

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.171:004.832.28:007.51

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-84-93>

Интеллектуальная модель управления надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники

С.Л. Никитченко

Ростовский государственный университет путей сообщения; г. Ростов-на-Дону, Россия

binom_a@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4480-9659>

Аннотация. Сельскохозяйственная техника, как основной производственный актив предприятия, нуждается в специальной информационной системе управления. Управление надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники представляет собой актуальную и сложную задачу. Низкий уровень внедрения средств поддержки принятия решений и субъективное управление процессами технического обслуживания и ремонта без учета факторов и данных объективного контроля приводят к неэффективным управленческим решениям. Исследования проведены с целью разработки интеллектуальной модели управления надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники на принципах процессного подхода, с учетом допустимого уровня вероятности безотказной работы (риска), ремонтпригодности, условий эксплуатации и стоимости потерь, ориентированной на максимальное выведение инженера из процесса формирования управленческих решений. В основе разработанной модели заложена искусственная интеллектуальная система управления с набором базовых алгоритмов в сочетании с устройствами дистанционного сбора информации о техническом состоянии составных частей машин. Разработан алгоритм автономного составления и редактирования графика технического обслуживания с учетом технико-экономических и субъективных критериев. Внедрение предлагаемой автоматизированной интеллектуальной модели управления позволит сократить на 40% затраты времени специалистов на типовые управленческие задачи и заменить человека при формировании не менее половины управленческих решений, связанных с поддержанием работоспособности машин. Разработанная интеллектуальная модель управления может быть применима для тракторов, уборочных комбайнов, навесных и прицепных сельскохозяйственных машин. Она позволит реализовать технологию бережливого управления надежностью техники, отражает основную концепцию и принцип действия цифрового двойника инженера по эксплуатации машин.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника; техническое обслуживание; надежность; интеллектуальная система управления; интеллектуальная модель управления; управление надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники; инженер; цифровой двойник инженера

Для цитирования: Никитченко С.Л. Интеллектуальная модель управления надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 3. С. 84-93. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-84-93>

ORIGINAL ARTICLE

Intelligent reliability management model for operated agricultural machinery

S.L. Nikitchenko

Rostov State Transport University; Rostov-on-Don, Russia

binom_a@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4480-9659>

Abstract. Agricultural machinery, as the primary production asset of an enterprise, requires a specialized information management system. Managing the reliability of operated agricultural machinery presents a relevant and complex challenge. The low level of implementation of decision support tools, combined with subjective maintenance and repair management that fails to account for objective control factors and data, leads to ineffective management decisions. The study aimed to develop an intelligent reliability management model for operated agricultural machinery based on the principles of a process approach. The model takes into account the permissible level of failure-free operation probability (risk), maintainability, operating conditions, and cost of losses, while minimizing the involvement of the engineer in management decision-making. The developed

model is founded on an artificial intelligence management system incorporating a set of core algorithms, integrated with remote data collection tools for assessing the technical condition of machine components. An algorithm has been developed for autonomously making and editing maintenance schedules, taking into consideration both technical-economic and subjective criteria. The implementation of the proposed automated intelligent management model is expected to reduce the time specialists spend on routine management tasks by 40% and to replace human involvement in at least half of the management decisions related to maintaining machine operability. The developed intelligent management model can be applied to tractors, harvesting combines, and mounted and trailed agricultural machines. It will enable the implementation of lean reliability management technology for machinery and reflects the core concept and operating principle of a digital twin of a machine operation engineer.

Keywords: agricultural machinery; maintenance; reliability; intelligent control system; intelligent management model; reliability management of operated agricultural machinery; engineer; digital twin of the engineer

For citation: Nikitchenko S.L. Intelligent reliability management model for operated agricultural machinery. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(3):84-93. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-84-93>

Введение

Сельскохозяйственная техника является одним из основных производственных активов предприятий. Управление надежностью активов регламентируется положениями международных стандартов ISO серии 55000 и отечественных стандартов ГОСТ Р 55.0.01-2014, ГОСТ Р 27.001-2009, из которых следует, что без специальной информационной системы невозможно эффективно управлять активами. Современный подход к управлению надежностью эксплуатируемых машин предполагает наличие информационной системы, сочетающей в себе инструменты цифровой экономики Индустрии 4.0 и концепцию Индустрии 5.0, системно объединяющую разрозненные инновации Индустрии 4.0 для достижения социальных и экологических целей с ориентацией на человека [1]. Такая система должна с определенной степенью автономности позволять оперировать нормативно-технической документацией, выполнять удаленное диагностирование составных частей и делать прогноз их остаточного ресурса по измеряемым параметрам технического состояния, выбирать оптимальную стратегию технического обслуживания и ремонта (ТОР), планировать сервисные работы и объемы запасных частей, выполнять анализ уровня надежности обслуживаемых машин, производить учет работ и вести отчетный инженерный документооборот предприятия. При этом процессный подход рассматривается как основа бережливого управления [2]. Также следует выделить задачу корректировки графика технического обслуживания (ТО) машин в период полевых работ после получения новой информации об их состоянии. От качества перепланировки графика ТО зависят будущие затраты труда, расходы материальных средств и уровень надежности техники. Доля ручных операций здесь очень высока, а методы

корректировки недостаточно освещены в источниках литературы.

