коническая передача привод-вертикальный вал; 23 – быстро разжимной кулачковый механизм; 24 – клавиши пуска и остановки электродвигателя

Установка (рис. 2) включает в себя электродвигатель, обеспечивающий вращение всех элементов механизма. Он расположен в корпусе блока управления электродвигателем 1 и передает механическую энергию для дальнейшей работы устройства. Конструктивную стабильность обеспечивают левая стойка 4, горизонтальная планка 6, правая стойка 15

и стойка установки 13, которые фиксируют и удерживают различные части установки, обеспечивая точное позиционирование в процессе работы. Подача электролита осуществляется следующим образом: насос, расположенный в емкости для электролита 16, подает жидкость через патрубок электронасоса 12 в систему подачи жидкости с подвижным элементом 8.

Далее электролит поступает через патрубок 7 во вновь разработанные роликовые аноды, защищенные патентом (RU 2769383 C1). В отличие от известных аналогов, данное устройство включает свинцовый стакан с коническими отверстиями, плоскую пружину, конусные клапаны, упорные подшипники (верхний и нижний), патрубки, уплотнительные элементы и войлочный тампон. Принципиальной особенностью конструкции является наличие верхнего и нижнего корпусов, установленных телескопически один в другой, что обеспечивает возможность взаимного перемещения при сборке. Корпуса связаны с горизонтально ориентированными элементами, на которых закреплены подпружиненные отводы, обеспечивающие точное прижатие роликового анода к восстанавливаемой поверхности. Дополнительно реализована автоматизированная клапанная система, обеспечивающая локализованную подачу электролита непосредственно в зону обработки [11]. Для управления подачей электролита используется лабораторный источник питания PSN 305D 3, с помощью которого регулируется работа насоса. Также в системе предусмотрен выпрямитель тока ВУ-4270Б, предназначенный для подачи электрического тока на анод и деталь 20 (катод), что необходимо для электролиза. Передача крутящего момента в установке осуществляется через быстроразжимной кулачковый механизм 23. Крутящий момент передается через зубчатую коническую передачу привод-вертикальный вал 22, затем через зубчатую коническую передачу вертикальный вал – горизонтальный вал 5. Далее вращение передается на зубчатую коническую передачу горизонтальный вал – вал привода роликового анода 9, а затем через резьбовую штангу 17 к устройству роликового анода 18. Для предотвращения взаимодействия анода и катода в установке предусмотрен диэлектрик 10. Также для обеспечения равномерности вращения роликового анода используется верхний шарнирный кардан 11. Фиксацию роликового анода и восстанавливаемой детали выполняет осто́в 19, установленный на раме 21. Управление установкой осуществляется через блок управления электродвигателем 2, который взаимодействует с клавишами пуска и остановки электродвигателя 24, обеспечивая полный контроль над процессом работы. Разработанная установка для электролитического натирания при восстановлении внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей защищена рядом патентов (RU 2804026 C1, RU 2769383 C1, RU 2715584 C1, RU 2739927 C1)

Установка позволяет эффективно наносить гальванические покрытия на посадочные места под подшипники деталей машин, обеспечивая высокую точность и стабильность процесса электролитического натирания, что делает её полезным инструментом при восстановлении изношенных деталей машин.

Для проведения экспериментов применялся следующий комплекс приборов и установок:

- установка для восстановления посадочных мест под подшипники деталей машин электролитическим натиранием;
- твердомер ТК-2М — для измерения микротвёрдости восстановленных поверхностей;
- машина трения 77MT-1 — для оценки износостойкости нанесённого слоя;
- аналитические весы AND HR-200 — для определения массы осаждённого металла.

Оборудование обеспечивало необходимую точность измерений и позволило получить воспроизводимые результаты при различных режимах обработки.

