

Тип статьи: научная

УДК 631.1

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-3-61-72

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ СРЕДСТВ С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Юрий Викторович Родионов¹, Павел Тихонович Пантелеев²,
Александр Егорович Ломовских³, Алексей Алексеевич Свиридов⁴,
Сергей Владимирович Руденко⁵, Григорий Вячеславович Рыбин⁶**

^{1,6} Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация

^{1,3} Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Российская Федерация

^{2,3,4,5} ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, г. Воронеж, Российская Федерация

¹ rodionow.u.w@rambler.ru, ^{2,3,4,5} lomovskih1979@yandex.ru, ⁶ enot1237@gmail.com

Автор ответственный за переписку: Александр Егорович Ломовских,
lomovskih1979@yandex.ru

Corresponding author: Alexander Lomovskikh, lomovskih1979@yandex.ru

Реферат. Эффективность системы материально-технического обеспечения (МТО) сельскохозяйственного предприятия (СХП) определяется количеством выходов в рейс автотракторных средств (АТС) за требуемый период времени. Предлагается повысить эффективность системы МТО в условиях низких температур с помощью методики определения технического состояния АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики (АСКД) в условиях низких температур. Для обоснования методики необходимо разработать методику формирования облика АСКД АТС, модель АТС с использованием предлагаемого способа проверки АТС с использованием АСКД, а также алгоритм проверки значимости влияния способа проверки АТС на количество рейсов, выполняемых СХП. Представлена блок-схема методики, на которой отражены взаимосвязи исходных данных с разрабатываемыми (используемыми) методикой обоснования облика, моделью и алгоритмом, а также логическая организация самой методики определения технического состояния АТС. Подробно рассмотрены основные компоненты разработанной методики определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур: методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур; модель МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД; алгоритм проверки статистической значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС в условиях низких температур с применением автоматизированной системы контроля и диагностики на количество рейсов, выполняемых СХП; способ проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур. Проведена проверка адекватности и исследованы свойства модели МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД. Оценка эффекта от применения предлагаемого способа, показала возможность увеличения количества рейсов от 10 до 20%. Подтверждена гипотеза о значимости влияния предлагаемого способа на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур за заданное время работы.

Ключевые слова: эффективность, система материально-технического обеспечения, автотракторные средства, автоматизированной системы контроля и диагностики, способ проверки, модель, низкие температуры.

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOMOTIVE VEHICLES USING AN AUTOMATED CONTROL SYSTEM AND DIAGNOSTICS AT LOW TEMPERATURES

Yuri Rodionov¹, Pavel Pantelev², Alexandr Lomovskikh³, Alexey Sviridov⁴, Sergey Rudenko⁵,
Grigory Rybin⁶

^{1,6} Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation

^{1,3} Michurinsky State Agrarian University, Michurinsk, Russian Federation

^{2,3,4,5} air force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Y. A. Gagarin,
Voronezh, Russian Federation

¹rodionow.u.w@rambler.ru, ^{2,3,4,5}lomovskikh1979@yandex.ru, ⁶enot1237@gmail.com

Abstract. Efficiency of the logistics system (LS) of an agricultural enterprise (AE) is determined by the number of outings of motor vehicles (MV) for the required period of time. It is proposed to increase the efficiency of the LS system in low temperature conditions using a technique for determining the technical condition of vehicles using an automated monitoring and diagnostic system (AMDS) in low temperature conditions. A methodology for forming the appearance of an AMDS MV, a model of an MV using the proposed method of checking an MV using an AMDS, as well as an algorithm for checking the significance of the influence of the method of checking an MV on the number of flights performed by AE must be developed to justify it. A flow diagram of the methodology, which reflects the relationship of the initial data with the developed (used) method of substantiating the appearance, model and algorithm, as well as the logical organization of the methodology itself for determining the technical condition of the MV is presented. The main components of the developed methodology for determining the technical condition of a vehicle using AMDS in low temperature conditions are discussed in detail: the method of forming the appearance of an AMDS MV based on AVR microcontrollers for low temperature conditions; model of LS of AE in conditions of low temperatures using the method of checking ATS with AMDS; an algorithm for checking the statistical significance of the influence of the proposed method of checking vehicles in low temperature conditions using an automated monitoring and diagnostic system on the number of flights performed by agricultural enterprises; a method for checking vehicles using AMDS in low temperature conditions. The adequacy was checked and the properties of the SHP LS model were investigated under low temperature conditions using the method of checking ATS with AMDS. Evaluation of the effect of using the proposed method showed the possibility of increasing the number of flights from 10 to 20%. The hypothesis about the significance of the influence of the proposed method on the number of flights performed by AE in low temperature conditions for a given operating time was confirmed.

Keywords: efficiency, logistics system, automotive equipment, automated control and diagnostic system, verification method, model, low temperatures.

Для цитирования: Родионов Ю.В., Пантелеев П.Т., Ломовских А.Е., Свиридов А.А., Руденко С.В., Рыбин Г.В. Методика определения технического состояния автотракторных средств с применением автоматизированной системы контроля и диагностики в условиях низких температур // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 69, № 3. С. 61-72. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-61-72>.

For citation: Rodionov Yu., Pantelev P., Lomovskikh A., Sviridov A., Rudenko S., Rybin G. Methodology for determining the technical condition of automotive vehicles using an automated control system and diagnostics at low temperatures. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 69(3): 61-72. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-3-61-72>.

Введение. Для качественного и оперативного выполнения задач, стоящих перед сельскохозяйственным предприятием (СХП), формируется система материально-технического обеспечения (МТО). Систему МТО можно отнести к классу сложных организационно-технических систем, состоящую из подсистем, выполняющих определенные функции в целях достижения СХП максимальной эффективности.