Автоматизация перечисленных выше задач отработана во многих существующих информационных системах и позволяет почти на 40% сократить затраты времени инженеров на управление процессами ТО машин [3]. Наиболее популярными автоматизированными системами управления (АСУ) ТОР и жизненным циклом машин стали системы типа CMMS (Computerized Maintenance Management System) и ЕАМ-системы (Enterprise Asset Management) [4, 5], которые в интеграции с цифровыми средствами сбора данных являются самыми эффективными инструментами управления надежностью [6-8]. Они позволяют по состоянию машин практиковать перспективные стратегии технического обслуживания (ТО) – например, предиктивное обслуживание (predictive maintenance, PdM). Такие интеллектуальные продукты позволяют снизить простои машин и затраты на эксплуатацию более чем на 30%, а трудоемкость сервисных работ – в 1,5 раза [9]. Дальнейший прогресс в этой области связан с развитием интеллектуальных диагностических систем для дистанционного мониторинга машин [10, 11].

Человек доминирует в процессе управления надежностью сельхозтехники, но это может создавать проблему в крупных производствах. В сложной технической системе, где потоки информации велики, люди физически не в состоянии обработать их оперативно и принять оптимальное управленческое решение. Для этого нужна искусственная интеллектуальная система управления со встроенными в нее базовыми алгоритмами познания предметной области и механизмом запуска активного поведения [12]. Нужно максимально исключить фактор субъективности в принимаемых управленческих решениях

и оградить людей от работы, которую теперь все более уверенно забирают искусственные интеллектуальные системы [13]. Однако в данное время алгоритмы и модели для решения подобных управленческих задач в сельскохозяйственном производстве не разработаны. Наряду с появлением автономной сельскохозяйственной техники разработка модели управления ее надежностью послужит переходом к смарт-технологиям в управлении «умным» сельским хозяйством [14].

Цель исследований: разработать модель управления надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники на принципах процессного подхода с учетом допустимого уровня вероятности безотказной работы (риска), ремонтпригодности, условий эксплуатации и стоимости потерь, ориентированную на максимальное выведение инженера из процесса формирования управленческих решений.

Создавая цифровой двойник инженера по эксплуатации машин, можно использовать разработанную модель управления надежностью эксплуатируемой сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы

Модель управления надежностью машин реализуется с помощью искусственной интеллектуальной системы управления (ИСУ), включающей в себя четыре базовых алгоритма: 1) выбор стратегии с построением и корректировкой графика ТО; 2) определение причин неисправностей машин; 3) управление объемами запасных частей; 4) контроль выполнения технологического процесса обслуживания. В данной статье рассмотрен только фрагмент алгоритма построения и корректировки графика ТО. Набор алгоритмов для выявления причин неисправностей машин, являющийся основой экспертной системы [15], планируется рассмотреть в отдельной статье. Методики и результаты резервирования запасных частей с помощью генетических алгоритмов и нейронных сетей рассмотрены ранее в работах [16, 17]. Метод контроля выполнения ТО с помощью нейронных сетей описан в работе [18].

Объектом управления являются парк машин и отдельные мобильные энергосредства, участвующие в выполнении конкретных видов полевых работ в соответствии с графиком машиноиспользования. Плановая наработка каждого энергосредства за период полевых работ может быть определена системой без участия человека из данных графика машиноиспользования или путем анализа данных о наработке за прошлые годы [19]. При выполнении полевых операций значения технико-экономических показателей агрегата на базе энергосредства, а также его простой

автоматически фиксируются системой ИСУ. Простой энергосредства в период выполнения конкретной операции сопровождаются стоимостными потерями U для предприятия.

Для энергосредства предусмотрены виды ТО, каждый из которых содержит установленный производителем регламентный перечень O операций ТО и перечень D операций диагностирования. Объект управления рассматривался как набор составных частей, некоторые из которых представляют «умные» устройства. Все составные части характеризуются одним или несколькими параметрами технического состояния. Все множество Ω составных частей разбито на три подмножества.

Техническое обслуживание первого подмножества Ω_I составных частей осуществляется в планово-предупредительном порядке в соответствии с действующим руководством по эксплуатации машины.

Для определения технического состояния второго подмножества Ω_{II} составных частей требуются внешние средства диагностирования и некоторые разборочно-сборочные работы, сопровождающиеся затратами времени. Измеренные значения параметров технического состояния X_i ($i = 1, 2, \dots, k$) в этом случае попадают в базу данных информационной системы в течение кратчайшего промежутка времени, которым можно пренебречь. ТО таких составных частей организуется с учетом их реального технического состояния и прогнозов его динамики до критических значений. Контрольно-диагностические измерения здесь проводятся либо внепланово по заявке, либо по отдельному графику с определенной периодичностью, либо совместно с периодическими ТО составных частей из подмножества Ω_I . Выбор момента проведения ТО также можно определить по некоторому алгоритму с учетом анализа последствий от ожидаемых параметрических отказов.

Третье подмножество Ω_{III} составных частей («умные» устройства) характеризуется возможностью мгновенной индикации текущих значений параметров технического состояния X_j ($j = 1, 2, \dots, m$) с прогнозом их динамики с помощью бортовых штатных средств мониторинга или средств дистанционного (удаленного) диагностирования. Измеренные значения параметров ТС мгновенно попадают в базу данных информационной системы. ТО таких составных частей также организуют с учетом реального технического состояния и последствий возможных отказов.

Все составные части объекта управления имеют известные характеристики безотказности и ремонтпригодности. Перед началом полевых работ

в момент t_0 график ТО объекта управления рационально формировать, ориентируясь на периодичность обслуживания подмножества составных частей Ω_I . Такой подход диктуется юридическими, нормативно-техническими требованиями и заводскими рекомендациями. При достижении наработки t_n на очередное ТО для этих составных частей машины выполняется перечень регламентных сервисных операций O_{I_n} (рис. 1а). Здесь возможны допустимые отклонения моментов проведения ТО по наработке машины.

