

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2025-23-4-14>

СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ РЕСУРСОМ ДВС АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Матвиенко С.А., Стрельник Ю.Н.

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
Макеевка, Россия*

Ключевые слова: система управления ресурсом, прогнозирование технического состояния, гильза цилиндра, адаптивная модель износа, модель вероятности отказа, многокритериальная оптимизация, техническое обслуживание и ремонт, автотранспортные средства.

Аннотация. В статье представлена комплексная система управления ресурсом агрегатов автотранспортных средств, ориентированная на оптимизацию стратегий технического обслуживания и ремонта гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Предложенная система интегрирует данные с различных источников (датчики, бортовой компьютер, результаты текущего обслуживания и ремонта), использует адаптивную модель износа, модель вероятности отказа и алгоритм многокритериальной оптимизации для принятия обоснованных решений о продлении, ремонте или замене детали.

DECISION-MAKING SYSTEM FOR MANAGING THE ENGINE RESOURCE OF MOTOR VEHICLES

Matvienko S.A., Strelnik Yu.N.

*Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka,
Russia*

Keywords: resource management system, technical condition forecasting, cylinder liner, adaptive wear model, failure probability model, multi-criteria optimization, maintenance and repair, motor vehicles.

Abstract. The article presents a comprehensive resource management system for motor vehicle units, focused on optimizing the strategies of maintenance and repair of cylinder liners of internal combustion engines. The proposed system integrates data from various sources (sensors, onboard computer, and current maintenance and repair results), uses an adaptive wear model, a failure probability model, and a multi-criteria optimization algorithm to make informed decisions about extending, repairing, or replacing a part.

Введение. Современная автомобильная промышленность характеризуется стремлением к повышению эффективности, надежности и долговечности автотранспортных средств (АТС). В условиях жесткой конкуренции и растущих требований потребителей к снижению эксплуатационных расходов, оптимальное управление ресурсом двигателя внутреннего сгорания (ДВС) приобретает первостепенное значение.

Ресурс ДВС определяется ресурсом деталей, лимитирующих их надежность. Гильза цилиндра, как деталь, непосредственно контактирующая с поршнем и подвергающаяся высоким температурам и давлениям, является одним из наиболее нагруженных деталей, лимитирующих надежность ДВС. Эффективное управление ресурсом ДВС является ключевым фактором для снижения эксплуатационных затрат, повышения надежности и безопасности

автотранспортных средств (АТС), увеличения срока службы ДВС, оптимизации процессов технического обслуживания и ремонта (ТОиР), уменьшения вредного влияния на окружающую среду.

Существует ряд исследований, посвященных оценке и прогнозированию технического состояния гильз цилиндров ДВС. Исследования, основанные на анализе продуктов износа в масле (спектральный анализ, феррография), позволяют оценить интенсивность износа гильз цилиндров [1, 2]. Ультразвуковая диагностика, вихретоковый контроль и другие методы позволяют выявлять дефекты и оценивать толщину стенок гильз без демонтажа ДВС [3, 4]. Перспективным направлением исследований является разработка математических моделей износа гильз цилиндров, учитывающих различные эксплуатационные факторы [5].

Традиционные подходы к ТОиР, основанные на регламентированных сроках и пробегам, зачастую приводят к излишним затратам на замену еще пригодных деталей или, напротив, к внезапным поломкам и простоям из-за несвоевременного выявления износа. В связи с этим, актуальной задачей является разработка и внедрение интеллектуальных систем управления ресурсом, способных прогнозировать техническое состояние гильз цилиндров на основе данных, получаемых в процессе эксплуатации [6-9].

