

ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА МАШИН

© 2026 Шистеев А. В. ✉

*Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского
(п. Молодежный, Российская Федерация)
✉ drive-er@yandex.ru*

Реферат. Вынужденный простой машин в агропромышленном комплексе из-за неоптимальных стратегий ремонта, возникает в ситуации, когда остановки техники происходят из-за неэффективных подходов к техническому обслуживанию и восстановлению работоспособности технических средств. Снижение технической готовности машин приводит к уменьшению их производительности и, соответственно, увеличению издержек и потере финансовых средств, производителями сельскохозяйственной продукции. Целью исследования, является разработка концептуальной модели технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин в АПК на основе информационных технологий. В работе использован метод логического моделирования с выделением трёх основных технических состояний (G1 – ремонт не нужен, G2 – условный ремонт, G3 – обязателен ремонт) и системы логических принципов 1.1–3.6, а также метод регрессионного анализа. Результаты исследования содержат двухуровневую многокомпонентную модель и алгоритм направления техники в ремонт. Модель производственно-технической эксплуатации машин (МТТ) отображает ключевые моменты управления техническим сервисом машин, взаимосвязи между ними, с учетом предиктивной аналитики отказов тракторов и автомобилей для ускорения восстановления работоспособности. Алгоритм способствует организации ремонтных воздействий, повышает четкость в работе всех звеньев, участвующих в процессе организации восстановления работоспособности и обслуживания машин, имеющих в своем оснащении информационно-электронные модули и блоки. Разработки вносят вклад в развитие цифровых логических инструментов для принятия обоснованных решений в области управления машинно-тракторным парком предприятиями АПК. Применение модели при техническом сервисе сельскохозяйственных предприятий Иркутской области показывает, что коэффициент технической готовности парка увеличивается на 30% за счёт приоритизации ремонта или замены запасных частей по остаточному ресурсу и снижения времени простоя, по сравнению с текущей стратегией эксплуатации машин на предприятиях АПК.

Ключевые слова: технический сервис, работоспособность, надежность, ремонт, обслуживание, концептуальная модель.

Для цитирования: Шистеев А.В. Формализация модели интеллектуализации системы технического обслуживания и ремонта машин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2026. Т. 21. № 2(82). С. 97-106. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-97-106

FORMALIZATION OF INTELLIGENCE MODEL FOR MACHINERY MAINTENANCE AND REPAIR SYSTEM

© 2026 Shisteev A. V. ✉

*Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevskiy
(Molodezhny, Russian Federation)
✉ drive-er@yandex.ru*

Abstract. Forced downtime of machines in the agricultural sector due to suboptimal repair strategies occurs in a situation where equipment stops occur due to ineffective approaches to maintenance and restoration of technical equipment. Reduced technical availability of machines leads to a decrease in their productivity and, accordingly, an increase in costs and financial losses for agricultural producers. The aim of this study is to develop a conceptual model for the maintenance and repair of transport and technological machines in the agro-industrial complex based on information technology. The work used a logical modeling method with the identification of three main technical conditions (G1 - no repair required, G2 - conditional repair, G3 - repair required) and a system of logical principles 1.1-3.6, as well as the method of regression analysis. The research results contain a two-level multi-component model and an algorithm for sending equipment for repair. The model of industrial and technical operation of machines (M_{TT}) reflects key aspects of machine maintenance management and relationships between them, taking into account predictive analytics of tractors and cars failures to accelerate the restoration of technical equipment. The algorithm promotes the organization of repair actions, increases the clarity in the work of all links involved in the process of organizing the restoration of operability and maintenance of machines equipped with information-electronic modules and units. These developments contribute to

the development of digital logical tools for making informed decisions in the management of machinery and tractor fleets in agricultural enterprises. Application of the model in the technical service of agricultural enterprises in Irkutsk region shows that the technical readiness ratio of the fleet increases by 30% due to prioritization of repairs or replacement of spare parts according to the residual resource and reduction of downtime, compared with the current strategy for operating machines at agricultural enterprises.

Key words: technical service, performance, reliability, repair, maintenance, conceptual model.

For citation: Shisteev AV. [Formalization of intelligence model for machinery maintenance and repair system]. Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2026; Vol. 21. 2(82). 97-106 p. doi: 10.31588/2073-0462-2026-21-2-97-106

Введение. В статье показатели надежности рассмотрены, как вероятностные величины, в связи с чем, изучение эксплуатационных циклов тракторов и машин в нормальных условиях должно тесно связываться с положениями, относящимися к теории вероятностей, математической статистике – рассматривается прикладной характер этих теорий, применительно к вопросам оценки показателей эксплуатационной технической надежности машин в процессе сельскохозяйственного производства.

На сегодняшний день транспортно-технологические машины, соответствующие требованиям производственного уровня, имеют очень высокий уровень конструктивной сложности [1]. Заводы-изготовители машин оснащают свои изделия большим количеством агрегатов, узлов и элементов – для обеспечения комфортного управления, сокращения времени проведения технических обслуживаний и ремонтов, повышения точности диагностики и работы навигационного оборудования, а также качества и скорости самого сельскохозяйственного процесса на всех стадиях сельскохозяйственного производства [2]. В связи с чем, аспекты повышения надежности технических средств современного уровня производительности, являются приоритетными вопросами, поскольку работоспособность и безотказность в эксплуатации является главным фактором, влияющим на целевые показатели любого предприятия, имеющего необходимость использования машинно-тракторных парков. Уровень надежности таких технических систем сложной структуры – в теории и на практике [3], должен обеспечиваться в течение всего эксплуатационного периода, а не только при проектировании и изготовлении заводом-изготовителем.