Процесс функционирования системы МТО представляет собой совокупность различных операций, в том числе с интенсивным использованием машинно-тракторного парка (МТП) состоящего из автотракторных средств (АТС), энергетических средств (ЭС), вспомогательных устройств и др. МТО в климатических условиях Северо-запада, Сибири и Дальнего Востока России, существенно затрудняется ввиду низких температур, сильных ветров, сопровождаемых

метелями. Также большая часть территории России находится в умеренном климатическом поясе, для которого в зимнее время характерны вышеуказанные погодные факторы, затрудняющие МТО.

Сложные климатические условия снижают производительность работы водительского и технического персонала при АТС, увеличивают время подготовки АТС для выполнения работ. Особенно заметно увеличение времени, затрачиваемого на запуск и прогрев силовых установок, а также диагностику специального оборудования АТС, что непосредственно влияет на время подготовки АТС к работе. Более того уровень автоматизации контроля и диагностирования АТС при подготовке к использованию, а также непосредственно в процессе работы является достаточно низким, что в значительной мере снижает эффективность системы МТО в целом. Эффективность системы МТО применительно к подсистеме транспортного обеспечения определяется количеством выходов в рейс за требуемый период времени. Количество обеспеченных выходов в рейс в основном зависит от числа участвующих в работах АТС и от времени, затрачиваемого на подготовку их к работе.

Таким образом, возникает противоречие в практике между необходимостью увеличения количества рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур за требуемый период времени и низкой эффективностью существующей системы МТО. Изложению решения данного вопроса посвящена настоящая статья.

Материалы и методы. С учётом ограничений существующих методов повышения эффективности, выявленных с помощью контент-анализа предметной области, научной задачей исследования является разработка методики определения технического состояния АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики (АСКД) в условиях низких температур, позволяющего повысить эффективность МТО, оцениваемую количеством выходов в рейс, при заданных ограничениях на оперативность и ресурсоемкость. Формализованная постановка задачи имеет следующий вид (1-2):

$$M: \begin{cases} H_0 - \text{"влияние предлагаемого способа проверки АТС} \\ \text{с применением АСКД значимо" если } F_p > F_{кр} \\ H_1 - \text{"влияние предлагаемого способа проверки АТС"} \\ \text{с применением АСКД не значимо" если } F_p \leq F_{кр} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\text{при: } P_{оп}^* \geq P_{оп}; C_{МТО}^* \leq C_{МТО}, \quad (2)$$

$$\text{где } F_p = \begin{cases} \frac{S_\delta}{S_{cp}}, & \text{если } S_\delta \geq S_{cp} \\ \frac{S_{cp}}{S_\delta}, & \text{если } S_\delta < S_{cp} \end{cases}, F_{кр} - \text{табличное значение критерия Фишера при заданном уровне}$$

статистической значимости α .

Оценка межгрупповой дисперсии рассчитывается по формуле (3)

$$S_\delta = \frac{(N_{cp}^p - N_{общ}^p)^2 f_1 + (N_{cp}^{p*} - N_{общ}^{p*})^2 f_2}{I - 1}, \quad (3)$$

где N_{cp}^p , N_{cp}^{p*} – среднее количество рейсов рассчитанное без учета возможности применения способа проверки АТС с применением АСКД и с учетом такой возможности соответственно; $N_{общ}^p = \frac{\sum_{j=1}^{f_1} N_j^p + \sum_{j=1}^{f_2} N_j^{p*}}{n}$ – общее среднее значение количества рейсов; $\sum_{j=1}^{f_1} N_j^p$, $\sum_{j=1}^{f_2} N_j^{p*}$ – суммарное количество рейсов выполняемое СХП за время работ действий без учета применения предлагаемого способа проверки АТС и с учетом такой возможности соответственно; $n = f_1 + f_2$ – суммарное количество наблюдений; f_1 , f_2 – количество наблюдений рейсов (в нашем случае количество суток работ) без учета применения предлагаемого способа проверки АТС и с учетом такой возможности соответственно ($f_1 = f_2$); I – количество факторных признаков (в нашем случае $I = 2$).

Оценка средних внутригрупповых дисперсий рассчитывается по формуле (4)

$$S_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^{f_1} (N_j^p - N_{cp}^p)^2 + \sum_{j=1}^{f_2} (N_j^{p*} - N_{cp}^{p*})^2}{n - I}, \quad (4)$$

где N_j^p, N_j^{p*} – количество рейсов наблюдаемое в j -е сутки без учета применения предлагаемого способа проверки АТС и с учетом такой возможности соответственно; $P_{оп}^*, P_{оп}$ – вероятность того, что время подготовки АТС парка СХП к очередному выезду не превысит установленного после внедрения предлагаемого способа (без звездочки при традиционной организации МТО); $C_{МТО}^*, C_{МТО}$ – стоимость обеспечения одного рейса после внедрения предлагаемого способа.