В ходе проведения восстановительных работ были использованы следующие режимы электролитического натирания:

- кислотность электролита — $\text{pH} = 1$;
- сила тока — $I = 20\text{--}30\text{ А}$;
- напряжение — $U = 3\text{--}12\text{ В}$;
- скорость вращения анода — $V = 40\text{--}160\text{ мин}^{-1}$;
- выход металла по току — $\eta = 85\text{--}96\%$;
- температура электролита — $t = 52\text{--}55^\circ\text{C}$;
- сила прижатия анода к поверхности — $F = 20\text{--}44\text{ Н}$;
- материал анода — сталь 3 по ГОСТ 380-2005.

Подбор параметров проводился с учётом условий формирования прочного и однородного слоя металла, обладающего высокой адгезией к основному материалу, а также соответствующего требованиям по допускам и посадке подшипниковых узлов. Все измерения проводились по стандартной методике, с последующей обработкой результатов в среде Microsoft Excel.

Для обеспечения доступа электролита к аноду и к восстанавливаемой поверхности была использована анодная прокладка из войлока технического полугрубошерстного ППРБ, толщиной 6-12 мм, плотностью 0,28 г/см, ГОСТ 6308-71.

В качестве электролита был выбран состав, обеспечивающий рациональные условия осаждения металла и высокое качество покрытия. Состав электролита включал следующие компоненты: хлорид железа (FeCl_2): 250–300 г/л; хлорид калия (KCl): 40–50 г/л; борная кислота (H_3BO_3): 15–30 г/л; гипофосфит натрия (NaH_2PO_2): 15–30 г/л; аскорбиновая кислота: 0,5–2 г/л.

Результаты и обсуждение. В ходе экспериментов по восстановлению посадочных мест под подшипники методом электролитического натирания была проведена комплексная оценка технологических параметров с использованием точного измерительного оборудования. Данные обработаны методами корреляционно-регрессионного анализа в Excel, что позволило выявить устойчивые закономерности и определить рациональные режимы, обеспечивающие равномерное покрытие с заданными свойствами.

В ходе разработки новой технологии восстановления посадочных мест под подшипники корпусных деталей были проведены экспериментальные исследования с варьированием ключевых входных факторов: площади контакта (S , дм^2), объема подаваемого электролита (V , л/мин), скорости вращения анода (w , мин^{-1}) и функции отклика скорости осаждения металла (R , мкм/ч). В результате установлены зависимости между входными

факторами функцией отклика – скорости осаждения металла. Определены рациональные режимы осаждения, обеспечивающие равномерное и прочное покрытие, и подтверждена эффективность предлагаемой технологии по сравнению с традиционными методами восстановления. На рисунке 3 представлена зависимость скорости осаждения от площади контакта, оборотов вращения анода и подачи электролита.