Для решения указанных проблем эксплуатации машин необходимо доскональное изучение эксплуатационного периода транспортно-технологических машин вплоть до момента утилизации транспортных средств. Одним из главных факторов, который может влиять на качество функционирования при выполнении производственных задач, должна выступать сама технология эксплуатации, в качестве этапа жизненного цикла, наступающего после изготовления трактора, автомобиля или комбайна на заводе [4]. В структуре технического сервиса, производственная эксплуатация оказывает прямое

влияние на полноту исполнения функций работоспособности машин, весомость результатов отказов технических систем, используемых в тяжелых эксплуатационных климатических зонах, рельефных и многих других [5].

Цель исследования – разработка концептуальной модели технического обслуживания и ремонта транспортно-технологических машин, на основе информационных технологий.

К задачам исследования относятся определение главных стратегических направлений восстановления работоспособности машин на предприятиях агропромышленного комплекса, разработка общего алгоритма восстановления работоспособности транспортно-технологических машин на основе интеллектуальной поддержки сервиса, разработка логической концептуальной модели организации ремонтов и сервисного обслуживания с учетом всех возможных технических состояний транспортного средства.

Внедрение технологий превентивного устранения отказов позволяет значительно повысить эффективность обслуживания машин и оборудования. Системы, использующие машинное обучение для анализа данных, снижают простои оборудования на 25-30%, однако при этом, прогнозная аналитика для технического обслуживания требует использования датчиков и платформ штатного оборудования машин, по примеру зарубежных брендов, например, таких как Siemens MindSphere или GE Predix.

Условия, материалы и методы. Наблюдения за работой ремонтных служб технического сервиса на предприятиях ООО «ЮникАгро», ООО «Техноресурс», ООО «Луговое» агропромышленного комплекса Иркутской области подтверждают факты того, что процедуры ремонта и обслуживания зачастую отстают от агротехнических условий по времени устранения поломок и неисправностей. В нормальных условиях работы сельскохозяйственных предприятий разной формы организации, система осуществления ремонтных процедур по отношению к транспортно-технологическим машинам в основном проводится как «восстановление по факту поломки» и «плановое техническое обслуживание и уход» [6]. Реализация плана «восстановления по факту поломки» не обеспечивает предотвращения отказов тракторов и машин, что заставляет целевые параметры эффективности сельскохозяйственного предприятия снижаться [7]. При этом,

планирование системы обслуживания конечно же является необходимым элементом стратегии сервиса, однако, вызывает повышение затрат трудоемкости, поскольку возможна некоторая избыточность работ из-за множества действий и сложности алгоритмов в каждом из номерных, сезонных, ежедневных и других видах технического ухода. В этой ситуации параметры работоспособности транспортного средства могут находиться на стадии предельных ресурсных отклонений, но ввиду планирования восстановительных работ ремонт проводится только в определенные значения наработки машины или трактора [8].

В данной научной работе приведена методология восстановления транспортно-технологических машин с использованием

сервисной стратегии «восстановления по техническому состоянию» (B_{TC}). Определение «остаточного ресурса» (P_O) трактора, автомобиля или комбайна должно проводиться с использованием больших баз данных о текущем техническом состоянии каждой транспортно-технологической машины (M_{TT}). Процесс получения данных о техническом состоянии машины, становится возможным за счет использования данных приборной диагностики, электронно-цифровых датчиков трактора, другого дополнительно устанавливаемого на машину оборудования [9].

Алгоритм процесса организации ремонтных воздействий на основе информационно-электронных технологий должен реализовываться по схеме, представленной на рисунке 1.

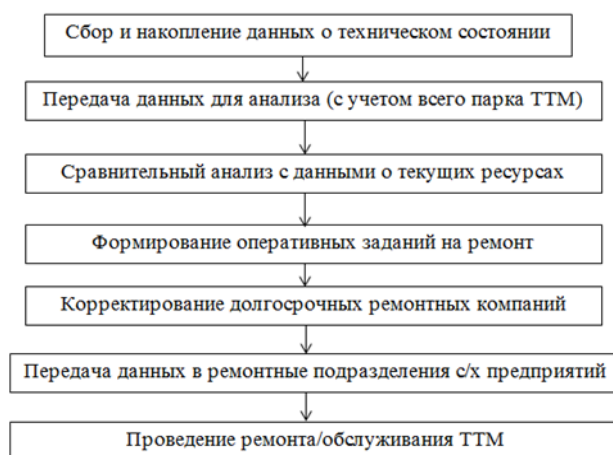


Рис. 1 – Алгоритм восстановления работоспособности ТТМ на основе интеллектуальной поддержки сервиса

Fig. 1 – Algorithm for restoring the operability of transport and technological machines (TTM) based on intelligent service support

Разработка алгоритмов для систем предиктивной аналитики, на сегодняшний день, является краеугольным камнем обеспечения непрерывности производственных процессов. Анализ статистической информации, получаемой от электронных блоков управления машины, трактора или комбайна – это не просто модный тренд, а решение, позволяющее перейти от подхода «восстановление по факту поломки» к проактивному (предотвращение поломки). Центральное место в этих системах занимают алгоритмы, которые, по сути, являются основой программ, способных анализировать колоссальные объемы данных, поступающих от датчиков, установленных на машинах. Алгоритмы должны быть способны улавливать тончайшие отклонения от нормального режима работы, предвосхищая возможные проблемы задолго до того, как они проявятся в виде реального сбоя. От точности маршрута этих алгоритмов напрямую зависит, насколько своевременно будет принято решение о необходимости обслуживания или замены компонента, что, в свою очередь, влияет на общие эксплуатационные расходы и время простоя.