Количество рейсов зависит от времени подготовки и проверки АТС перед выездом (5-6):

$$N_j^p = w(\lambda, n, t_{н.о}, t_{под}, N_{пл.ср}, \gamma, t, R_t, P_p, R_i, t_{БП}, t_{пров}), \quad (5)$$

$$N_j^{p*} = g(\lambda, n, t_{н.о}, t_{под}, N_{пл.ср}, \gamma, t, R_t, P_p, R_i, t_{БП}, t_{пров}^*), \quad (6)$$

где $w(*), g(*)$ – функции характеризующие зависимости количеств рейсов N_j^p, N_j^{p*} от входных показателей, рассчитанных без учета применения предлагаемого способа и с учетом такой возможности соответственно;

λ – интенсивность потока заявок на обеспечение; n – число АТС; $t_{н.о}$ – время непосредственного обслуживания одной заявки; $t_{под}$ – среднее время подготовки водительского и технического состава и движения в парк; $N_{пл.ср}$ – среднесуточное планируемое напряжение, выезд; γ – порядковый номер выезда; t – порядковый номер дня работ; R_t – моторесурс на каждый день периода работ T , выезд; P_p – вероятность возникновения неисправности АТС в рейсе; R_i – средний моторесурс за период T , выезд; $t_{БП}$ – время цикла рейса, ч; $t_{пров}$ – среднее время проверки АТС (включает диагностику, запуск и прогрев, гараж неотапливаемый); $t_{пров}^*$ – среднее время проверки АТС после внедрения предлагаемого способа.

Разработана методика определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур, которая позволяет итерационно обосновать способ проверки АТС перед допуском их в рейс. В соответствии с постановкой научной задачи для обоснования предлагаемого способа необходимо разработать методику формирования облика АСКД АТС, модель АТС с использованием предлагаемого способа, а также алгоритм проверки значимости влияния способа проверки АТС на количество рейсов, выполняемых СХП [1-5].

Блок схема методики определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур представлена на рисунке 1.

На схеме представлены взаимосвязи исходных данных с разрабатываемыми (используемыми) методикой обоснования облика, моделью и алгоритмом, а также логическая организация самой методики определения технического состояния АТС [6].

В соответствии с представленной схемой, в ходе разработки методики определения технического состояния, необходимо:

а) с помощью методики формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур сформировать рациональный вариант АСКД;

б) с помощью модели МТО СХП в условиях низких температур определить показатели результативности, оперативности и ресурсоёмкости процесса МТО при традиционной организации проверки АТС и с применением предлагаемого способа;

в) с помощью способа проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур определить время проверки АТС с использованием предлагаемой АСКД;

г) с помощью алгоритма однофакторного дисперсионного анализа проверить гипотезу о значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС с применением АСКД на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур. В случае не подтверждения гипотезы скорректировать состав АСКД;

д) проверить выполнение ограничения 2 на оперативность и ресурсоёмкость процесса МТО. В случае невыполнения ограничения скорректировать состав АСКД;

е) сформировать рекомендации по использованию разработанного способа проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур.

Далее приведем содержательное описание основных компонентов разработанной методики определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур.

Методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур. Формирование облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур предлагается осуществлять согласно схемы представленной на рисунке 2 и состоящей из 8 этапов.