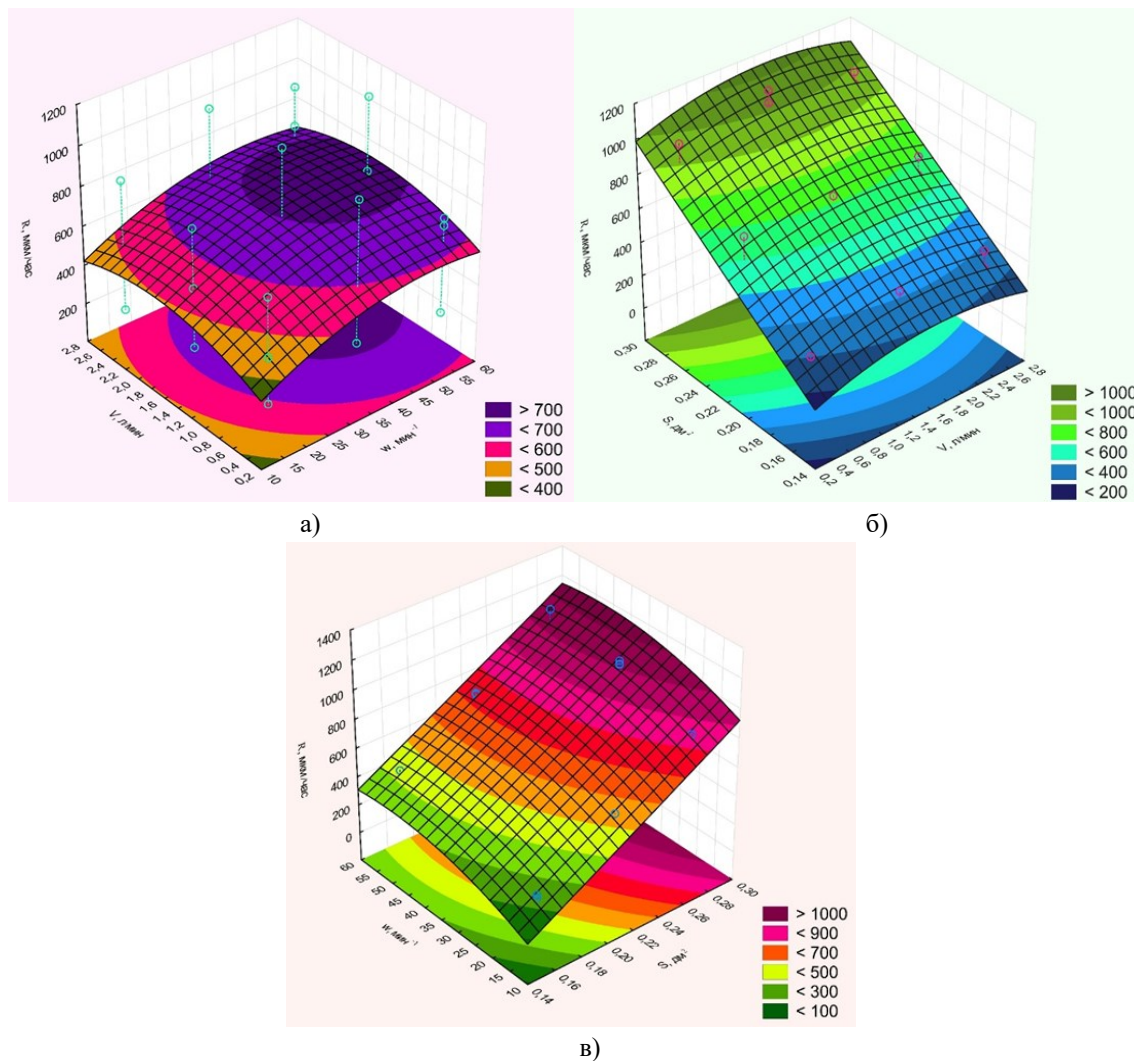


Рис. 3 – Зависимость скорости осаждения R , мкм/ч от площади контакта, скорости вращения анода и объема подачи электролита: а) зависимость скорости осаждения от V , л/мин и w , мин^{-1} ; б) зависимость скорости осаждения от S , дм^2 и V , л/мин; в) зависимость скорости осаждения от w , мин^{-1} и S , дм^2

На представленных 3D графиках (рис. 3) показаны зависимости отклика – скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) от параметров объема подаваемого электролита (V , л/мин), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и площади контакта анода (S , дм^2). В первом графике (рис. 3а) отклик увеличивается с ростом частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объема подаваемого электролита (V , л/мин), с областями значений скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) выше 700, что указывает на нелинейную зависимость этих параметров.

Во втором графике (рис. 3б) показывает более широкий диапазон значений скорости осаждения металлов (R , мкм/ч), от менее 200 до более 1000, при этом резкие изменения отклика происходят при низких значениях площади контакта анода (S , дм^2), и объема подаваемого электролита (V , л/мин). Третий график (рис. 3в) более высокие значения скорости осаждения металлов (R , мкм/ч), выше 1000 наблюдаются при высоких значениях частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и площади контакта анода (S , дм^2), что свидетельствует

о их значительном влиянии на отклик. В целом, эти графики наглядно иллюстрируют, как различные комбинации параметров влияют на отклик, выделяя области с быстрым изменением и более стабильные параметры для каждой комбинации.