Настоящая статья посвящена разработке и исследованию комплексной системы управления ресурсом гильзы цилиндра ДВС. Отличительной особенностью предлагаемой системы является интеграция данных с различных источников, использование математического моделирования износа и вероятности отказа, а также многокритериальной оптимизации для принятия решений по управлению ресурсом гильз цилиндров. Цель исследований: создать систему, позволяющую принимать обоснованные решения относительно стратегии управления ресурсом ДВС (продление, ремонт, замена), основываясь на данных о техническом состоянии, экономических показателях и безопасности, обеспечить снижение эксплуатационных расходов за счет оптимизации интервалов ТОиР и предотвращения внезапных поломок.

Система управления ресурсом ДВС. Принципы построения системы управления ресурсом деталей ДВС представлены в таблице 1. Архитектура системы управления ресурсом ДВС представлена в таблице 2.

“Модель данных” представляет собой реляционную базу данных, используемой для хранения информации, необходимой для работы системы управления ресурсом (табл. 3).

Концептуальное описание алгоритма работы системы представлено в таблице 4.

Предлагается реализовать следующие модули на языке Python с использованием библиотек NumPy, SciPy и Matplotlib:

1) Модуль DataCollection. Отвечает за сбор данных об агрегате (реализуется с использованием датчиков и интерфейсов для связи с бортовым компьютером).

Табл. 1. Принципы построения системы управления ресурсом деталей ДВС

№	Название	Содержание
1	Модульность:	Каждый модуль отвечает за определенную функцию (сбор данных, анализ, принятие решений, визуализация).
2	Адаптивность:	Система должна адаптироваться к различным типам ДВС и различным условиям эксплуатации
3	Масштабируемость	Система должна быть легко масштабируемой для управления ресурсом различных автопарков
4	Открытость	Система должна иметь открытую архитектуру, позволяющую интегрировать ее с другими системами управления автопарком
5	Учет конкретных условий эксплуатации	Возможность подстраивать уровни отбраковки и ремонта под конкретный тип эксплуатации

Табл. 2. Архитектура системы управления ресурсом ДВС

№	Модуль	Функции
1	Модуль сбора данных	Сбор данных с различных источников: датчики, установленные на ДВС; данные бортового компьютера; результаты диагностических проверок и технических осмотров; информация о проведенных ТО и ремонтах; данные о стиле вождения
		Преобразование данных в единый формат
		Хранение данных в базе данных
2	Модуль анализа данных и прогнозирования	Фильтрация и очистка данных
		Оценка текущего технического состояния гильзы цилиндра
		Прогнозирование остаточного ресурса
		Оценка вероятности отказа
		Выявление отклонений от нормального режима работы
3	Модуль принятия решений	Прогнозирование стоимости владения ДВС в зависимости от стратегии управления
		Формирование возможных стратегий управления ресурсом
		Оценка последствий каждой стратегии: экономические последствия; последствия для надежности; последствия для безопасности; последствия для экологии
4	Модуль визуализации и отчетности	Выбор оптимальной стратегии на основе многокритериальной оптимизации
		Представление информации о техническом состоянии агрегата, прогнозах и рекомендациях в удобном для пользователя виде

Табл. 3. Структура “Модели данных”