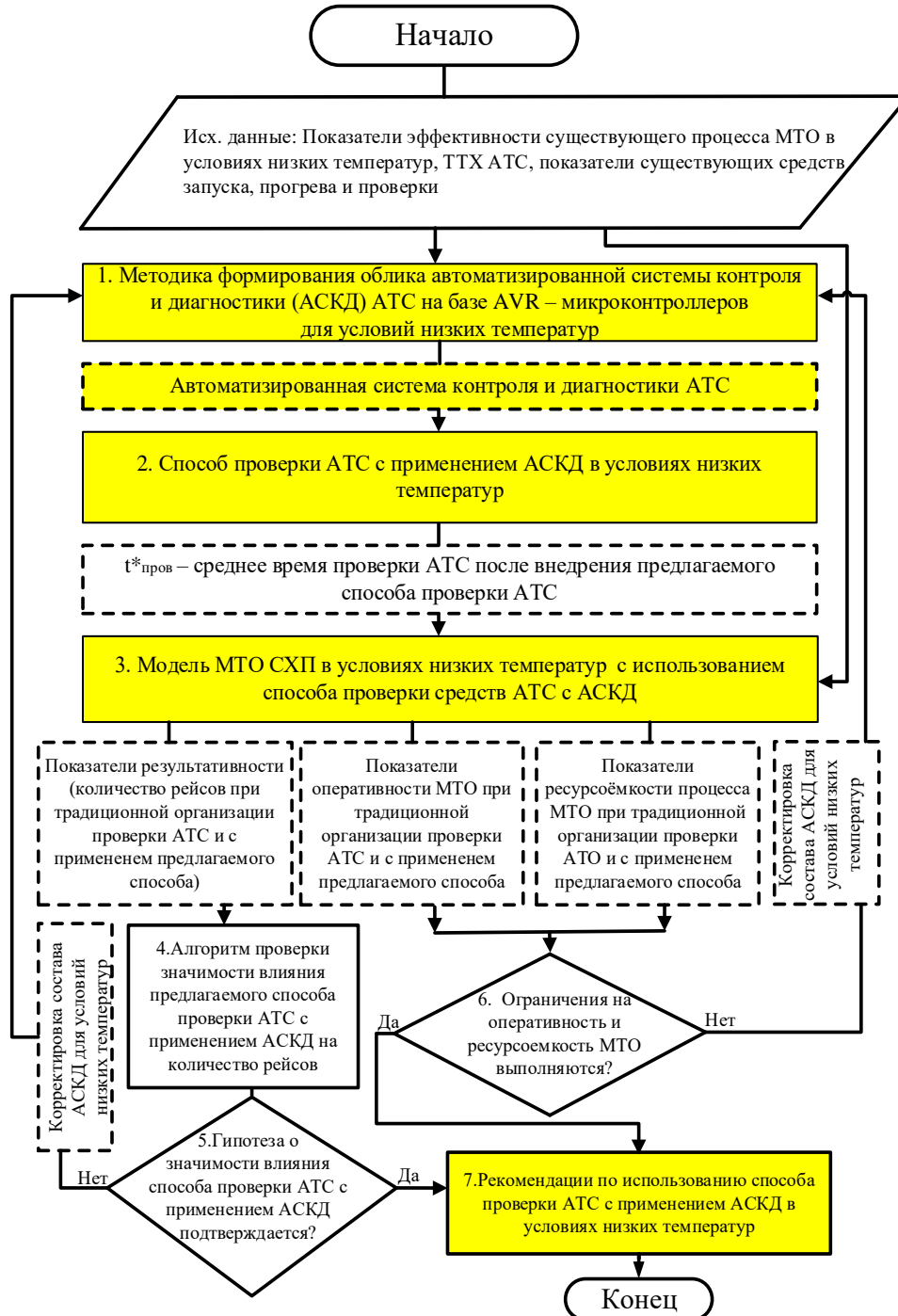


Рисунок 1 – Блок схема методики определения технического состояния АТС с применением АСКД для итерационного обоснования способа проверки АТС перед допуском их в рейс

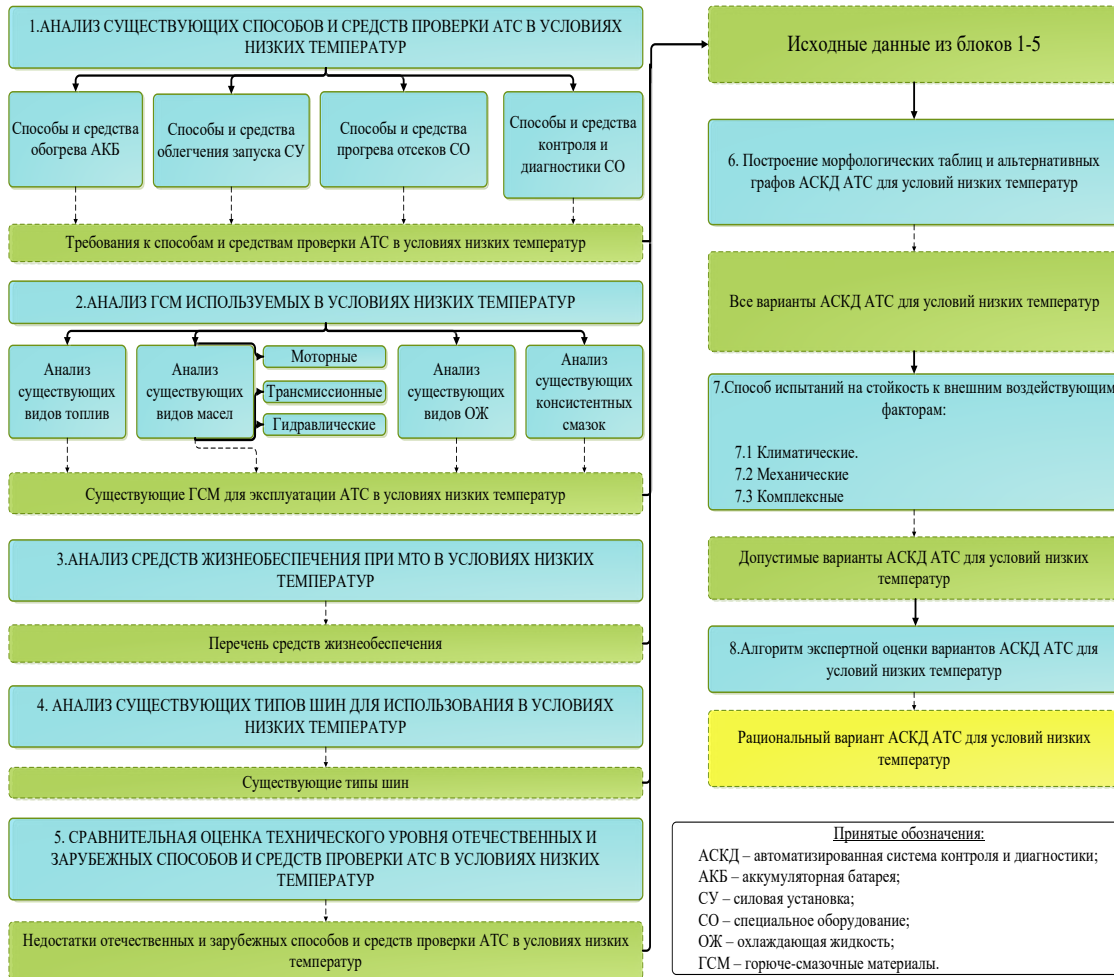


Рисунок 2 – Методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур.

Модель МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД. Эффективность СХП в условиях низких температур существенно зависит от организации МТО. Наиболее трудоемкими процессами МТО, подлежащими анализу, являются: автотракторное обеспечение, обеспечение ГСМ, запасными частями и другими видами материальных средств. Перечисленные задачи решаются в полном объеме непосредственно на СХП, следовательно, эффективность МТО целесообразно исследовать на базе оценки возможностей подразделений автотракторного обеспечения по обеспечению работы СХП.

Эффективность функционирования системы МТО предлагается оценивать по показателям результативности, оперативности и ресурсоемкости. Выбранные показатели всесторонне отражают свойства исследуемой системы в процессе функционирования и оценивают степень ее приспособленности к выполнению поставленных перед ней задач.