Анализ данных о работе тракторов Buhler Versatile 2375 в количестве 10 единиц техники на сельскохозяйственных предприятиях ООО «ЮникАгро», ООО «Техноресурс», ООО «Луговое» - показал, что предотвращение отказов на основе предиктивной аналитики, позволяет снизить простои техники и машин на 30%. В качестве исходных материалов взяли данные годовых отчетов за 10 лет. Были выделены три фактора, смысл исчисления сводился к определению степени влияния факторов каждой группы на коэффициент готовности техники. Зависимость результирующего показателя от выбранных факторов аппроксимировалась линейно. В качестве результирующего показателя было взято усредненное значение коэффициента технической готовности тракторов K_{TG} за год эксплуатации, поскольку его расчет учитывает время простоя машин.

Основные признаки факторов:

- x_1 – затраты на ремонт и ТО одного физического трактора за год, рублей;
- x_2 – затраты на запасные части за один год на один эт. га, рублей;
- x_3 – использование стратегии

предиктивного восстановления работоспособности тракторов, %.

Средствами Microsoft Excel был проведён

корреляционный анализ для определения степени влияния каждого признака на результивный показатель (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица корреляции факторов
Table 1 – Correlation matrix of factors

	К _{ТГ}	x_1	x_2	x_3
К _{ТГ}	1			
x_1	0,06701	1		
x_2	-0,3539	0,3677	1	
x_3	0,02919	0,3028	0,6579	1

Анализ матрицы корреляции позволяет сделать вывод, что установлена умеренная связь между результивным показателем К_{ТГ} и признаками факторов x_1 (затраты на запасные части), x_3 (использование стратегии предиктивного восстановления). Фактор x_2 не имеет существенного влияния на коэффициент технической готовности тракторов.

Множественный коэффициент корреляции равен 0,9766, что говорит о плотной связи между результивным показателем и факторными признаками, влияющими на него. Коэффициент детерминации – 0,9467, факторные признаки выбраны правильно.

Поскольку результивный показатель и

факторные признаки имеют разные единицы измерения, для сопоставления отобранных факторов по их влиянию на коэффициент готовности вычислили коэффициенты эластичности (табл. 2). При расчёта коэффициента эластичности применяли формулу:

$$\mathcal{E} = a_i \frac{\bar{x}_i}{K_{ТГ}} \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ – коэффициент эластичности;
 a_i – коэффициент регрессии;
 x_i – количество машин с большей степенью вероятности требующих ремонта;
К_{ТГ} – усредненное значение коэффициента технической готовности.

Таблица 2 – Результаты регрессионного анализа
Table 2 – Results of regression analysis

	Коэффициент регрессии, a_i	Существенность коэффициента регрессии	Среднее значение факторов	Коэффициент эластичности, $\mathcal{E}_i$
Коэффициент технической готовности тракторов (К _{ТГ})	-	-	0,692	-
x_1 – затраты на ремонт и ТО одного физического трактора за год, рублей	0,334344	1,45	2,05	0,773
x_2 – затраты на ТО на один эт. га, рублей	0,54274	0,35	5,03	8,323
x_3 – использование стратегии предиктивного восстановления работоспособности тракторов, %	0,000638	1,1	15425	3,061

Повышение коэффициента технической готовности на основе использования программных алгоритмов и высокой точности прогнозирования, определяется по коэффициенту эластичности, который показывает – на сколько процентов в среднем изменится значение результивного показателя К_{ТГ} при изменении факторного признака на 1%.

Далее показана краткая интер-претация полученных данных. Согласно проведённому корреляционному анализу наиболее существенное влияние оказывает величина затрат на ТО в расчёте на один эталонный гектар в год,

коэффициент эластичности равен 0,773, то есть с увеличением значения данного показателя на 10% коэффициент технической готовности тракторов возрастёт на 7,73%. Тогда и использование стратегии предиктивного восстановления работоспособности тракторов, со средним значением 15425 рублей, по коэффициенту эластичности – даст прирост не менее 30% к увеличению коэффициента технической готовности.

В тех реалиях, когда практически каждый современный трактор или автомобиль оснащен системами электронного контроля

эксплуатационных показателей, ремонтные службы сталкиваются с необходимостью обработки большого объема данных электронно-цифровых модулей транспортно-технологических машин. Также, в технической цифровой поддержке сервиса машин нуждаются как большинство частных организаций, так и крупные отраслевые предприятия сельскохозяйственного профиля, по причине того, что до 41% машинно-тракторных парков предприятий могут составлять импортные машины, имеющие более широкое оснащение электронными узлами по сравнению с отечественными [10]. Замкнутость логистики поставок запасных частей для зарубежных машин, отсутствие контактов с контрагентами-поставщиками импортных оригинальных деталей и элементов, отсутствие четкого сервисного подхода – делают практически невозможными обработку и накопление больших объемов данных о ремонтах и восстановлении машин, по элементарным причинам разномарочности машин или отсутствия какой-либо сопровождающей ремонтной документации в целом.

Результаты и обсуждение. Стратегия технического сервиса, включающая ремонт и обслуживание машин по действительному, фактическому техническому состоянию трактора или автомобиля становится широко распространенной не только при производстве сельскохозяйственной продукции, но и в других областях народного хозяйства, таких как: гражданское авиастроение, военнокосмическая промышленность, где к уровню надежности предъявляются более высокие требования, чем к наземному транспорту.