Далее в график ТО вносятся мероприятия по диагностированию и обслуживанию составных частей из подмножества Ω_{II} (рис. 1б). Для многих отечественных тракторов и комбайнов моменты проведения диагностирования составных частей рекомендуется совмещать с плановыми ТО, что является необязательным. Например, перед началом полевых

работ в момент t_0 для составной части из подмножества Ω_{II} значение параметра технического состояния X_i было известно, и система определила остаточный ресурс по параметру, который равен T_{Xiv} . Ближайшее мероприятие диагностирования $D_{II_Xi_m-1}$ по этому параметру система запланировала по некоторому алгоритму до наступления момента t_v , например, совместив его с временем выполнения периодического ТО в момент t_{n-1} .

В момент t_0 результат планируемого на момент t_{n-1} диагностирования является еще неизвестным, не выявлена необходимость выполнения операции технического обслуживания $O_{II_Xi_m-1}$ для восстановления параметра X_i . Но трудоемкости сервисных работ и материальных затрат на ТО нужно планировать, поэтому это обслуживание $O_{II_Xi_m-1}$ система по умолчанию временно привяжет к моменту t_{n-1} . Если результат измерения значений параметра X_i в момент

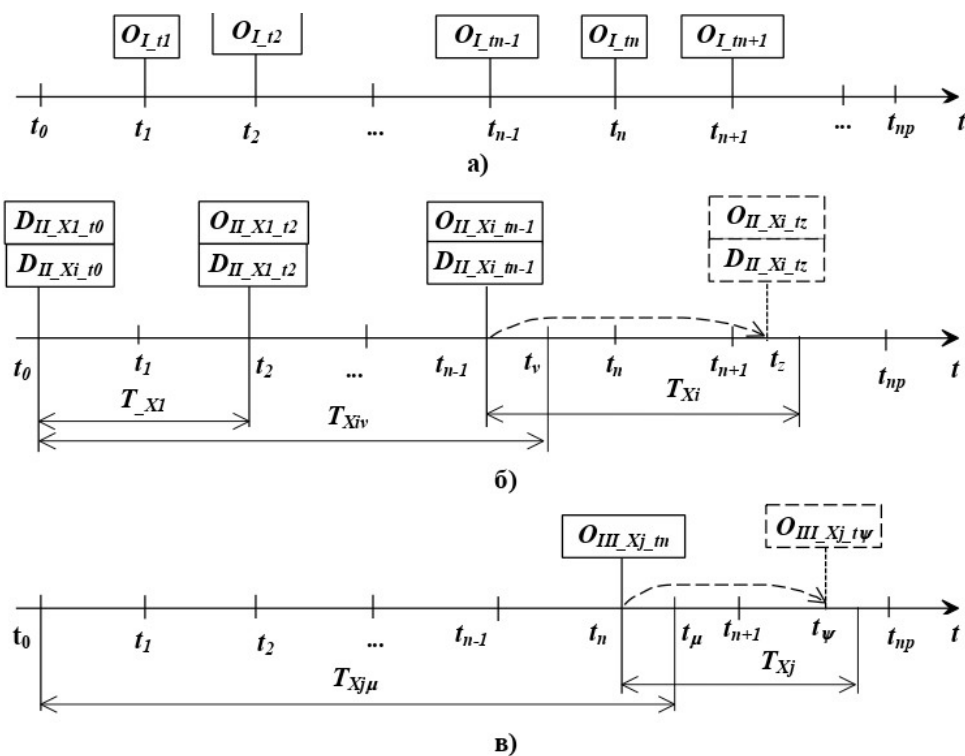


Рис. 1. Определение моментов проведения диагностирования и обслуживания составных частей объекта управления для подмножества Ω_I (а), Ω_{II} (б) и Ω_{III} (в):

O – регламентные сервисные операции; D – мероприятие диагностирования;

t_0, t_{np} – начало и окончание полевых работ; t_n – момент наработки; t_v, t_z – моменты проведения запланированного и перенесенного мероприятия ТО для подмножества Ω_{II} ; T_X – остаточный ресурс по параметру X ;

t_μ, t_ψ – моменты проведения запланированного и перенесенного мероприятия ТО для подмножества Ω_{III} ;

– изначально запланированные работы; – перенесенные работы

Fig. 1. Determining diagnostic and maintenance timing for components of the control object for subsets Ω_I (a), Ω_{II} (б) и Ω_{III} (в):

O – scheduled service operations; D – diagnostic activities; t_0, t_{np} – start and end of field work; t_n – operating time moment; t_v, t_z – moments of scheduled and rescheduled maintenance activities for subset Ω_{II} ; T_X – residual service life according to parameter X ; t_μ, t_ψ – moments of scheduled and rescheduled maintenance activities for subset Ω_{III}

– initially scheduled work; – rescheduled work

t_{n-1} покажет, что обслуживание $O_{\Pi, X_i, m-1}$ проводить еще рано, то система определит новое значение остаточного ресурса T_{X_i} по параметру X_p , выберет более позднее время $t_z \in [t_{n-1} \dots (t_{n-1} + T_{X_i})]$ для проведения нового диагностирования и перенесет операции O_{Π, X_i, t_z} на этот момент t_z .