Модель предусматривает выполнение 19 шагов (рисунок 3): Ш1. Определение вспомогательного среднего времени подготовки, в течение которого АТС подготавливается к рейсу, приводится в исходное положение после рейса с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш2. Определение среднего времени одного рейса с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш3. Определение приведенной

интенсивности потока заявок на рейсы с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш4. Определение вероятности того, что все АТС свободны с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки; Ш5. Определение показателя оперативности МТО – вероятности того, что время подготовки АТС к повторному рейсу не превысит установленного; Ш6. Определение вероятности безотказной работы γ -го средства β -й группы АТС в течении времени работы T ; Ш7. Определение вероятности безотказной работы АТС на i -м СХП в течение заданного периода T и коэффициента готовности парка АТС; Ш8. Определение математического ожидания количества рейсов за период работы, обеспечиваемых в условиях потерь АТС в процессе эксплуатации (с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки); Ш9. Определение вероятности того, что все АТС свободны; Ш10. Определение математического ожидания количества рейсов, которое не будет обеспечено системой МТО; Ш11. Определение математического ожидания количества обеспечиваемых рейсов за период работы исходя из штатных возможностей СХП;

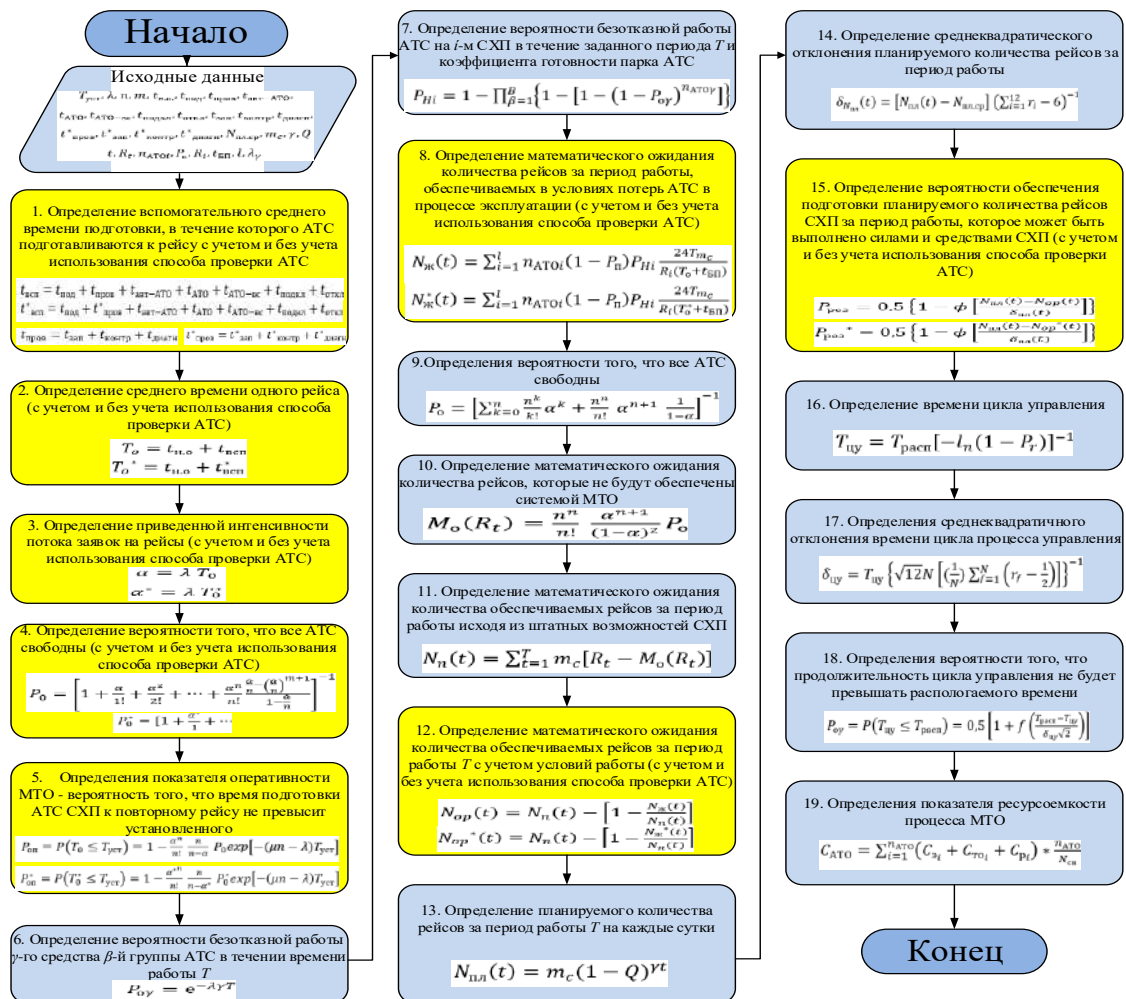


Рисунок 3 – Блок-схема модели МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД

Ш12. Определение математического ожидания количества обеспечиваемых рейсов за период работы T с учетом условий работы (с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки); Ш13. Определение планируемого количества рейсов за период работы T на каждые

сутки; Ш.14 Определение среднеквадратического отклонения планируемого количества рейсов за период работы; Ш.15 Определение вероятности обеспечения подготовки планируемого количества рейсов СХП за период работы, которое может быть выполнено силами и средствами СХП (с учетом и без учета использования предлагаемого способа проверки); Ш.16 Определение времени цикла управления; Ш.17. Определение среднеквадратического отклонения времени цикла процесса управления; Ш.18. Определение вероятности того, что продолжительность цикла управления не будет превышать располагаемого времени; Ш.19. Определение показателя ресурсоемкости процесса МТО. Модель программно реализована в среде MathCAD. Модель позволяет оценивать готовность подразделений МТО к выполнению поставленных задач с учетом использования предлагаемого способа проверки; выявлять «узкие» места в процессе МТО; оперативно производить коррекции планов и решений в различных условиях обстановки; вырабатывать и осуществлять мероприятия по повышению эффективности функционирования системы МТО.