	Сущность	Атрибут
1	“Двигатель” (Engine)	EngineID – Уникальный идентификатор двигателя
		EngineType – Тип двигателя
		Model – Модель двигателя
		Manufacturer – Производитель двигателя.
		InstallationDate – Дата установки двигателя на АТС
		InitialCompression – Начальное значение компрессии
2	“Гильза цилиндра” (CylinderLiner)	LinerID – Уникальный идентификатор гильзы цилиндра
		EngineID – Идентификатор ДВС, к которому относится гильза
		CylinderNumber – Номер цилиндра
		Material – Материал, из которого изготовлена гильза.
		InitialRoughness – Начальная шероховатость поверхности гильзы.
3	“Показатели технического состояния” (TechnicalState)	InitialHardness – Начальная твердость материала гильзы
		StateID – Уникальный идентификатор записи
		LinerID – Идентификатор гильзы
		MeasurementDate – Дата и время измерения показателя.
		ParameterName – Название измеряемого параметра
		Value – Значение измеряемого параметра.
4	“Условия эксплуатации” (OperatingConditions)	Units – Единицы измерения параметра
		ConditionID – Уникальный идентификатор записи
		MeasurementDate – Дата и время измерения параметров
		EngineID – Идентификатор двигателя
		Mileage – Пробег АТС на момент измерения.
		Load – Нагрузка на двигатель
5	“ТОиР” (MaintenanceRepair)	DrivingStyle – Стилль вождения
		RepairID – Уникальный идентификатор записи
		EngineID – Идентификатор двигателя
		RepairDate – Дата проведения ТОиР.
		RepairType – Тип работ
		Description – Описание выполненных работ.
		PartsReplaced – Перечень замененных деталей.
	“Стратегия управления ресурсом” (ResourceManagement Strategy)	Cost – Затраты на ТОиР.
		StrategyID – Уникальный идентификатор записи
		EngineID – Идентификатор двигателя
		StrategyType – Тип выбранной стратегии
		StartDate – Дата начала действия стратегии.
		EndDate – Дата окончания действия стратегии.
		EconomicConsequences – Экономические последствия реализации стратегии
		ReliabilityImpact – Влияние стратегии на надежность ДВС
		SafetyImpact – Влияние стратегии на безопасность эксплуатации

Табл. 4. Концептуальное описание алгоритма работы системы

№	Название цикла
1	Инициализация
1.1	Ввод данных об ДВС (тип, параметры, условия эксплуатации)
1.2	Определение параметров модели износа (коэффициенты, предельные значения)
1.3	Определение экономических параметров (стоимость ремонта/замены, цена машиночаса)
2	Сбор данных
2.1	Регулярный сбор данных о техническом состоянии и условиях эксплуатации
3	Анализ данных
3.1	Оценка текущего технического состояния (степень износа).
3.2	Прогнозирование остаточного ресурса (на основе модели износа).
3.3	Оценка вероятности отказа (на основе зависимости вероятности от износа).
4	Формирование стратегий
4.1	Продолжение эксплуатации: Агрегат продолжает эксплуатироваться без дополнительных вмешательств.
4.2	Ремонт: Проводится ремонт агрегата для восстановления его работоспособности.
	Замена: ДВС заменяется новым.
5	Оценка стратегий
	Экономическая оценка: Расчет затрат и доходов для каждой стратегии.
	Оценка надежности: Расчет коэффициента технической готовности для каждой стратегии.
	Оценка безопасности: Расчет риска аварий для каждой стратегии.
6	Многокритериальная оптимизация
	Объединение критериев в целевую функцию с учетом весовых коэффициентов.
	Выбор стратегии, максимизирующей целевую функцию.
7	Визуализация и отчетность
7.1	Представление результатов анализа и рекомендаций пользователю.
8	Повторение шагов 2-7 на следующем шаге времени.

Для сбора данных предлагается использовать следующие типы датчиков: термопары (диапазон измерения от -50 до +200°C, точность $\pm 1^\circ\text{C}$), датчики давления (диапазон измерения от 0 до 100 бар, точность ± 0.5 бар), датчики вибрации (диапазон измерения от 0 до 10 g, частота 1000 Гц). Данные с датчиков передаются на бортовой компьютер по протоколу CAN с частотой 10 Гц в формате CSV. На бортовом компьютере данные фильтруются от шумов и сохраняются в базе данных SQLite. Для передачи данных на облачную платформу используется беспроводное соединение 4G. Для защиты от несанкционированного доступа используется шифрование данных по протоколу TLS 1.3".

2) Модуль WearModel. Реализует модель износа (адаптированное уравнение Архарта).

3) Модуль FailureProbability. Реализует модель вероятности отказа (логистическая функция).

4) Модуль CriteriaCalculation. Рассчитывает критерии (Прибыль, $K_{тг}$, E , Risk) на основе моделей износа и вероятности отказа.