Построение и редактирование графика технического обслуживания составных частей из подмножества Ω_{III} осуществляются по своему алгоритму аналогично подмножеству Ω_{II} (рис. 1в). Здесь используются средства удаленного мониторинга, которые в режиме онлайн предоставляют информацию о техническом состоянии, поэтому строить и редактировать график мероприятий диагностирования не нужно, а определяется только момент t_{ψ} проведения ТО.

При устранении аварийных отказов в период полевых работ ($t_0 \dots t_{np}$) иногда приходится внепланово выполнять и операции, входящие в регламент конкретного периодического ТО. В этом случае при достижении наработки на данный вид ТО не нужно повторно проводить уже выполненные работы – система перенесет их на более поздние сроки, руководствуясь специальным алгоритмом.

Для прогноза срока предупредительного ТО при индивидуальном измерении параметра технического состояния обычно используют два критерия: вероятность безотказной работы $P(t_z) = 1 - Q(t_z)$ (где $Q(t_z)$ – вероятность возникновения параметрического отказа при наработке t_z) и удельные стоимостные издержки [20].

Удельные издержки $C_{m-1}^{уд}$ на ТО в момент прогноза t_{n-1} и при предупредительном обслуживании в конце этого периода должны превышать сумму вероятных удельных материальных затрат $C_{Txi}^{уд}$ и потерь $U_{Txi}^{уд}$, возникающих при устранении последствий отказа за прогнозируемый период T_{X_i} , равный остаточному ресурсу узла по параметру X_i :

$$C_{m-1}^{уд} \geq U_{Txi}^{уд} + C_{Txi}^{уд}. \quad (1)$$

Для произвольной наработки $t_z \in [t_{n-1} \dots (t_{n-1} + T_{X_i})]$ уравнение (1) можно записать в виде:

$$\frac{C_{X_i}}{t_{n-1}} \geq \frac{U \cdot Q(t_z)}{T_{X_i}} + \frac{C_{X_i} \cdot (1 - Q(t_z))}{T_{X_i}}, \quad (2)$$

где U – суммарные стоимостные потери от простоя машины, руб.; C_{X_i} – абсолютные прямые затраты на проведение ТО по восстановлению параметра X_i (характеристика ремонтпригодности объекта), руб.

В ситуации, когда объект управления проработал какое-то время t_{n-1} и требуется определить вероятность безотказной работы в последующий

промежуток от t_{n-1} до $t_{n-1} + T_{X_i}$, используется условная вероятность [21]:

$$P(t_z < t_{n-1} + T_{X_i} | t_z > t_{n-1}) = \frac{F(t_{n-1} + T_{X_i}) - F(t_{n-1})}{1 - F(t_{n-1})}, \quad (3)$$

где $F(t_{n-1})$ – функция распределения времени появления отказа.

Функция $F(t_{n-1})$ определяется системой на основе накопленной статистики отказов для данного параметра. Фрагмент алгоритма работы системы при управлении техническим состоянием составной части из подмножества Ω_{II} по параметру X_i представлен на рисунке 2. Измеренное значение параметра X_i сравнивается с предельно допускаемыми значениями (шаг 4 алгоритма). Далее принимается решение либо о проведении ТО, либо о поиске нового момента для диагностирования и переносе на этот момент операций ТО. На этапе 11 алгоритма осуществляется прогноз остаточного ресурса T_{X_i} по параметру. Для этого предлагается использовать искусственную нейронную сеть [22]. Далее на этапах 13...17 алгоритма система формирует множество альтернативных решений для искомого момента t_z путем перебора возможных вариантов в диапазоне $(t_{n-1} \dots (t_{n-1} + T_{X_i}))$. Допускаются варианты, для которых условная вероятность безотказной работы объекта по параметру X_i в рассматриваемый момент t_z выше предельного уровня риска R_o , и если выполняется условие экономического критерия (1). Для механизмов, обеспечивающих безопасность движения и ресурс основных агрегатов, $R_o = 0,9 \dots 0,98$; для прочих узлов и систем – $R_o = 0,85 \dots 0,90$.

По приведенному алгоритму система производит параллельные вычисления моментов выполнения восстановительных ТО всех параметров X_p , остаточные ресурсы которых пересекают или накладываются на интервал $(t_{n-1} \dots (t_{n-1} + T_{X_i}))$.

Вычислительные процессы будут выполняться системой постоянно в период времени $(t_0 \dots t_{np})$ для всех параметров технического состояния машины по мере поступления новых данных об их значениях. При этом анализируется возможность объединения имеющихся в рассматриваемом интервале сервисных мероприятий – операций периодических ТО и обслуживаний по состоянию составных частей. Также система анализирует график машиноиспользования объекта управления, «понимает», какие полевые работы объект будет выполнять в рассматриваемый период времени, и осуществляет расчет возможных потерь U от простоя в этот период. Система «видит» свободные от работы дни для объекта (между полевыми операциями); ее можно даже «научить» анализировать прогноз