Алгоритм проверки статистической значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС в условиях низких температур с применением автоматизированной системы контроля и диагностики на количество рейсов, выполняемых СХП. Алгоритм предусматривает выполнение 9 шагов:

Ш1. Определение количества наблюдений для каждого из значений качественного фактора и общего числа наблюдений; Ш2. Задание количества факторных признаков; Ш3. Определение среднего количества рейсов без учёта возможности использования предлагаемого способа и с учётом такой возможности; Ш4. Определение общего среднего; Ш5. Оценка межгрупповой дисперсии; Ш6. Оценка средней внутригрупповых дисперсий; Ш7. Определение расчётного значения критерия Фишера; Ш8. Определение критического значения критерия Фишера; Ш9. Проверка гипотезы о значимости фактора.

Алгоритм разработан на основе однофакторного дисперсионного анализа и позволяет принять или опровергнуть нулевую гипотезу о значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС с применением АСКД на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур.

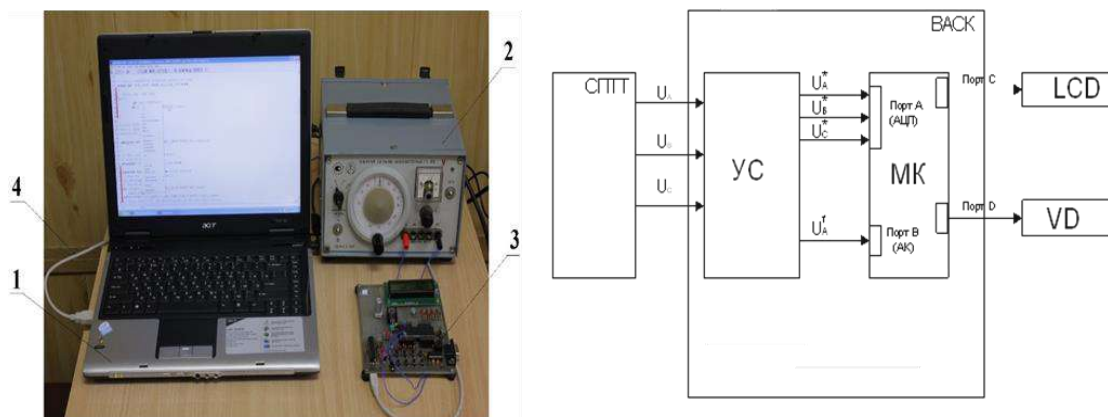
Способ проверки АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики в условиях низких температур. Суть способа состоит из одновременного использования на АТС (например на базе автомобиля УРАЛ-4320 и его модификаций) в сложных климатических условиях (температура минус 30 °С и более низкая): АСКД на базе AVR – микроконтроллера (рисунок 4а), которая устанавливается в систему управления специальной установкой АТС; усовершенствованного устройства улучшения качества топлива (рисунок 4б), установленное в топливной системе двигателя внутреннего сгорания (ДВС); устройства для обогрева аккумуляторных батарей (АКБ) (рисунок 4в), встроенное в систему охлаждения ДВС.

Автоматизированная система контроля и диагностики на базе AVR – микроконтроллера установленная, например, на электроагрегат работает следующим образом. В соответствии с характеристиками конкретного типа объекта (электроагрегат) предварительно определяются количество тестовых воздействий, подлежащих подаче устройством согласования (УС) АСКД. С выходов УС АСКД сигналы тестовых воздействий поступают на порты А, В микроконтроллера (МК) в зависимости от вида воздействий (частота, напряжение и т.п.). В МК производится обработка входных тестовых воздействий, после чего полученная информация через порты С, D отображается на устройствах индикации (мониторы, световые сигналы), что позволяет оператору (водителю-оператору) контролировать режимы работы систем электроагрегата.

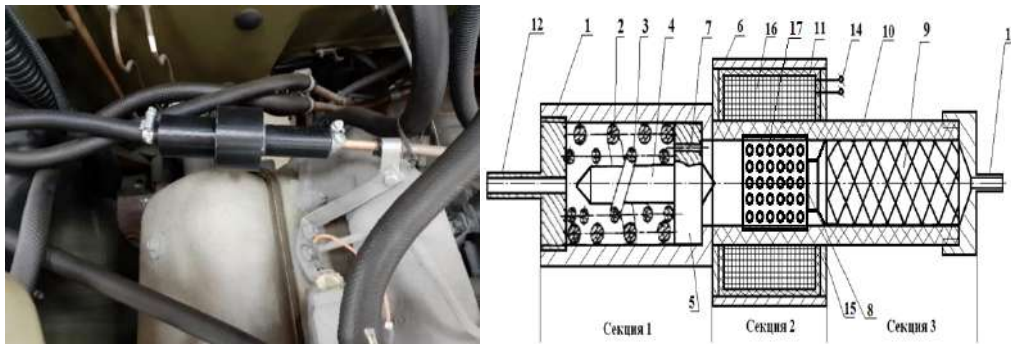
Суть работы усовершенствованного устройства улучшения качества топлива состоит в следующем. Корпус устройства, в который поступает топливо, изготовлен из диамагнитного материала. На корпусе установлен магнитопровод который обеспечивает ионизацию топлива, проходящего через устройство, а также изменяет его молекулярные свойства и накапливает «активированные» частицы в составе топлива. Использование в конструкции магнитопровода позволяет в "запустить" электромагнитную энергию обмотки в струю топлива благодаря использованию магнитной вставки. Результат заключается в более глубоком изменении молекулярных свойств топлива, что способствует более полному сгоранию топлива в цилиндрах ДВС.