На рисунке 4 приведены итоговые графики влияния площади контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}), объема подаваемого электролита (V , л/мин), на скорость осаждения металлов (R , мкм/ч).

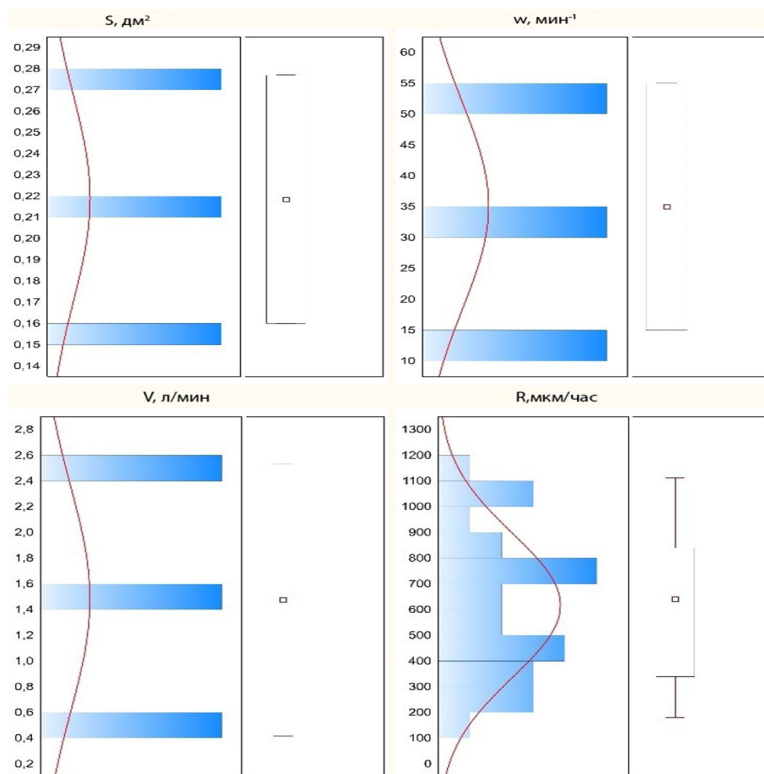


Рис. 4 – Результаты проведения экспериментальных исследований влияния факторов S , дм^2 , w , мин^{-1} , V , л/мин на R , мкм/ч

На представленных итоговых графиках (рис. 4) видно, что параметры частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и площади контакта анода (S , дм^2) имеют более широкий разброс значений по сравнению с объемом подаваемого электролита (V , л/мин), что указывает на большую изменчивость этих переменных. Среднее значение площади (S , дм^2) составляет 0,219 дм^2 с небольшим разбросом, что подтверждается стандартным отклонением 0,0487. Частота вращения (w , мин^{-1}) имеет значительную вариативность, с диапазоном от 15 до 55 мин^{-1} и стандартным отклонением 16,64. Для скорости подачи электролита (V , л/мин) среднее значение составляет 1,475 л/мин, с умеренным разбросом (стандартное отклонение 0,878), а для отклика скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) наблюдается наиболее значительная изменчивость с диапазоном от 181 до 1113 мкм/ч и стандартным отклонением 279.

Было получено уравнение регрессии второго порядка для предсказания значения отклика скорости осаждения металлов (R , мкм/ч) на основе параметров площади контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объемом подаваемого электролита (V , л/мин)

выглядит следующим образом:

$$R = V_{\text{ос}} = 121,14 + 1135,20 \cdot S + 4,80 \cdot w + 61,39 \cdot V + 3688,61 \cdot S^2 - 27,81 \cdot S \cdot w + 120,23 \cdot S \cdot V + 0,13 \cdot w^2 - 1,84 \cdot w \cdot V + 15,47 \cdot V^2 \quad (2)$$

Коэффициент детерминации (R^2) для модели регрессии второго порядка составил 0,93, что свидетельствует о высоком уровне объясняемой дисперсии зависимой переменной (R) моделью. Это означает, что около 93% вариации в значениях отклика объясняется выбранными независимыми переменными: площадью контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объемом подаваемого электролита (V , л/мин), что говорит о хорошей точности модели.