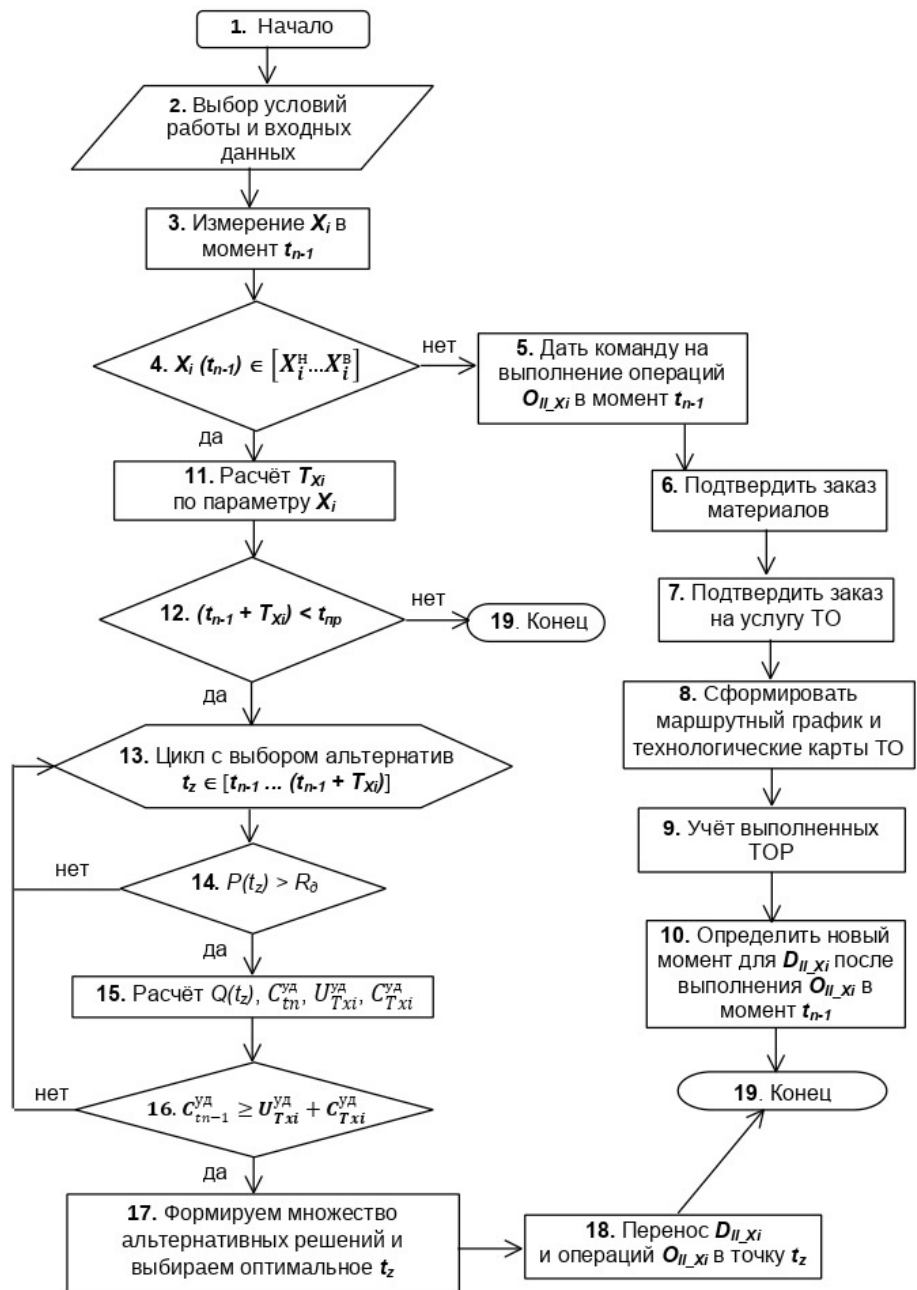


Рис. 2. Блок-схема алгоритма по выбору сроков диагностирования и обслуживания составных частей Ω_{II} по параметру X_i

Fig. 2. Flow chart of the algorithm for selecting diagnostic and maintenance timing for subset Ω_{II} components based on parameter X_i

погоды в сети Интернет и назначать ТО на дождливые дни.

Окончательное множество допустимых вариантов управления в интервале $(t_{n-1}... (t_{n-1} + T_{Xi}))$ формируется системой в виде платежной матрицы (табл.). В строках матрицы размещены альтернативные варианты a_r ($r = 1, \dots, h$) реализации принятой стратегии ТО в виде комбинаций объединения или раздельного выполнения ТО всех составных частей и моментов выполнения, а в столбцах – возможные варианты производственных условий и внешней среды s_q ($q = 1, \dots, g$).

Таблица

Платежная матрица для альтернативных вариантов управления

Table

Payment matrix for alternative management options

Альтернативные варианты управления	Возможные производственные условия			
	s_1	s_2	...	s_g
a_1	ϑ_{11}	ϑ_{12}	...	ϑ_{1g}
a_2	ϑ_{21}	ϑ_{22}	...	ϑ_{2g}
...	...	...	...	...
a_h	ϑ_{h1}	ϑ_{h2}	...	ϑ_{hg}

В качестве вариантов внешних условий могут выступать исполнители, места проведения ТО, применяемое оборудование и др. Каждому r -му варианту управления для каждого q -го внешнего условия система определяет значения эффективности ε_{rq} – суммарные удельные затраты и потери, связанные с проведением всех периодических ТО и операций по восстановлению параметров технического состояния в рассматриваемом интервале, вычисляемые с использованием правой части выражения (2). Далее система выбирает оптимальный вариант организации ТО с минимальными потерями и затратами, с учетом заложенных в нее субъективных предпочтений по аналогии с предпочтениями лица, принимающего решения [23].

По описанному выше принципу может осуществляться управление надежностью уборочных комбайнов, навесных и прицепных сельскохозяйственных машин. Для этого необходимы отдельные исследования по совмещению моментов проведения ТО энергосредства и агрегируемой машины. В данной работе для оценки надежности всех типов машин предприятия за период полевых работ предложено использовать комплексные показатели, регламентированные ГОСТ Р 27.102-2021 и ГОСТ Р 27.010-2019.