«Восстановление по техническому состоянию» (ВТС) парка транспортно-технологических машин (МТП_{ТТ}) основывается на использовании данных наблюдений за машинами при их нормальной эксплуатации в хозяйствах. Цифровые журналы наблюдений позволяют получать множество значений предельной наработки агрегатов и элементов тракторов и машин ($\Sigma_{\text{ЭЧ}}$). Следующим этапом, модель восстановления $V_{\text{ТС}}$ подлежит преобразованию в вид двухуровневой модели, содержащей множество компонентов, при обработке модели использованы эвристические правила осуществления ремонтных процессов для глобального и локального уровней. Локальный уровень ремонта – направление, при котором восстанавливают только один конкретный трактор или автомобиль, глобальный – ремонт и обслуживание транспортно-технологических машин «на потоке», в ремонтных мастерских сельскохозяйственного предприятия.

Для полного понимания процесса сервисного ремонта и подходов нужно принять следующие условия функционирования модели:

- На предприятиях Сибирского региона имеется транспортно-технологических машин –

M (единиц) и N (ремонтных подразделений), в соотношении ($N < M$);

- Для достижения целевых показателей сельскохозяйственному предприятию необходимо задействовать, как минимум одну единицу техники, количество машин увеличивается, тогда ($1 \leq M$);

- Каждая единица МТП_{ТТ} состоит из $\Sigma_{\text{ЭЧ}}$ агрегатов и элементов, которые могут быть заменены в результате отказов;

- Предел «остаточного ресурса» (P_0) является известной величиной или получен в результате наблюдений за нормальной работой транспортно-технологических машин;

- Все ремонтные подразделения имеют одинаковый уровень теоретической и практической подготовки, квалификацию или разряд;

- Однотипные или полностью одинаковые элементы транспортно-технологических машин имеют равное время замены в случае отказа (t_3);

- Отличающиеся по принципу устройства и применения элементы машин получают разное время замены (t_3), соответственно и разную трудоемкость выполняемых работ.

Далее необходимо применение следующих условий и допущений:

- При полноценной замене отказавшего элемента трактора или автомобиля на новый, параметр «остаточного ресурса» (P_0) становится максимальным;

- «Остаточный ресурс» элементов и агрегатов машин (P_0), а в некоторых случаях и ресурс самих машин может снижаться лишь в процессе эксплуатации – в случае вынужденного простоя значение (P_0) остается постоянным;

- Элементы и агрегаты транспортно-технологических машин для ремонта всегда в наличии на складе предприятия или поставщика запасных частей;

- Статистические данные, полученные в результате наблюдений содержат достоверную информацию о наработке элементов трактора до полного отказа.

Техническое состояние каждого элемента, агрегата или узла машины оценивается по данным о предельном ресурсе деталей. В работе использованы два показателя предельных значений: «ремонт необходим» - T_{PH} , «ремонт условный» - T_{PY} . Следовательно, указанные предельные значения ресурса разделят техническое состояние машины или трактора на три части:

1) Остаточный ресурс $< T_{PH}$ – состояние «Обязателен ремонт» G_3 ;

2) Остаточный ресурс $> T_{PY}$ – состояние «Ремонт не нужен» G_1 ;

3) $T_{PH} < \text{Остаточный ресурс} \leq T_{PY}$ – состояние условного ремонта G_2 , при котором общий список ремонтных операций, а также последовательность их выполнения зависит от состояния других единиц транспортно-технологических машин (рис. 2).

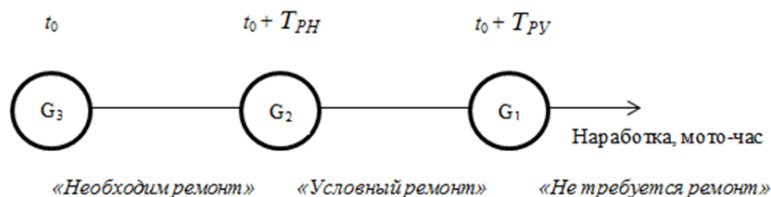


Рис. 2 – Деление оси жизненного цикла машины по предельным значениям остаточного ресурса (P_0)

Fig. 2 – Division of the machine life cycle axis according to the limit values of the residual resource (RR)

Путем проведения эксперимента определяются значения $T_{РН}$ и $T_{ру}$, при получении информации используются данные электронно-цифровых датчиков транспортно-технологических машин. Кроме этого, значение показателя ремонт необходим, может устанавливаться по информации из нормативно-технической документации заводов-изготовителей тракторов и машин, касающихся обслуживания и ремонта при эксплуатации.

При использовании данной стратегии сервисного обслуживания, главным результатом решения проблем оперативного восстановления работоспособности технических средств, является повышение технической готовности парков транспортно-технологических машин. Процесс максимизации данной целевой функции готовности будет являться важным подспорьем при выполнении целевых показателей сельскохозяйственными предприятиями. Необходимо брать в учет, что и время ремонтных воздействий получит значительное сокращение.

На глобальном уровне, сервисная стратегия сельскохозяйственных организаций является набором ремонтно-восстановительных работ по каждой единице машин, входящих в состав парков машин. Также необходимо понимание возможностей сервисных служб для выполнения ремонта со стороны финансовых и временных

параметров. Необходимо учитывать загрузку сервиса, в отдельную графу учета ставится информация цифровой передачи данных от трактора.

В рамках исследования принято решение о разделении всех контрагентов, участвующих в эксплуатационном процессе «ремонт и восстановление по техническому состоянию» на два типа: единица машинно-тракторного парка $M_{ТТ}$ и единица ремонтного отделения C_p . Процесс управления, общей координации и автоматизации всей ремонтной стратегией, с учетом применения цифровых технологий, любой организации обозначен – ЦКУ.

Генератором потока заявок к восстановлению выступает каждая транспортно-технологическая машина $M_{ТТ}$, поскольку содержит в себе определенные свойства и характеристики со стороны теории надежности. C_p – является логической моделью ремонтного звена, именно от качества сервиса зависит уникальность процесса ремонта или обслуживания.

