
НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

УДК 658.5.012.7

**ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ
НА РЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**© 2025 г. П. В. Голиницкий^{1, *}, У. Ю. Антонова¹, Э. И. Черкасова¹¹ *Российский государственный аграрный университет – МСХА**им. К. А. Тимирязева, Москва, Россия*** e-mail: gpv@rgau-msha.ru*

Поступила в редакцию 03.12.2024 г.

После доработки 24.01.2025 г.

Принята к публикации 20.02.2025 г.

Особенности ремонтных предприятий, такие как неритмичность производимых работ и их разнообразие, повышают нагрузку на сотрудников, которые, как правило, не закреплены за одной операцией и являются более универсальными специалистами. Внедрение цифровых систем позволяет снизить число возникающих ошибок персонала, но наибольший эффект может быть достигнут только при создании единой информационной среды. Применение процессного подхода обеспечит формирование реестра процессов, на основе которых возможны организация прослеживаемости деталей, совершенствование контрольно-измерительных процедур, что снизит количество ошибок, а также позволит проанализировать процесс на основе собранных данных. Такие системы, объединенные единой информационной средой, способствуют прогнозированию показателей и приблизят качество отремонтированных деталей к новым.

Ключевые слова: распределительный вал, информационная среда, процессный подход, цифровые средства измерений, стабильность процесса

DOI: 10.31857/S0235711925030091, **EDN:** GMWXGK

В настоящее время в Российской Федерации активно развивается отечественное тракторостроение [1–3]. Современные энергонасыщенные тракторы имеют достаточно надежные сборочные единицы и агрегаты, но в любом случае в процессе эксплуатации им необходим регулярный ремонт, в процессе которого формируются собственные показатели надежности отремонтированных агрегатов [4, 5].

Особенности ремонтных предприятий, такие как неритмичность производимых работ и их разнообразие, не позволяют использовать подходы конвейерного производства. Сотрудники подобных предприятий, как правило, не закреплены за одной операцией и являются более универсальными специалистами, что повышает нагрузку и не способствует снижению количества ошибок.

Автотракторный двигатель является сложной системой, на которую приходится до 50% отказов техники [6, 7]. Одним из основных элементов двигателей является газораспределительный механизм (ГРМ), именно от его работы зависят развиваемая мощность и экономичность трактора.

Центральной частью ГРМ является распределительный вал, синхронизирующий работу клапанов. При работе распределительный вал, как и любой другой механизм, испытывает знакопеременные нагрузки [6, 7], что приводит к износу его трущихся

поверхностей [8, 9] и, как следствие, необходимости регулировки клапанов. Несмотря на разработанные компенсаторы в эксплуатации и производстве, поныне находятся двигатели, не оснащенные подобными механизмами, например семейство двигателей ЯМЗ-236, распределительный вал которых представлен на рис. 1.

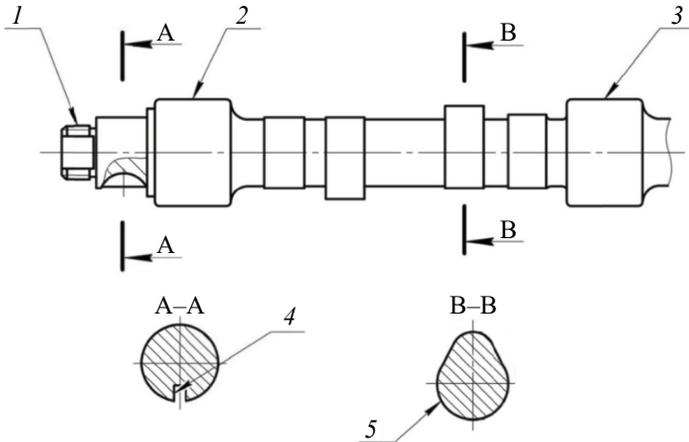


Рис. 1. Распределительный вал ЯМЗ-236: 1 – резьба М27; 2, 3 – опорные шейки; 4 – шпоночный паз; 5 – кулачок.

Отсутствие компенсационных механизмов усугубляет возможные дефекты, снижает межсервисный пробег и повышает требования к качеству проводимых ремонтных работ. Перечень возможных дефектов и значения параметров распределительного вала (табл. 1) приводятся заводом-изготовителем в руководстве по ремонту. Только при соблюдении данных требований можно гарантировать заложенные показатели качества детали, прошедшей ремонт.