Устройство для обогрева аккумуляторного отсека работает в двух режимах. При работающем двигателе теплоноситель движется за счет штатного насоса системы охлаждения двигателя в штатный котёл подогревателя, далее в теплообменную панель и затем возвращается в систему охлаждения. При неработающем двигателе теплоноситель движется за счет насоса котла подогревателя в теплообменную панель, установленную в аккумуляторном отсеке и далее в котел подогревателя. Управление (включение или отключение) устройством осуществляется с помощью пульта управления.

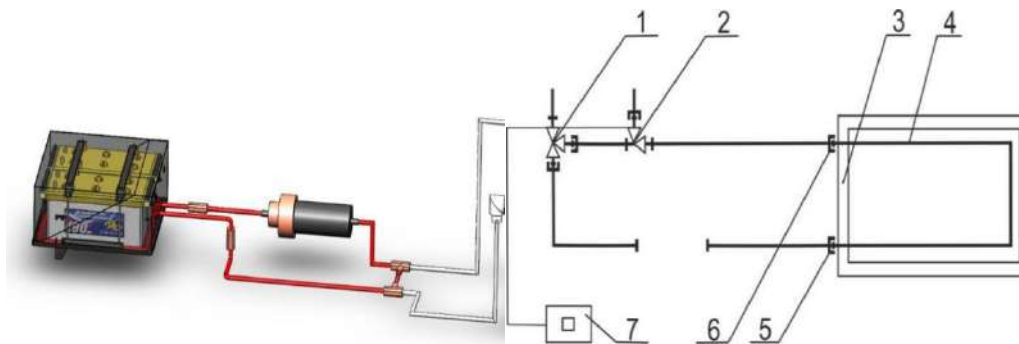
Предлагаемый способ позволяет сократить время проверки АТС перед допуском их к работе за счет сокращения времени запуска и прогрева силовых установок, а также автоматизации контроля работоспособности и диагностики технического состояния блоков, узлов и агрегатов специального оборудования АТС.



а) автоматизированная система контроля и диагностики на базе AVR – микроконтроллера: 1 - ноутбук; 2 - генератор низкочастотных сигналов ГЗ – 106; 3 - отладочная плата; 4 - соединительные провода



б) усовершенствованное устройство улучшения качества топлива:
 1 – цилиндрический корпус; 2, 3 – винтовые элементы; 4 – цилиндрический стержень;
 5 – цилиндрическая вставка; 6 – наружный магнитопровод; 7 – каналы; 8 – промежуточная камера; 9 – смесительный элемент; 10 – корпус; 11 – катушка; 12 – торцевая крышка с входным штуцером; 13 – торцевая крышка с выходным штуцером; 14 – электрические выводы; 15 – торцевые ферромагнитные шайбы; 16 – электрическая обмотка; 17 – вставка с размещенными в ней магнитами



в) устройство для обогрева аккумуляторных батарей:
1, 2 – перепускной клапан; 3 – аккумуляторный отсек; 4 – теплообменную панель;
5 – входной штуцер; 6 – выходной штуцер; 7 – пульт управления
Рисунок 4 – АСКД АТС в условиях низких температур:

Устройство для обогрева аккумуляторного отсека работает в двух режимах. При работающем двигателе теплоноситель движется за счет штатного насоса системы охлаждения двигателя в штатный котёл подогревателя, далее в теплообменную панель и затем возвращается в систему охлаждения. При неработающем двигателе теплоноситель движется за счет насоса котла подогревателя в теплообменную панель, установленную в аккумуляторном отсеке и далее в котел подогревателя. Управление (включение или отключение) устройством осуществляется с помощью пульта управления.

Предлагаемый способ позволяет сократить время проверки АТС перед допуском их к работе за счет сокращения времени запуска и прогрева силовых установок, а также автоматизации контроля работоспособности и диагностики технического состояния блоков, узлов и агрегатов специального оборудования АТС.

Результаты и их обсуждение. Проведена проверка адекватности и исследованы свойства модели МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД.

Проверка адекватности осуществлялась двумя способами. В первом способе находились средние значения откликов разработанной модели и проверялась гипотеза о близости этих значений известным значениям апробированной модели. Во втором способе проводилась оценка дисперсии откликов разработанной модели, далее проверялась гипотеза о значимости различий этих оценок известным значениям дисперсии апробированной модели. Оба способа показали, что модель адекватна по критериям Стьюдента и Фишера.

В ходе исследования свойств модели была оценена погрешности имитации, обусловленной наличием в имитационной модели неидеальных генераторов псевдослучайных чисел, определена длительность переходного режима, оценена устойчивость и чувствительность результатов моделирования.

Реализация программ для исследования свойств модели позволила сделать выводы, что погрешность имитации, незначительна, входит в доверительные интервалы, а значит, что генераторы псевдослучайных чисел подобраны правильно. Проверка устойчивости результатов моделирования показала, что дисперсии откликов модели с увеличением модельного времени не увеличиваются и можно сделать вывод, что результаты моделирования устойчивы. Проверка чувствительности модели показала, что разработанная модель чувствительна по всем компонентам входных показателей, следовательно, при планировании экспериментов на модели необходимо учитывать все входные показатели.