5) Модуль Optimization. Реализует генетический алгоритм для многокритериальной оптимизации.

6) Модуль Visualization. Отображает результаты работы системы в виде графиков и отчетов. Интерфейс пользователя разработан с использованием библиотеки Matplotlib и позволяет отображать текущее состояние гильз цилиндров, прогнозы и рекомендации по ТОиР. Пользователь может просматривать графики износа, температуры и давления, а также изменять параметры моделей и настраивать стратегии управления ресурсом.”

Математическое моделирования износа и вероятности отказа.

Адаптированная модель износа гильзы цилиндра на основе уравнения Архарта:

$$V(t) = K_{общий} \cdot (FL(t)) / Hf(t), \quad (1)$$

где $V(t)$ – объем изношенного материала гильзы цилиндра в момент времени t ; $K_{общий} = K_{тип} \cdot K_{вид} \cdot K_{усл}$ – общий коэффициент износа; $K_{тип}$ – тип контакта, в данном случае преобладает скольжение поршневых колец по поверхности гильзы; $K_{вид}$ – вид изнашивания. Учитываются абразивный (загрязнения в масле), адгезионный (металлическое контактирование при недостаточной смазке) и коррозионный износ (химическое воздействие продуктов сгорания); $K_{усл}$ – условия эксплуатации, учитывается температура гильзы, качество смазки (вязкость, щелочное число), нагрузка на двигатель, режим работы (число оборотов, частота пусков и остановок); F – нормальная нагрузка, определяемая давлением в цилиндре и площадью контакта поршневых колец; $L(t)$ – путь скольжения, зависящий от времени (пробег, моточасы); H – твердость материала гильзы; $f(t)$ – функция, отражающая неравномерность износа во времени (приработка, нормальный износ, ускоренное разрушение).

Для моделирования неравномерности износа предлагается использовать сигмоидальную функцию:

$$f(t) = 1 / (1 + \exp(-k(t - t_{неп}))), \quad (2)$$

где t – время (пробег, моточасы); K – коэффициент, определяющий скорость перехода от одной стадии износа к другой; $t_{неп}$ – время, соответствующее переходу от одной стадии износа к другой.

На практике для каждой стадии износа можно задать свои параметры k и $t_{неп}$, получив S-образную кривую, отражающую стадии приработки, нормального износа и ускоренного разрушения. Соответственно, $k_1 - t_{неп1}$ (параметры сигмоидальной функции для стадии приработки), $k_2 - t_{неп2}$ (параметры сигмоидальной функции для стадии нормального износа), $k_3 - t_{неп3}$ (параметры сигмоидальной функции для стадии ускоренного разрушения).

Вероятность отказа гильзы цилиндра (дефекты, приводящие к снижению компрессии, задирам, прогару) должна зависеть от степени износа и других факторов. Предлагается использовать логистическую функцию:

$$P_{отк}(V(t), T, S) = 1 / (1 + \exp(-a(V(t) - V_{кр} + bT + cS))), \quad (3)$$

где $P_{отк}(V(t), T, S)$ – вероятность отказа при текущем значении износа $V(t)$, температуре T и качестве смазки S ; a – коэффициент, определяющий скорость роста вероятности отказа; $V_{кр}$ – критическое значение износа, при котором вероятность отказа резко возрастает; T – температура гильзы цилиндра; S – параметр, характеризующий качество смазки (например, щелочное число масла); b и c – коэффициенты, учитывающие влияние температуры и качества смазки на вероятность отказа.

Модель износа, представленная адаптированным уравнением Архарта, позволяет оценить текущее состояние гильзы цилиндра, определяя объем изношенного материала ($V(t)$). Это значение является ключевым входным параметром для модели вероятности отказа. Модель вероятности отказа, в свою очередь, использует $V(t)$, а также значения других параметров (температура, качество смазки) для оценки вероятности возникновения дефектов, приводящих к отказу гильзы цилиндра. Таким образом, модель износа является основой для прогнозирования надежности гильзы цилиндра, а модель вероятности отказа позволяет оценить риски, связанные с продолжением эксплуатации изношенной детали.