Таблица 1. Перечень возможных дефектов для распределительных валов ЯМЗ-236

Дефект	Значение параметра, мм		Необходимые мероприятия
	Номинальный	Предельно допустимый	
Трещины или обломы	–		Браковать
Забойны на нерабочих поверхностях			
Износ опорных шеек	$54^{+0.062}_{-0.105}$	53.88	Обработать до категоричного ремонтного размера. Хромировать
Износ кулачков по высоте	42.2	41.0	Обработать кулачки по копиру
Износ шпоночного паза по ширине	$6^{+0.010}_{-0.055}$	6.02	Браковать
Изгиб вала	Допуск радиального биения средних опорных шеек относительно общей оси крайних шеек:		Править
	0.04	0.05	
Срыв резьбы	–	Не более одного витка	1 виток – калибровать резьбу 2 витка – браковать

В настоящее время все больше предприятий машиностроительного сектора стараются повысить свою эффективность и качество работ за счет внедрения цифровых технологий. Наибольший эффект при этом достигается при взаимной интеграции цифровых систем. Ядром подобной единой информационной среды (ЕИС) выступает база данных, хранящая сведения о каждом произведенном изделии, применявшихся при этом материалах и инструментах, технологических процессах и ответственных за них лиц. Поскольку от корректности поступающих данных зависит эффективность принимаемых решений, то при их сборе особое внимание необходимо уделить снижению числа ошибок.

Наибольшую эффективность от применения ЕИС можно получить при полностью функционирующей системе менеджмента качества (СМК). К сожалению, на ремонтных предприятиях это встречается не так часто, что сказывается на перечне необходимых мероприятий и этапах их внедрения: 1) применение процессного подхода; 2) организация прослеживаемости при ремонте; 3) совершенствование контрольно-измерительных процедур; 4) анализ стабильности процессов.

Применение процессного подхода на ремонтном предприятии, в основе которого лежит ГОСТ Р ИСО 9001-2015, позволит: 1) снизить вероятность возникновения ошибок, связанных с нарушением технологии; 2) оценить эффективность производственной деятельности; 3) проводить необходимые улучшения [10]. Дополнительным преимуществом такого подхода является возможность отладить процессы метрологического обеспечения производства, и, следовательно, снизить вероятность появления ошибок на контрольных операциях [11, 12].

Для этого необходимо определить начальное и конечное событие процесса, установить связи с другими процессами и границы ответственности. Использование специализированного программного обеспечения и стандартизированных нотаций для описания процессов облегчит интеграцию с компонентами ЕИС, обеспечит формирование реестра процессов, позволит формировать регламентирующие процессы, проводить имитационное моделирование и своевременно оповещать сотрудников о произошедших изменениях в технологии производства.

Процессы участка дефектации и участка механической обработки для распределительных валов ЯМЗ-236 представлен на рис. 2.

Применение процессного подхода для основных операций предприятия не заменит СМК, но позволит перейти к следующему этапу.

Для обеспечения прослеживаемости в рамках создания ЕИС ремонтного предприятия целесообразно использовать машиночитаемую маркировку. В данный момент можно выделить два вида подобной маркировки: оптически читаемую и радиочастотную.

К первому виду относятся маркировка на основе матричных штриховых кодов (QR-код и Data Matrix), радиочастотная маркировка основана на технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия (NFC и RFID).

Поскольку одной из особенностей ремонтного производства можно считать использование универсального оборудования и большое количество ручных операций, которые ограничивают производительность, применение радиочастотной маркировки, нацеленной на высокопроизводительные автоматизированные предприятия, делает ее возможности избыточными и чрезмерно дорогостоящими. В связи с этим в дальнейшем будем рассматривать маркировку на основе матричных штриховых кодов.

QR-код и Data Matrix являются широко распространенными видами маркировки, что позитивно сказывается на стоимости оборудования. Стоит отметить и возможность создания избыточного кода, который позволяет обеспечить считывание даже при 30%-ном повреждении. Преимуществом Data Matrix можно считать вдвое меньший размер, а также возможность создания прямоугольных меток, что позволяет