Коэффициент детерминации (R^2) для модели регрессии второго порядка составил 0,93, что свидетельствует о высоком уровне объясняемой дисперсии зависимой переменной (R) моделью. Это означает, что около 93% вариации в значениях отклика объясняется выбранными независимыми переменными: площадью контакта анода (S , дм^2), частоты вращения анода (w , мин^{-1}) и объемом подаваемого электролита (V , л/мин).

(V, л/мин), что говорит о хорошей точности модели.

Также был проведен дисперсионный анализ (табл.).

Таблица – Дисперсионный анализ

Фактор	Дисперсионный анализ; Прм.: R, мкм/час; $R^2=0,93855$; Скор., 92012 3 3-х уровневые ф, 1 Блоки; Остаточн. SS=6216,974 ЗП R, мкм/час				
	SS	сс	MS	F	p
(1)S, дм ² (L)	1680189	1	1680189	270,2583	0,000001
S, дм ² (K)	14	1	14	0,0022	0,013241
(2)w, мин ⁻¹ (L)	143821	1	143821	23,1337	0,000107
w, мин ⁻¹ (K)	24473	1	24473	3,9365	0,011142
(3)V, л/мин (L)	20451	1	20451	3,2895	0,014760
V, л/мин (K)	30267	1	30267	4,8684	0,029210
Ошибка	124339	20	6217		
Общая SS	2023554	26			

На основе дисперсионного анализа (табл.) все три независимых переменные (S, w и V) оказывают значительное влияние на отклик, о чем свидетельствуют низкие р-значения для линейных и квадратичных членов каждого из факторов. Ошибка модели (с остаточной суммой квадратов 6216,974) и общая сумма квадратов (2023554) показывают, что модель хорошо описывает данные с небольшими отклонениями, а высокие

значения F-статистики подтверждают значимость факторов. В целом, факторы S, w и V имеют значительное влияние на отклик, и модель демонстрирует высокий уровень объясняемой дисперсии. На рисунке 5 представлены наблюдаемые экспериментальные и расчетные теоретические значения. На графике (рис. 5) представлена зависимость между наблюдаемыми и предсказанными значениями для отклика R, мкм/ч.