Результаты и их обсуждение

Разработанная модель управления надежностью парка машин предприятия представлена на рисунке 3.

В рассматриваемой модели на парк машин непосредственно действуют совокупность активных организационно-технических воздействий A со стороны инженерно-технических работников (ИТР) и операторов машин, а также внешние неуправляемые природно-производственные факторы B . Подсистема управления включает в себя ИТР, сервисную материально-техническую базу (МТБ) предприятия и искусственную самообучающуюся ИСУ, которая выполняет основной объем управленческой деятельности: планирование, учет, документирование сервисных работ, расчет показателей надежности машин. В качестве ИСУ может рассматриваться современная система типа CMMS/EAM, оснащенная программными модулями, которые реализуют перечисленные выше базовые алгоритмы управления, а также цифровыми устройствами, осуществляющими сбор первичных данных с эксплуатируемых машин.

Решения, генерируемые ИСУ, поступают к ИТР и к руководству предприятия в виде графиков ТО,



Рис. 3. Модель управления надежностью эксплуатируемых машин:

ИТР – инженерно-технические работники; МТБ – материально-техническая база; ИСУ – интеллектуальная система управления; A – совокупность активных организационно-технических воздействий; B – неуправляемые природно-производственные факторы; M – множество управляющих сигналов со стороны руководства предприятия; D – множество отчетных документов; Y – множество выходных показателей управляемого объекта; $\{y_{if}\}$, $\{y_{in}\}$ – множества фактических и нормативных значений выходных показателей управляемого объекта соответственно
 $\Rightarrow$ – активные управляющие воздействия ИТР и операторов машин;
 $\rightarrow$ – обратная связь; $\Rightarrow$ – команды сверху; $-\rightarrow$ – внешние неуправляемые факторы

Fig. 3. Reliability management model for operated machinery:

ИТР – engineering and technical workers; МТБ – material and technical base; ИСУ – intelligent control system; A – set of active organizational and technical influences; B – uncontrollable natural and production factors; M – set of control signals from enterprise management; D – set of reporting documents; Y – set of output indicators of the controlled object; $\{y_{if}\}$, $\{y_{in}\}$ – respectively, sets of actual and standard values of the output indicators of the controlled object
 $\Rightarrow$ – active control actions by technical staff and machine operators;
 $\rightarrow$ – feedback; $\Rightarrow$ – top-down instructions; $-\rightarrow$ – external uncontrollable factors

причин выявленных неисправностей, обнаруженных нарушений технологии ТО, показателей надежности, заявок на запасные части и эксплуатационные материалы, актов работ, технологических карт и маршрутно-технологических графиков ТО [24]. Совокупность активных воздействий A со стороны ИТР на объекты парка машин – это выполнение операций ТО в объемах и при сроках, рекомендуемых ИСУ, финальная оценка качества сервисных работ, анализ надежности.

Множество выходных показателей Y представляет собой параметры технического состояния машин, значения наработки, времени их простоя по техническим причинам и технико-экономические показатели. Обратная связь в модели образуется из фактических значений выходных параметров $\{y_{if}\}$, их нормативных значений $\{y_{in}\}$, содержащихся в базе данных ИСУ, и их сравнения. В качестве инструментов сравнения в обратной связи выступают базовые алгоритмы системы ИСУ. Отдельную ветвь обратной связи образует множество отчетных документов D , генерируемых ИСУ (акты работ, ведомости, отчеты, заявки, согласования), которые доступны руководству в электронном виде. Поток информации D вызывает множество M управляющих сигналов со стороны руководства предприятия, которые ИТР также трансформируют в активные воздействия на объект управления. Главным отличием предлагаемой модели управления от существующих является наличие в ней искусственного механизма принятия управленческих решений в виде системы ИСУ, которая образует единое информационное

пространство для инженерной службы и руководства предприятия и связывает все этапы процессного управления надежностью машин. Процессный подход с автоматизацией управления ТО машин реализован в программном обеспечении «Агрокомплекс-3.1 „Техническое обслуживание машин“» (Свидетельство о государственной регистрации ПрЭВМ № 2026611993), которое является интернет-платформой для дальнейших разработок и исследований интеллектуальных методов управления надежностью техники.

Выводы

1. Интеллектуальная система управления может выполнять без участия человека не менее половины управленческих решений.

2. Разработанный алгоритм по выбору сроков диагностирования и обслуживания составных частей позволяет информационной системе автономно строить и редактировать графики сервисных мероприятий для сельскохозяйственной техники с учетом фактического технического состояния составных частей, ремонтпригодности, условий эксплуатации и стоимости потерь от простоя машин на обслуживании.

3. Результаты исследований приносят новые знания в технологию бережливого управления производственными активами предприятий и в совершенствование их технической эксплуатации, а также новые идеи в концепцию и принципы функционирования цифрового двойника инженера по эксплуатации машин.