В работе разработана двухуровневая структура модели с множеством составляющих (компонентов), которая показывает всю логическую цепочку планирования технических обслуживаний и ремонтов на локальном уровне и на глобальном уровне организации процесса восстановления работоспособности (рис. 3).

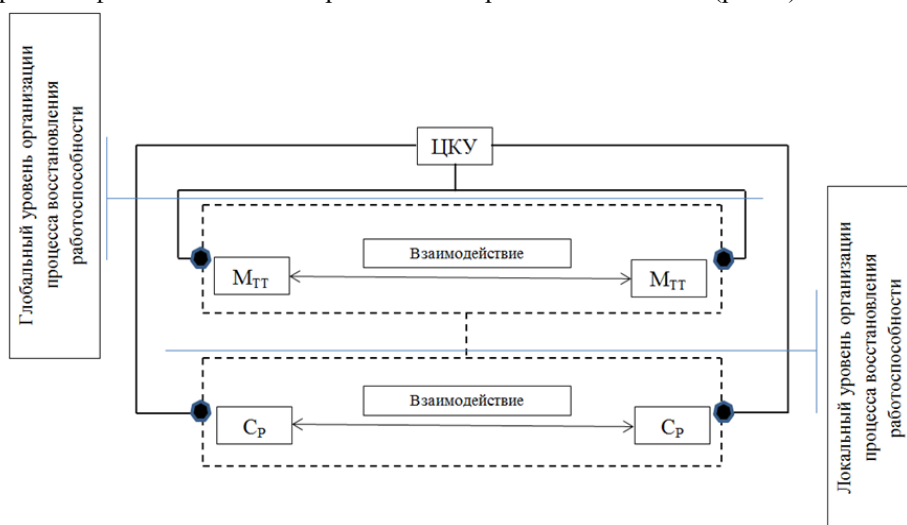


Рис. 3 – Структура двухуровневой многокомпонентной модели технического обслуживания и ремонта

Fig. 3 – Structure of the two-level multicompartment maintenance and repair model

Таким образом, глобальное управление ремонтами транспортно-технологических машин, по получению информации от каждой единицы машин ($M_{ТТ}$) должен осуществлять центр координации и управления (ЦКУ). Коммуникационный центр получает отчеты и данные от объектов наблюдений, осуществляет контроль и формирует глобальную стратегию ремонта, с учетом рационализации и ресурсосбережения. На локальном уровне ЦКУ – управляет взаимодействием ремонтных служб и объектов наблюдений в отдельных конкретных случаях ремонта или обслуживания.

Логические принципы независимого взаимодействия компонентов модели, сформулированы на принятом условии о том, что в случае, если сервисная ремонтная единица находится в разгруженном от рабочих процессов состоянии, то ее возможности по ремонту направляются на получение локальных ремонтных заданий.

Далее показаны основные принципы, используемые при определении конкретизированных решений о назначении ремонта тракторов, не зависящих от работы центра координации и управления:

1. Транспортно-технологическая единица имеет состояние «необходим ремонт» (состояние G_3).

Логический принцип 1.1: для каждой машины сельхозорганизации, имеющей статус G_3 , планируется самое низкое (минимальное) среднее время простоя в ожидании ремонта.

Логический принцип 1.2: в тех случаях, когда работники сервисной службы не имеют текущих заданий, на ремонт направляется транспортно-технологическая машина, среднее время восстановления которой минимально.

Логический принцип 1.3: подразумевается задача оперативного ремонта – восстановление, как можно большего количества машин усилиями минимального количества ремонтных единиц. Ремонтные единицы, которые остаются не занятыми, могут быстро отреагировать на внезапные отказы машин.

2. Транспортно-технологическая единица имеет состояние «условный ремонт» (состояние G_2).

Логический принцип 2.1: в тех случаях, когда работники сервисной службы не имеют текущих заданий, на ремонт направляется транспортно-технологическая машина, среднее время восстановления которой минимально.

Для дальнейшего развития логической модели, приводятся основные принципы, применяемые при выборе варианта ремонта транспортно-технологических машин на основе стратегии ремонта, совместного взаимодействия работы центров управления решениями, в том числе на основе накопления и обработки электронно-цифровой информации о техническом состоянии машин.

Для формирования глобальной стратегии восстановления работоспособности транспортно-технологических машин ЦКУ взаимодействует с каждой единицей техники, требования на ремонт отправляются на обработку сервисным ремонтным единицам. Логический процесс совместной работы ЦКУ и подразделений предприятий, осуществляющих ремонт, рассмотрен далее.

Параметр M_N обозначает необходимое количество тракторов, автомобилей и комбайнов для выполнения сельскохозяйственных работ на момент времени, когда проводится анализ. Логические блоки каждой машины ($M_{ТТ}$) предоставляют информацию о текущем состоянии трактора в центр управления, координации (ЦКУ). Полученная информация проходит обработку специалистами, отмечается текущее состояние каждой машины со стороны их технической готовности.

Таким образом, количество транспортно-технологических машин, имеющих техническое состояние «необходим ремонт» (G_3) будет равно M_3 . Тогда, количество транспортно-технологических машин, имеющих состояние «условный ремонт» G_2 будет равно M_2 , а машин, которые находятся в работоспособном состоянии M_1 (состояние G_1).

$$M_A = M_1 + M_2 + M_4, \quad (2)$$

где M_A – суммарное число технически исправных транспортно-технологических машин, готовых к выполнению агротехнических операций;

M_1 – машины, которые находятся в технически исправном, работоспособном состоянии;

M_2 – количество машин с большей степенью вероятности требующих ремонта;

M_4 – отведенное окно ремонта.