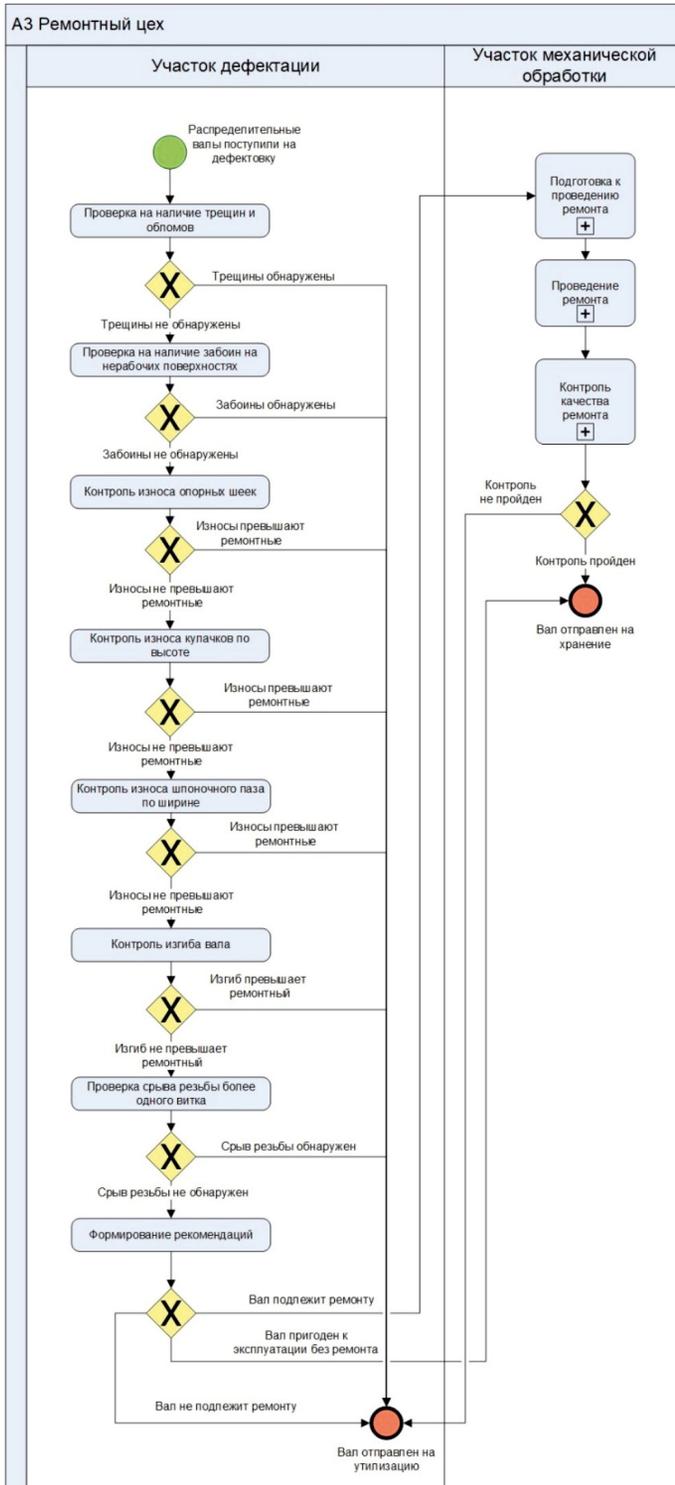


Рис. 2. Применение процессного подхода для ремонтного цеха.

рекомендовать к внедрению на ремонтных предприятиях именно данный тип маркировки.

Операцию маркировки необходимо осуществлять после очистки. Именно с нее можно начинать проведение дефектовки. Для маркировки можно использовать бирки, наклейки или наносить метку при помощи лазерной гравировки на нерабочие поверхности. Использование последнего метода позволяет сохранить метку после сборки, что положительно скажется на работе с рекламациями, а также позволит уточнить остаточный ресурс деталей.

В рамках совершенствования контрольно-измерительных операций основной задачей является снижение ошибок первого и второго рода (неверно забракованные и неверно принятые) для этого предприятия заменяют аналоговые средства измерения на цифровые, которые обладают лучшими метрологическими характеристиками и дисплеем, снижающим вероятность ошибки оператора [13]. Подключение цифровых средств измерений к ЕИС позволит организовать автоматизированный сбор измерительной информации, а также ее последующий анализ и, как следствие, принятие верного решения о необходимости ремонта.

Применение данного комплекса технологий приводит к организованному сбору и хранению информации о показателях выпускаемой продукции, что дает возможность проводить оценку эффективности процессов. Применяв контрольные карты, можно оценивать, контролировать стабильность процесса и фиксировать потерю его управления. Учитывая особенности ремонтных предприятий, следует использовать X- и R-карты индивидуальных значений и размахов, которые ориентированы на малое количество одинаковых изделий и сплошной контроль. Контрольные карты для обработанных под первый ремонтный размер опорных шеек распределительных валов двигателя ЯМЗ-236 представлены на рис. 3.