Список источников

1. Шестаков Р.Б., Филиппова-Глебова А.И., Яковлев Н.А. От индустрии 4.0 к индустрии 5.0: формирование, развитие, проблемы и перспективы // Вестник техносферной безопасности и сельского развития. 2024. № 3 (38). С. 15-18. EDN: TYZQOD
2. Ляндау Ю.В. История развития процессного подхода к управлению // Экономика, статистика и информатика: Вестник УМО. 2013. № 6. С. 65-68. EDN: RPKPGL
3. Никитченко С.Л., Лесник Н.А., Смыков С.В. Управление техническим обслуживанием сельскохозяйственной техники в условиях автоматизации и цифровизации производства // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 4. С. 33-42. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-33-42>
4. Wienker M., Henderson K., Volkerts J. The computerized maintenance management system an essential tool for world class maintenance. *Procedia Engineering*. 2016;138:413-420. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.100>
5. Никитченко С.Л., Капкаев А.А., Юхнов В.И., Муконина М.И. Управление жизненным циклом сельскохозяйственной техники на этапе эксплуатации в условиях цифровизации производства // Аграрный научный журнал. 2023. № 10. С. 194-204. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp194-204>

References

1. Shestakov R.B., Filippova-Glebova A.I., Yakovlev N.A. From Industry 4.0 to Industry 5.0: Formation, development, problems and prospects. *Vestnik tekhnosfernoj bezopasnosti i selskogo razvitiya*. 2024;3:15-18 (In Russ.).
2. Lyandau U.V. The development of the process-based approach to management. *Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO*. 2013;6:65-68 (In Russ.).
3. Nikitchenko S.L., Lesnik N.A., Smykov S.V. Management of agricultural machinery maintenance under the automation and digitalization of production. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(4):33-42. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-33-42>
4. Wienker M., Henderson K., Volkerts J. The computerized maintenance management system an essential tool for world class maintenance. *Procedia Engineering*. 2016;138:413-420. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.100>
5. Nikitchenko S.L., Kapkaev A.A., Yukhnov V.I., et al. Life cycle management of agricultural machinery at the operational stage in the conditions of digitalization of production. *The Agrarian Scientific Journal*. 2023;10:194-204 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp194-204>
6. AlDhaibani A.M. Enhancing SCADA system asset maintenance in modern power utilities: integrating

6. Aldhaibani A.M. Enhancing SCADA system asset maintenance in modern power utilities: integrating advanced strategies and emerging technologies. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2023;12(12):1136-1141. <https://doi.org/10.21275/sr23906105232>
7. Дымкова С.С. Облачные ИОТ платформы и приложения для оптимизационного управления транспортом // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2020. Т. 10, № 4. С. 39-50. EDN: PZAATR
8. Fu Y., Zhu G., Zhu M., Xuan F. Digital twin for integration of design-manufacturing-maintenance: An overview. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2022;35:80. <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00760-x>
9. Ерохин М.Н., Дорохов А.С., Катаев Ю.В. Интеллектуальная система диагностирования параметров технического состояния сельскохозяйственной техники // Агроинженерия. 2021. № 2 (102). С. 45-50. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
10. Костомахин М.Н., Петрищев Н.А., Воронов А.Н., Саяпин А.С. Экспериментальная система дистанционного мониторинга технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. № 10. С. 48-57. EDN: BEHSQX
11. Никитченко С.Л., Игнатъева О.В. Выбор элементов системы для дистанционного диагностирования технического состояния гидропривода // Интеллектуальный транспорт. 2025. Т. 9, № 1 (33). С. 68-76. EDN: BKKBEV
12. Виноградов Г.П. Модель субъективно рационального принятия решений с выбираемыми описаниями картины мира и структуры интересов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 2 (10). С. 42-51. EDN: YLWPVZ
13. Душкин Р.В., Андронов М.Г. Гибридная схема построения искусственных интеллектуальных систем // Кибернетика и программирование. 2019. № 4. С. 51-58. <https://doi.org/10.25136/2644-5522.2019.4.29809>
14. Никитченко С.Л., Игнатъева О.В., Лященко А.М. Инженерно-техническое обеспечение АПК в провинции Хэнань Китайской Народной Республики // Технический сервис машин. 2024. Т. 62, № 3. С. 7-16. EDN: MIYOJO
15. Чечет В.А., Левшин А.Г., Скороходов А.Н., Егоров В.В. Основные положения системной диагностики машин // Вестник федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2018. № 6 (88). С. 51-55. EDN: YQDQQX
16. Никитченко С.Л., Гринченков Д.В. Совершенствование методов резервирования запасных частей для сельскохозяйственной техники на основе генетических алгоритмов // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 6. С. 25-31. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-25-31>
17. Никитченко С.Л., Зырянкина К.Э. Прогнозирование потребности в запасных частях гидросистем машин с применением нейронной сети // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2. С. 15-24. EDN: GDFFKW
18. Захаров Н.С., Козин Е.С. Контроль выполнения технологического процесса обслуживания и ремонта автомобилей с использованием нейронных сетей // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 4 (60). С. 43-51. EDN: NAQINB
19. Никитченко С.Л., Лященко З.В., Глазунов Д.В. Совершенствование организации технического обслуживания тракторов с учетом годовой плановой наработки // Технический сервис машин. 2025. Т. 63, № 2. С. 22-31. EDN: IFMZKY
- advanced strategies and emerging technologies. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2023;12(12):1136-1141. <https://doi.org/10.21275/sr23906105232>
7. Dymkova S.S. Cloud-based IOT platforms and applications for optimized transport management. *REDS: Telekommunikatsionnye ustroystva i sistemy*. 2020;10(4):39-50 (In Russ.).
8. Fu Y., Zhu G., Zhu M., Xuan F. Digital twin for integration of design-manufacturing-maintenance: An overview. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*. 2022;35:80. <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00760-x>
9. Erokhin M.N., Dorokhov A.S., Kataev Yu.V. Intelligent system for diagnosing the parameters of the technical condition of tractors. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2021;2:45-50. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-45-50>
10. Kostomakhin M.N., Petrishev N.A., Voronov A.N., Sayapin A.S. Experimental system of remote monitoring of technical condition of self-propelled agricultural machines. *Selskokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont*. 2019;10:48-57 (In Russ.).
11. Nikitchenko S.L., Ignatyeva O.V. Selection of system elements for remote diagnostics of the technical condition of a hydraulic drive. *Intellektualniy transport*. 2025;9(1):68-76 (In Russ.).
12. Vinogradov G.P. Model of subjectively rational decision-making with selectable descriptions of the worldview and interest structure. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2018;2:42-51. (In Russ.).
13. Dushkin R.V., Andronov M.G. Hybrid design of artificial intelligent systems. *Kibernetika i programmirovaniye*. 2019;4:51-58. (In Russ.). <https://doi.org/10.25136/2644-5522.2019.4.29809>
14. Nikitchenko S.L., Ignatieva O.V., Lyashchenko A.M. Engineering and technical support of the agro-industrial complex in Henan province of the People's Republic of China. *Machinery Technical Service*. 2024;62(3):7-16 (In Russ.).
15. Chechet V.A., Levshin A.G., Skorokhodov A.N., Yegorov V.V. Fundamentals of systematic diagnostics of machines. *Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education "Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin"*. 2018;6:51-55 (In Russ.).
16. Nikitchenko S.L., Grinchenkov D.V. Improving the methods of reserving spare parts for agricultural machinery based on genetic algorithms. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(6):25-31 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-6-25-31>
17. Nikitchenko S.L., Zyryankina K.E. Forecasting the need for spare parts of machine hydraulic systems using a neural network. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*. 2024;2:15-24. (In Russ.).
18. Zakharov N.S., Kozin E.S. Control of the technological process of car maintenance and repair using neural networks. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*. 2023;4:43-51. (In Russ.).
19. Nikitchenko S.L., Lyashchenko Z.V., Glazunov D.V. Improving the organization of tractor maintenance, taking into account the annual planned operating time. *Machinery Technical Service*. 2025;63(2):22-31. (In Russ.).
20. Kokieva G.E., Gogoleva I.V., Voynash S.A., Sokolova V.A. System analysis of technological foundations of economic analysis of repair production. *Izvestiya Turskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2023;4:318-326. (In Russ.).
21. Rozenkov K.G., Fedoseev S.A. Using conditional failure probabilities in repairs scheduling. *Energosberezenie i Vodopodgotovka*. 2018;4:21-26. (In Russ.).
22. Pobedinsky V.V., Iovlev G.A., Lyakhov S.V., Goldina I.I. Neuro-fuzzy network for evaluating tractor engines residual life.