Центр управления определяет количество тракторов и машин, которые можно отремонтировать в специально отведенное окно ремонта M_4 и в соответствии с логическими условиями 1.1, 1.2 и 1.3 определяет максимально возможное количество транспортно-технологических машин $M_{4\max}$.

Проведенный в работе анализ позволяет вывести правила принятия решений при направлении на ремонт и обслуживание:

1. В случае, когда $M_A < M_N$, достижение необходимых экономических показателей предприятия невозможно с технической стороны. «Логический принцип 1.1».

2. Количество транспортно-технологических машин ($M_{ТТ}$), находящихся в состоянии G_1 , удовлетворяет условию $M_1 \geq M_N$, тогда запланированное сельскохозяйственным предприятием число машин будет задействовано в сельскохозяйственных процессах. Тракторы, машины или комбайны, которые, возможно, потребуют ремонта G_3 – должны быть отремонтированы согласно принципу 1.1. После выполнения такого

требования на ремонт или обслуживание свободная ремонтная единица начинает выполнять ремонты машин, находящихся в техническом состоянии G_2 согласно логическому принципу 2.1. Полученное правило обозначено – «Логический принцип 3.2»

3. В случае, когда $M_1 < M_N \leq M_1 + M_2$, единицы транспортно-технологических машин, которые испытывают состояние G_3 , должны ремонтироваться согласно логическому принципу 1.2. «Логический принцип 3.3».

4. Когда $M_1 + M_2 < M_N \leq M_1 + M_2 + M_4$, единицы транспортно-технологических машин, которые испытывают состояние G_3 , должны ремонтироваться согласно функциям оптимизации P_0 . «Логический принцип 3.4».

5. В процессе эксплуатации необходимого

для полноценного функционирования предприятия количества тракторов, автомобилей, комбайнов и других самоходных технических средств, при обслуживании и ремонте – машины с наименьшим остаточным ресурсом (P_0) в первую очередь направляются на сервис. «Логический принцип 3.5».

6. Если на сельскохозяйственном предприятии имеются в наличии машины, которые не используются в текущих производственных процессах, но имеют неисправности и отказавшие элементы, агрегаты (техническое состояние G_2 и G_3) – их ремонт осуществляется по принципам 2.1 и 1.1 соответственно. Данное правило – «Логический принцип 3.6».

Общий алгоритм принятия решений при направлении на ремонт показан на рисунке 4.

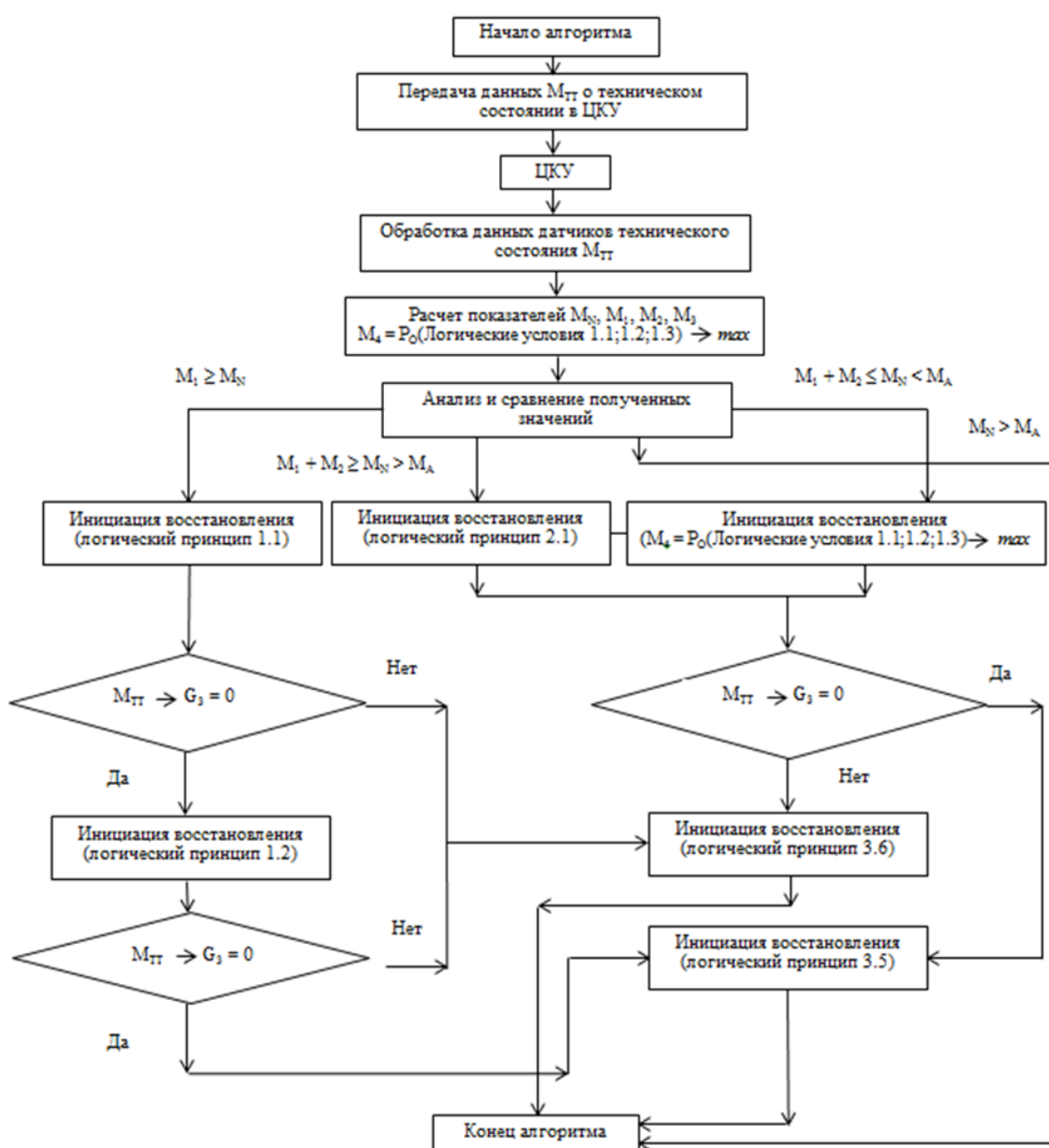


Рис. 4 – Алгоритм направления техники на ремонт при восстановлении работоспособности