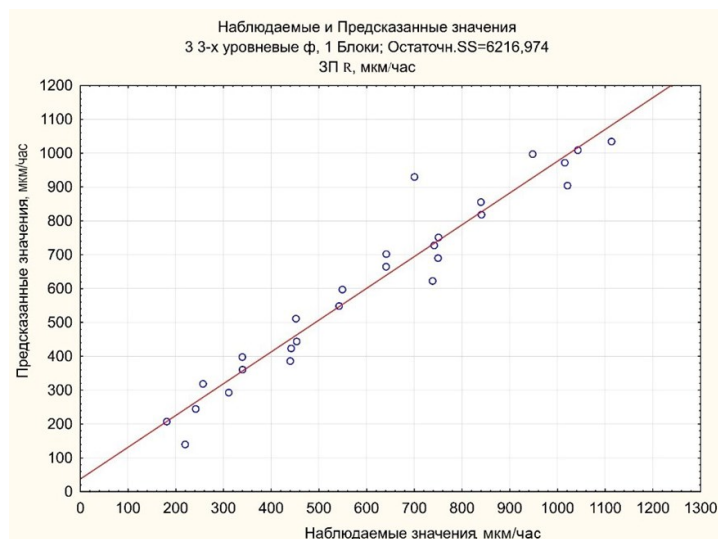


Рис. 5 – Наблюдаемые и предсказанные значения

Каждая точка соответствует паре значений: наблюдаемому значению отклика, полученному в эксперименте, и предсказанному значению, рассчитанному на основе полученной регрессионной модели, так как все точки расположены близко к линии регрессии, что указывает на высокую точность предсказаний. Координаты точек определяются следующим образом: по оси абсцисс отложены наблюдаемые значения отклика R, мкм/ч, а по оси ординат - соответствующие им предсказанные значения, мкм/час. Красная линия на графике отражает идеальную линейную зависимость $x=y$, при которой предсказанные значения в точности совпадают с наблюдаемыми. Видно, что большинство точек располагаются вблизи этой линии, что свидетельствует о высокой

точности предсказаний, полученных по регрессионной модели. Низкое значение остаточной суммы квадратов ($SS = 6216,974$) подтверждает хорошее соответствие модели экспериментальным данным, что является положительным результатом при прогнозировании отклика.

Выводы. Сформулированные по результатам проведенного научного исследования выводы подтверждают, что поставленная цель – повышение эффективности восстановления внутренних цилиндрических поверхностей корпусных деталей машин методом электролитического натирания – достигнута в полном объеме. На основе анализа существующих проблем в техническом обслуживании сельскохозяйственной техники и теоретического

обоснования ключевых параметров электролитического процесса была разработана экспериментальная установка с роликовым анодом, защищённая рядом патентов Российской Федерации. Это обеспечило возможность реализации восстановительного процесса с высокой степенью точности и воспроизводимости. Предложенная математическая модель второго порядка, построенная на основании трех факторов – площади контакта анода, скорости его вращения и объема подачи электролита, – позволила с высокой точностью (коэффициент детерминации $R^2 = 0,93$) описывать процессы осаждения железа, что подтверждается как результатами дисперсионного анализа, так и сопоставлением экспериментальных и расчетных данных. Полученные значения скорости осаждения металла достигали 1030,08 мкм/час, что в 1,9 раза выше по сравнению с базовыми режимами, используемыми на начальных этапах эксперимента (460,44 мкм/час). Это указывает на возможность существенного увеличения производительности восстановления без потери качества.

Кроме того, достигнуты целевые значения твердости восстановленных поверхностей – до 59 HRC при восстановлении стали 3, что, согласно проведённым испытаниям на машине трения 77MT-1, обеспечило повышение износостойкости обработанных участков на 20–30% по сравнению с аналогами. Были решены все сформулированные задачи: проведён сравнительный анализ существующих способов восстановления, теоретически и экспериментально обоснованы конструкционные и технологические параметры установки,

разработана и протестирована математическая модель.

Полученные результаты имеют прикладную значимость для ремонтных сельскохозяйственных предприятий, машиностроительных производств и образовательных учреждений, обучающих специалистов по техническому обслуживанию и ремонту машин. В качестве рекомендаций предлагается использовать оптимальные технологические режимы, включающие подачу электролита 2,5 л/мин и скорость вращения анода 55 об/мин при использовании войлочных прокладок толщиной 6–12 мм. Эти условия обеспечивают равномерное распределение слоя металла, высокую адгезию и минимальные отклонения по геометрии посадочных мест.

Направления для дальнейших исследований включают развитие систем автоматического управления режимами натирания на основе обратной связи с параметрами процесса, расширение области применения технологии на материалы с различными физико-химическими свойствами, а также экологическую оптимизацию состава электролитов для снижения токсичности и повышения биобезопасности производства.