Оценка эффекта от применения предлагаемого способа, включает в себя 4 шагов:

Ш1. Анализ эффективности функционирования существующей системы МТО СХП в условиях низких температур (оценка времени проверки АТС). Рассмотрена ситуация проверки АТС. Время проверки АТС в условиях низких температур составляет в среднем 40 минут. Оценка среднего

значения времени проверки АТС осуществлялась по ГОСТ Р 50779.21-2004. Среднее значение времени проверки АТС с доверительной вероятностью 0,95 не превышает 40 минут. Среднее время проверки других АТС не превышает времени проверки выбранного АТС, следовательно, в экспериментальных исследованиях, эту величину одностороннего доверительного интервала можно считать временем проверки АТС.

Ш2. Проведение натурального эксперимента по оценке времени проверки АТС с использованием способа проверки АТС с применением АСКД. Результаты 30 хронометражей показали, что среднее время проверки АТС с использованием способа составит 23 минуты, а оценка среднего с доверительной вероятностью 0,95 не превышает 24 минут, что почти в 2 раза меньше по сравнению с традиционными средствами проверки.

Ш3. Определение количества рейсов, выполняемых СХП за заданное время при традиционной организации проверки АТС и с применением предлагаемого способа. Количество рейсов определяется с помощью модели МТО СХП. С помощью модели получим следующие показатели. При традиционной организации проверки АТС: количество рейсов к началу каждого суток работы $N_{с/в} = ||0 \ 151 \ 134 \ 134 \ 121 \ 103 \ 94 \ 88||$; суммарное количество рейсов (7 суток работы) $N_{св} = 825$. С учётом использования способа проверки АТС с применением АСКД: количество рейсов к началу каждого суток работы $N_{с/в}^* = ||0 \ 204 \ 166 \ 147 \ 132 \ 115 \ 100 \ 87||$; суммарное количество рейсов за операцию (7 суток работы) $N_{св}^* = 951$; Оценка эффекта от применения предлагаемого способа показала возможность увеличения количества рейсов от 10 до 20 %.

Ш4. Оценка значимости влияния предлагаемого способа проверки АТС с применением АСКД. С помощью алгоритма дисперсионного анализа подтвердили гипотезу о значимости влияния предлагаемого способа на количество выполняемых СХП рейсов.

Заключение. В результате проведения исследования и решения поставленной научной задачи получены следующие основные научные результаты:

- разработана методика формирования облика АСКД АТС на базе AVR – микроконтроллеров для условий низких температур;
- разработан способ проверки АТС с применением АСКД в условиях низких температур;
- разработана модель МТО СХП в условиях низких температур с использованием способа проверки АТС с АСКД;
- разработана методика определения технического состояния АТС с применением АСКД в условиях низких температур.

Оценка эффекта от применения предлагаемого способа, показала возможность увеличения количества рейсов от 10 до 20%. Подтверждена гипотеза о значимости влияния предлагаемого способа на количество рейсов, выполняемых СХП в условиях низких температур за заданное время работы.

Таким образом, поставленная в работе научная задача, заключающаяся в разработке методики определения технического состояния АТС с применением автоматизированной системы контроля и диагностики в условиях низких температур, позволяющей повысить эффективность МТО, оцениваемую количеством обеспечиваемых рейсов, выполняемых СХП при заданных ограничениях на оперативность и ресурсоемкость, решена, а цель исследования достигнута.

Список источников

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978. – 400 с.
2. Банди Б. Методы оптимизации / В.А. Вольнский, пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.
3. Вентцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: Учебное пособие для студ. Втузов; под ред. Е.С. Вентцель. 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 208 с.
4. Кокорева Е.Б. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники / Е.Б. Кокорева // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. № 2. С. 320–325.
5. Макаров В.Б. Техническое обслуживание и ремонт машин / В.Б. Макаров. – М.: Агропромиздат, 2019. 521 с.

6. Патент на промышленный образец № 137680: Структурно-логическая схема «Методика оценки эффективности восстановления средств АТО на аэродромах рассредоточения с применением встроенной автоматизированной системы контроля и диагностики». Автор и патентообладатель: С.В. Руденко, 2023.

References

1. Buslenko N.P. Modeling of complex systems. – М.: The science, 1978. – 400 p.
2. Bandi B. Optimization methods / V.A. Volynsky, trans. from English – М.: Radio and communications, 1988. – 128 p.
3. Wentzel E.S. Operations research. Tasks, principles, methodology: A textbook for students. Universities; edited by E.S. Wentzel. 4th ed., ster. – М.: Higher School, 2007. – 208 p.
4. Kokoreva E.B. Improving the efficiency of using agricultural machinery / E.B. Kokoreva // Bulletin of Science and Practice. 2018. V. 4. No. 2. S. 320–325.
5. Makarov V.B. Maintenance and repair of machines / V.B. Makarov. – М.: Agropromizdat, 2019. – 521 p.
6. Patent for industrial design No. 137680: Structural and logical scheme "Methodology for evaluating the effectiveness of restoring anti-terrorist operation facilities at dispersal airfields using an integrated automated control and diagnostic system". Author and patent holder: S.V. Rudenko, 2023.

Информация об авторах

Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор; П.Т. Пантелеев - кандидат технических наук, доцент; А.Е. Ломовских – кандидат технических наук, доцент; А.А. Свиридов – кандидат педагогических наук; С.В. Руденко – адъюнкт; Г.В. Рыбин – магистрант.

Information about the authors

Yu. Rodionov – Doctor of Technical Sciences, Professor; P. Panteleev - candidate of technical sciences, associate professor; A. Lomovskikh – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; A. Sviridov – candidate of pedagogical sciences; S. Rudenko – adjunct; G. Rybin – master's student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 05.05.2024 Принята к публикации (Accepted): 15.06.2024