Fig. 4 – Algorithm for assigning equipment for repair when restoring operability

Взаимодействие участников производственного сельскохозяйственного процесса в агентных моделях может быть реализовано различными способами. Связи между агентами (единицы ремонтного отделения, центр координации и управления, транспортно-технологические машины) должны быть достаточно постоянными, чтобы агенты

имели возможность запоминания тех блоков алгоритма, которые состоят с ним в какой-то связи. Смысл таких связей, в данном частном случае модели обслуживания и ремонта на основе информационных технологий следующий: машина, поломка, информационная поддержка, ремонт, ввод в эксплуатацию (рис. 5).

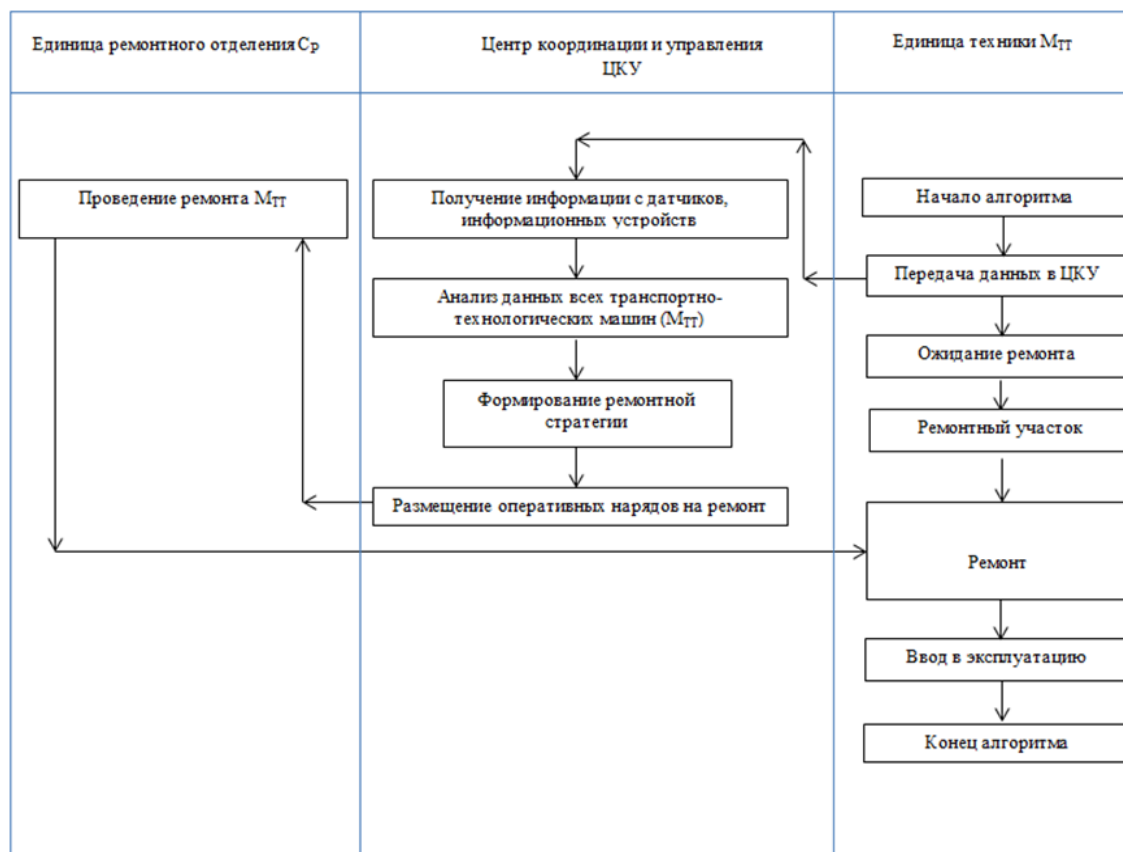


Рис. 5 - Взаимодействие между агентами логической концептуальной модели технического обслуживания и ремонта

Fig. 5 – Interaction between agents of the logical conceptual model of maintenance and repair

В целом, технологии математического и логического моделирования решения задач распределяются на два направления: широко распространенное математическое моделирование и методы информационного логического моделирования, которые и нашли отражение в данной научной работе при организации сложноорганизованных систем агропромышленного производства.

Выводы. Разработанная двухуровневая логическая модель с классификацией технических состояний G1, G2, G3 и системных принципов 1.1–3.6 позволяет формализовать процесс принятия решений при ремонте по фактическому состоянию. Оценочно применение такой модели снижает время простоя

машин 30% (на основе сравнения с традиционными стратегиями).

Приоритизация ремонтов по остаточному ресурсу (P_0) и выделение «окна ремонта» M_4 повышают коэффициент технической готовности машинно-тракторного парка; логические принципы 1.1–3.6 могут быть реализованы в виде программного модуля для центра координации и управления (ЦКУ).

Предложенная концептуальная модель обеспечивает абстрактное представление системы технического сервиса, пригодное для последующей имитационной реализации и адаптации к различным масштабам предприятий АПК без изменения базовых логических ядер.