Сведения об источнике финансирования. Работа выполнена при поддержке гранта (№143/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 124–132.
2. Зиганшин Б. Г., Клычова Г. С., Закирова А. Р. Основные направления формирования механизма социального развития сельскохозяйственного предприятия // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14, № 3(54). С. 155–161.
3. Development of agriculture based on geographic information technologies / D. A. Mustashkina, M. M. Khananov, M. N. Kalimullin, N. V. Karpova // E3S Web of Conferences. 2022. Vol. 282. P. 07019. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/58/e3sconf_efsc2021_07019/e3sconf_efsc2021_07019.html
4. Хафизов К. А. Снижение суммарных энергетических затрат на технологических операциях в АПК – путь снижения выбросов парниковых газов в атмосферу // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16, № 3(63). С. 43–47.
5. Хафизов К. А., Халиуллин Ф. Х. Пути повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 20–22.
6. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations / D. T. Khaliullin, A. V. Belinsky, I. Kh. Gayfullin [et al.] // Vol. 1212, 2023. P. 12055. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055.
7. Галиев И. Г., Хусаинов Р. К., Хусаинова Т. А. и др. Влияние уровня эксплуатации тракторов в сельскохозяйственном производстве на показатели их надежности // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13, № 3(50). С. 77–80.
8. Li R. I., Rizaeva Y. N., Bykonya A. N. et al. A method for calculating the parameters of a unit for thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts // Polymer Science, Series D. 2021. Vol. 14, No. 4. P. 517–521.
9. Ли Р. И., Псарев Д. Н., Быконя А. Н. и др. Теоретические аспекты терморadiационного нагрева изношенных корпусных деталей техники при восстановлении // Наука в центральной России. 2020. № 1(43). С. 50–59.
10. Sadykov M., Gimaltdinov I., Adigamov N. et al. Theory and Practice of Substantiation of Electroplating Modes by Electrolytic Rubbing // AIP Conference Proceedings. 2024. Vol. 3154. P. 20054. doi: 10.1063/5.0197166.
11. Пат. 2769383 С1 Российская Федерация, МПК C25D 19/00, C25D 5/06, C25D 7/04. Устройство для вневанного электролитического осаждения металлов с использованием роликовых анодов / Садыков М. Р., Валиев А. Р., Адигамов Н. Р., Гималтдинов И. Х.; патентообладатель: ФГБОУ ВО Казанский ГАУ. – №

2021113260; заявл. 07.05.2021; опубл. 31.03.2022. Бюл. № 9. 4 с.

Сведения об авторах:

Гималтдинов Ильдус Хафизович – кандидат технических наук, врио заведующего кафедрой эксплуатации и ремонта машин, e-mail: tskazgau@mail.ru

Садиков Марат Рашитович – ассистент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: marat3012@yandex.ru

Адигамов Наиль Рашатович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: n-adigamov@rambler.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

Гриценко Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала»¹; профессор кафедры технического сервиса машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности²; e-mail: alexgrits13@mail.ru

¹Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия

²Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AND INSTALLATION FOR RESTORATION OF BEARING SEATS IN BASIC PARTS BY ELECTROLYTIC RUBBING

I. Kh. Gimaltdinov, M. R. Sadykov, N. R. Adigamov, A. V. Gritsenko

Abstract. In the conditions of a difficult economic situation, the import substitution policy in the agriculture sphere is aimed at ensuring food security of the country. The problem is the wear and tear of the agricultural machinery fleet, which requires significant costs. Updating the fleet of machines is difficult due to the high cost of new equipment, so enterprises resort to repair and restoration of parts. The aim of the research is to increase the efficiency of restoration of internal cylindrical surfaces of machine basic parts by improving the quality and substantiating the modes of electrolytic rubbing, to obtain the specified physical and mechanical properties of the restored surfaces. A laboratory setup with roller anodes has been developed, which ensures the formation of iron coatings when the anode moves along the surface being restored. An anode made of grade 3 steel according to GOST 380–2005 was used. Electrolyte: FeCl_2 – 250–300 g/l, KCl – 40–50 g/l, H_3BO_3 – 15–30 g/l, NaH_2PO_4 – 15–30 g/l, ascorbic acid – 0.5–2 g/l. Gasket – a technical felt of 6–12 mm thick, with a density of 0.28 g/cm³. A factorial experiment was conducted according to a second-order design. The contact area (0.160–0.277 dm²), anode rotation speed (15–55 min⁻¹), and electrolyte feed (0.42–2.53 l/min) were varied. Conditions: pH=1, current 20–30 A, temperature 52–55°C. The maximum deposition rate was 1030.08 µm/h against the initial value of 460.44 µm/h. The obtained coatings reached a hardness of 59 HRC, wear resistance increased by 20–30%. The following device were used: device 77MT-1, hardness tester TK-2M, scales AND HR-200. A second-order regression equation with the determination coefficient $R^2=0.93$ was constructed. The dispersion analysis confirmed the significance of all factors ($p<0.05$). The results allow us to recommend the technology for repair departments of agricultural enterprises. It ensures increased process productivity and reproducibility of coating properties when restoring internal cylindrical surfaces.