Анализ контрольной X-карты (рис. 3а), на которой четыре из пяти последовательных точек расположены в одной зоне односигмовых границ, что позволяет нам сделать вывод, что на процесс обработки опорных шеек действуют неслучайные причины изменчивости, при этом процесс находится в статистически неуправляемом (нестабильном) состоянии (рис. 3б). Основными причинами такой ситуации является как недостаточная внимательность персонала, допускающего ошибки при настройке оборудования, носящие случайный характер, так и ошибки технолога при назначении глубины резанья опорных шеек, носящие системный характер.

Устранения первой причины без исключения человека из производственного процесса крайне затруднительно. Вторая причина вызвана стремлением технолога избежать появления неисправимого брака и, как следствие, перехода ко второму ремонтному размеру. Для назначения глубины резанья технологи часто прибегают к использованию рекомендаций, поскольку расчетные методы более трудоемки и требуют проведения дополнительных операций при входном контроле. Кроме этого, нередко глубина резанья для обработки всех опорных шеек назначается исходя из показателей самой изношенной шейки, а не индивидуально для каждой. Стоит отметить, что у новых распределительных валов разноразмерность опорных шеек отсутствует, соответственно, ее не должно быть и после ремонта.

Для изменения сложившейся ситуации необходимо иметь отлаженную систему прогнозирования послеремонтных показателей, основанную на статистических данных по результатам проведенных ремонтов, а не на расчетных методах, поскольку они не учитывают парка и состояния оборудования конкретного предприятия.

В этом случае в ЕИС добавляется модуль, в основе которого лежит информация о последних операциях и выявленных отклонениях, позволяющая спрогнозировать итоговый результат.

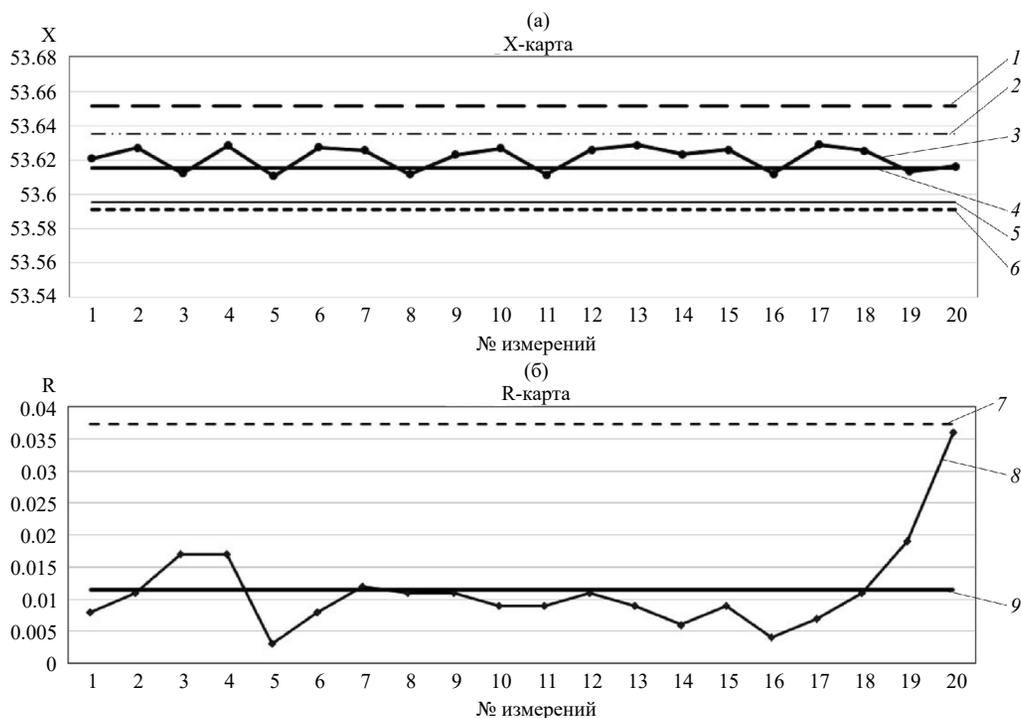


Рис. 3. Контрольные карты для обработанных под первый ремонтный размер опорных шеек распределительных валов двигателя ЯМЗ-236: (а) – контрольная карта индивидуальных значений: 1 – UCL (X), 2 – верхняя граница допуска, 3 – X, 4 – середина допуска, 5 – нижняя граница допуска, 6 – LCL (X); (б) – контрольная карта размахов: 7 – UCL (R), 8 – R, 9 – центральная линия CL.