Литература

1. Автоматизированный выбор агротехнологии тракторного парка сельхозпредприятия: программный комплекс / В.В. Альт, С.П. Исакова, О.В. Ёлкин и др. // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 4 (317). С. 65–74. doi: 10.26898/0370-8799-2025-4-7.
2. Buraev M., Tronts A., Shisteev A. et al. Strategy of service and maintainability of machines. Robotics, Machinery and engineering technology for precision agriculture. Proceedings of XIV International scientific conference “Interagromash 2021”. Springer Nature Switzerland AG, 2022. 21–27. doi: 10.1007/978-981-16-3844-2_3.

3. Рассомагин А.С. Оптимизация стратегии технического обслуживания и ремонтов с применением интеллектуальных методов // Инновации и инвестиции. № 7. 2019. С. 130-136.
4. Елтышев Д.К. К вопросу о разработке интеллектуальной экспертно-диагностической системы для оценки состояния электротехнического оборудования // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 3 (35). С. 57-63. doi: 10.18324/2077-5415-2017-3-57-63.
5. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / А.Р. Валиев, Р.М. Низамов, Р.И. Сафин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1 (65). С. 97-107. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
6. Черноиванов В.И. История развития ремонтной базы сельскохозяйственной техники в России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18. № 1. С. 4-12. doi: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12.
7. Криков А.М., Иванников А.Б., Сидоренко М.Н. Система усовершенствованных методов прогнозирования технического состояния автомобилей // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55. № 7 (320). С. 94-103. doi: 10.26898/0370-8799-2025-7-11.
8. Оперативный контроль мощностных показателей дизельных двигателей с топливной системой типа Common rail / Ф.Р. Сафин, Р.М. Баширов, А.В. Неговора и др. // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33. № 2. С. 192-206. doi: 10.15507/2658-4123.033.202302.192-206.
9. Krivtsov S.N., Nemchinova N.V., Tyutrin A.A. et al. Improving the environmental safety of transport equipment using biodiesel produced from waste vegetable. Applied Sciences (Switzerland). 2026. Т. 16. № 7. doi: 10.3390/app16073487.
10. Обеспечение эксплуатационной надежности сельскохозяйственной техники с учетом региональных особенностей / И.И. Габитов, А.В. Неговора, М.Н. Фархшатов и др. // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. № 1. С. 36-43. doi: 10.22314/2618-8287-2024-62-1-36-43.

References

1. Alt VV, Isakova SP, Elkin OV. [Automated selection of agricultural technology for tractor fleet of an agricultural enterprise: a software package]. Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 2025; Vol.55. 4 (317). 65-74 p. doi: 10.26898/0370-8799-2025-4-7.
2. Buraev M, Tronts A, Shisteev A. Strategy of service and maintainability of machines. Robotics, machinery and engineering technology for precision agriculture. Proceedings of XIV International scientific conference "Interagromash 2021". Springer Nature Switzerland AG. 2022; 21-27 p. doi: 10.1007/978-981-16-3844-2_3.
3. Rassomagin AS. [Optimization of the strategy of technical maintenance and repairs using intelligent methods]. Innovatsii i investitsii. 7. 2019; 130-136 p.
4. Eltyshv DK. [On the issue of developing an intelligent expert-diagnostic system for assessing the condition of electrical equipment]. Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2017;3(35).57-63p. doi:10.18324/2077-5415-2017-3-57-63.
5. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI. [Priorities for agro-industrial complex development and tasks of agricultural science and education]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1 (65). 97-107 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-97-107.
6. Chernov Ivanov VI. [Development history of repair base of agricultural machinery in Russia]. Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2024; Vol.18. 1. 4-12 p. doi: 10.22314/2073-7599-2024-18-1-4-12.
7. Krikov AM, Ivannikov AB, Sidorenko MN. [System of improved methods for forecasting the technical condition of vehicles]. Sibirskiy vestnik selskokhozyaystvennoy nauki. 2025; Vol.55. 7 (320). 94-103 p. doi: 10.26898/0370-8799-2025-7-11.
8. Safin FR, Bashirov RM, Negovora AV. [Operational monitoring of power indicators of diesel engines with a common rail fuel system]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2023; Vol.33. 2. 192-206 p. doi: 10.15507/2658-4123.033.202302.192-206.
9. Krivtsov SN, Nemchinova NV, Tyutrin AA. Improving the environmental safety of transport equipment using biodiesel produced from waste vegetable. Applied Sciences (Switzerland). 2026; Vol.16. 7. doi: 10.3390/app16073487.
10. Gabitov II, Negovora AV, Farkhshatov MN. [Ensuring the operational reliability of agricultural machinery, taking into account regional characteristics]. Tekhnicheskii servis mashin. 2024; Vol.62. 1. 36-43 p. doi: 10.22314/2618-8287-2024-62-1-36-43.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторе:

Шистеев Алексей Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса и общинженерных дисциплин Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского (664038, Российская Федерация, Иркутская область, Иркутский район, посёлок Молодёжный, 1/1), e-mail: drive-er@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8117-1263

Автор ознакомился и одобрил окончательный вариант рукописи.

Поступила 07.10.2025; одобрена после рецензирования 26.05.2026; принята к публикации 25.06.2026.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Author:

Shisteev Aleksey Valerevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Services and General Engineering Disciplines Department Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevskiy (1/1, Molodezhny settlement, Irkutsky District, Irkutsk Oblast, 664038, Russian Federation), e-mail: drive-er@yandex.ru, ORCID 0000-0001-8117-1263

The author have reviewed and approved the final manuscript.

Submitted 07.10.2025; revised 26.05.2026; accepted 25.06.2026.