Key words: import substitution, basic parts, restoration, electrolytic rubbing, surface quality, wear resistance, reliability.

References

1. Safiullin IN, Ziganshin BG, Amirova EF. [Assessment of food security of Russia]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 124–132 p.
2. Ziganshin BG, Klychova GS, Zakirova AR. [Main directions of formation the social development mechanism of an agricultural enterprise]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 3(54). 155–161 p.
3. Mustashkina DA, Khannanov MM, Kalimullin MN, Karpova NV. Development of agriculture based on geographic information technologies. [Internet]. E3S Web of Conferences. 2022; Vol.282. 07019 p. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/58e3sconf_efsc2021_07019.html
4. Khafizov KA. [Reducing total energy costs in technological operations in the agro-industrial complex - a way to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 43–47 p.
5. Khafizov KA, Khaliullin FK. [Ways to improve the efficiency of using machine and tractor units]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015; 10. 20–22 p.
6. Khaliullin DT, Belinskiy AV, Gayfullin IK. Ways to increase the efficiency of using agricultural machinery in performing technological operations. Vol.1212. 2023; 12055 p. doi: 10.1088/1755-1315/1212/1/012055.
7. Galiev IG, Khusainov RK, Khusainova TA. [The influence of the level of operation of tractors in agricultural production on their reliability indicators]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 3(50). 77–80 p.
8. Li RI, Rizaeva YN, Bykonya AN. A method for calculating the parameters of a unit for thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts. Polymer Science, Series D. 2021; Vol.14. 4. 517–521 p.
9. Li RI, Psarev DN, Bykonya AN. [Theoretical aspects of thermoradiation heating of worn basic parts of machine during restoration]. Nauka v tsentral'noy Rossii. 2020; 1(43). 50–59 p.
10. Sadykov M, Gimaltdinov I, Adigamov N. Theory and practice of substantiation of electroplating modes by electrolytic rubbing. AIP Conference Proceedings. 2024; Vol.3154. 20054 p. doi: 10.1063/5.0197166.
11. Sadykov MR, Valiev AR, Adigamov NR, Gimaltdinov IK. [Device for external electrolytic deposition of metals using roller anodes]. Patent 2769383 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C25D 19/00, C25D 5/06, C25D 7/04. Patentobladatel: FGBOU VO Kazanskiy GAU. № 2021113260; declared 07.05.2021; published 31.03.2022; bulletin № 9. 4 p.

Authors:

Gimaltdinov Ildus Khafizovich – Ph.D. in Engineering, Acting Head of Machine Operation and Repair Department, e-mail: tskazgau@mail.ru

Sadykov Marat Rashitovich – Assistant of Machine Operation and Repair Department, e-mail: marat3012@yandex.ru

Adigamov Nail Rashatovich – Doctor of Engineering, Professor of Machine Operation and Repair Department, e-mail: n-adigamov@rambler.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

Gritsenko Aleksandr Vladimirovich – Doctor of Engineering, Professor of the Advanced Engineering School of Engine Building and Special Equipment “Heart of the Urals”¹; Professor of the Department of Technical Service of Machines, Equipment and Life Safety²; e-mail: alexgrits13@mail.ru

¹South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia

²South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.