Заключение. Применение цифровых технологий, объединенных в ЕИС, позволяет кардинально повысить эффективность ремонтных предприятий приближая к производителям.

Применение процессного подхода обеспечит формирование реестра процессов, позволит формировать регламентирующие процессы, проводить имитационное моделирование и своевременно оповещать сотрудников о произошедших изменениях в технологии производства.

Организация прослеживаемости при ремонте позволит отследить деталь на всех этапах ремонта, повысить эффективность работы с рекламациями, а также уточнить остаточный ресурс деталей.

Совершенствование контрольно-измерительных процедур снизит количество ошибок первого и второго рода и вероятность ошибки оператора.

Повышение стабильности процессов позволит избежать появления бракованной продукции, а также выявить причины отклонений.

Прогнозирование послеремонтных показателей, основанных на данных, получаемых при реализации предыдущих этапов, позволит приблизить качество отремонтированных деталей к новым.

Финансирование. Работа финансировалась за счет средств бюджета Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К. А. Тимирязева. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидманидзе О. Н., Парлюк Е. П., Пуляев Н. Н., Прокофьев М. М. Перспективы развития тракторостроения в России // Техника и оборудование для села. 2023. № 5(311). С. 2–7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-5-2-7>
2. Дидманидзе О. Н., Девакин С. Н., Парлюк Е. П., Марков В. А. Энергообеспечение сельскохозяйственного тракторостроения России // Агроинженерия. 2021. № 2(102). С. 4–8. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-4-8>
3. Дидманидзе О. Н., Федоткин Р. С., Крючков В. А., Дегтярев Н. И. Съёмная гусеничная ходовая система ведущего моста сельскохозяйственного трактора класса 0,9 // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 142–148. <https://doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp142-148>
4. Golubev I. G., Sevryugina N. S., Apatenko A. S., Fomin A. Yu. Modernizing Machines to Extend Their Life // Russian Engineering Research. 2023. V. 43. № 3. P. 258–263. <https://doi.org/10.3103/s1068798x23040111>
5. Кравченко И. Н., Величко С. А., Мартынов А. В. и др. Оценка эксплуатационной надежности шестеренных гидронасосов, отремонтированных с применением метода электроискровой обработки // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2023. № 3. С. 40–47. <https://doi.org/10.31857/S0235711923030094>
6. Erokhin M. N., Leonov O. A., Shkaruba N. Z. et al. Application of Dimensional Analysis for Calculating the Total Misalignment between a Seal and a Shaft // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2021. V. 50. № 6. P. 524–529. <https://doi.org/10.3103/S1052618821060066>
7. Leonov O. A., Shkaruba N. Zh., Vergazova Yu. G. et al. Project Assessment of the Reliability of the Joint of a Circulation-Loaded Ring of a Rolling Bearing with a Shaft of Tolerance Class js6 // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2023. V. 52. № 4. P. 343–350. <https://doi.org/10.3103/s1052618823040088>
8. Leonov O. A., Shkaruba N. Zh., Vergazova Yu. G. Calculation of the maximum functional clearance of a cylindrical joint between a steel shaft and a cast iron sprocket // CIS Iron and Steel Review. 2024. V. 27. P. 108–112. <https://doi.org/10.17580/cisirs.2024.01.17>
9. Leonov O. A., Shkaruba N. Zh., Terasova G. N. et al. Calculation of Fit Tolerance with Clearance to Increase Relative Wear Resistance of Joints // Journal of Friction and Wear. 2023. V. 44(3). P. 171–177. <https://doi.org/10.3103/S1068366623030054>
10. Ерохин М. Н., Леонов О. А., Карпузов В. В. и др. Научные основы организации системы менеджмента качества на предприятиях ТС в АПК. Ставрополь: Логос, 2020. 176 с.
11. Leonov O. A., Shkaruba N. Zh. Normalization of the Indirect Measurement Errors of Acceptance Engine Tests // Measurement Techniques. 2022. V. 65 (8). P. 564–568. <https://doi.org/10.1007/s11018-023-02121-z>
12. Шкаруба Н. Ж. Современные организационные подходы к метрологическому обеспечению ремонтного производства // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина”. 2013. № 3 (59). С. 41–44.
13. Golinitiskii P. V., Antonova U. Yu., Terasova G. N. et al. Digitalization of Fault Detection in Crankshafts // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. 2024. V. 53 (3). P. 263–270. <https://doi.org/10.1134/S1052618824700031>