20. Кокиева Г.Е., Гоголева И.В., Войнаш С.А., Соколова В.А. Системный анализ технологических основ экономического анализа ремонтного производства // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2023. № 4. С. 318-326. EDN: POAWHD

21. Розенков К.Г., Федосеев С.А. Использование условных вероятностей отказов при планировании ремонтных мероприятий // Энергосбережение и водоподготовка. 2018. № 4 (114). С. 21-26. EDN: YMCAPZ

22. Побединский В.В., Иовлев Г.А., Ляхов С.В., Голдина И.И. Нейро-нечеткая сеть для оценки остаточного ресурса тракторных двигателей // Лесной вестник. *Forestry Bulletin*, 2022. Т. 26, № 2. С. 120-130. <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-2-120-130>

23. Власов Д.А., Карасев П.А., Синчуков А.В. Возможности игрового моделирования в управлении ассортиментом продукции // Статистика и Экономика. 2024. Т. 21, № 6. С. 18-29. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2024-6-18-29>

24. Никитченко С.Л., Липкович И.Э., Мирошников А.М., Должиков В.В. Автоматизация проектирования маршрутных технологий технического обслуживания сельскохозяйственной техники // Вестник аграрной науки Дона. 2022. Т. 15, № 2 (58). С. 39-53. EDN: AMBFJO

Информация об авторе

Сергей Леонидович Никитченко, канд. техн. наук, доцент, Ростовский государственный университет путей сообщения; 344038, Российская Федерация, Ростовская область, г. Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, 2; binom_a@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4480-9659>; Scopus Author ID: 57203408315

Статья поступила 14.02.2026, после рецензирования и доработки 24.05.2026, принята к публикации 27.05.2026

Lesnoy vestnik = Forestry Bulletin. 2022;26(2):120-130. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/2542-1468-2022-2-120-130>

23. Vlasov D.A., Karasev P.A., Sinchukov A.V. Game modeling possibilities in product assortment management. *Statistics and Economics*. 2024;21(6):18-29. (In Russ.) <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2024-6-18-29>

24. Nikitchenko S.L., Lipkovich I.E., Miroshnikov A.M., Dolzhikov V.V. Automation of the design of route technologies for the maintenance of agricultural machinery. *Don Agrarian Science Bulletin*. 2022;15(2):39-53. (In Russ.)

Author Information

Sergei L. Nikitchenko, CSc (Eng), Associate Professor binom_a@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4480-9659>; Scopus Author ID: 57203408315
Rostov State Transport University; 2 Rostovskogo Strelkovogo Polka Narodnogo Opolcheniya Sq., Rostov-on-Don, 344038, Russian Federation

Received 14.02.2026; Revised 24.05.2026; Accepted 27.05.2026