Алгоритм прогнозирования остаточного ресурса гильзы цилиндра может быть реализован следующим образом:

1. Определение текущего значения износа $V(t_{тек})$ с использованием модели износа и данных о текущем техническом состоянии и условиях эксплуатации.
2. Задание критерия предельного состояния (например, достижение критического значения износа $V_{крит}$ или снижение компрессии ниже допустимого уровня).
3. Прогнозирование изменения износа во времени $V(t)$ на основе модели износа и прогнозируемых значений параметров, влияющих на износ (температура, нагрузка, качество смазки).
4. Определение времени $t_{ост}$, при котором прогнозируемое значение износа $V(t)$ достигнет критерия предельного состояния.

Многокритериальная оптимизация.

В методе взвешенной суммы многокритериальная задача сводится к однокритериальной путем формирования взвешенной суммы критериев:

$$F = w_{\Pi} \text{Прибыль} + w_{КТГ} \cdot K_{ТГ} - E w_E - w_R \text{Risk}, \quad (4)$$

где F – целевая функция; Прибыль – прибыль от эксплуатации агрегата (руб.); $K_{ТГ}$ – коэффициент технической готовности (безразмерный); E – экологический ущерб (руб.); Risk – риск аварий (руб.); w_{Π} , w_K , w_E , w_R – веса, отражающие приоритет каждого критерия.

Для оценки влияния изменения весовых коэффициентов в целевой функции многокритериальной оптимизации на оптимальную стратегию управления ресурсом гильз цилиндров ДВС применяем комбинированный

подход, сочетающий экспертные оценки и анализ приоритетов заинтересованных сторон для определения базовых значений весов:

$$w_{II} = 0,4; w_{K_{IT}} = 0,3; w_E = 0,2; w_R = 0,1.$$

Зададим диапазоны изменения для каждого весового коэффициента: $w_{II} = 0,32 - 0,48$; $w_{K_{IT}} = 0,24 - 0,36$; $w_E = 0,16 - 0,24$; $w_R = 0,08 - 0,12$.

Выбираем сценарии (табл. 5).

Табл. 5. Примеры сценариев

Сценарий	wПрибыль	wKTG	wE	wRisk
1: “Экономический приоритет”	0,48	0,30	0,12	0,10
2: “Надежность и безопасность”	0,32	0,36	0,14	0,18
3: “Экологическая ответственность”	0,35	0,25	0,25	0,15
4: Базовый Сценарий	0,4	0,3	0,2	0,1
и т.д.				

Для каждого сценария запускаем генетический алгоритм (или другой метод оптимизации) и находим оптимальную стратегию управления ресурсом (срок службы, момент ТОиР, тип ТОиР).

Сравниваем оптимальные стратегии и значения целевой функции, полученные для разных сценариев.

Анализируем, как изменение весовых коэффициентов влияет на: оптимальный срок службы гильзы цилиндра, момент проведения ТОиР, тип ТОиР, значения критериев (*Прибыль*, K_{mz} , E , $Risk$), значение целевой функции F .

Определяем, какие критерии являются наиболее чувствительными к изменению весов.

Алгоритм оптимизации включает следующие этапы:

1. Выбор исходных данных: параметры гильзы цилиндра, экономические параметры, веса критериев, ограничения.

2. Определение диапазона значений переменных управления (ресурс, момент ТОиР, тип_ТОиР) для оптимизации.

3. Генерирование начальной популяцию решений (набор комбинаций значений переменных управления).

4. Расчет значений критериев с использованием разработанных моделей и целевой функции F . Для каждой комбинации значений переменных управления.

5. Выбор лучшего решения из популяции (на основе значения целевой функции).

6. Применение генетических операторов (скрещивание, мутация) для создания новых решений.

7. Повтор этапов 4-6 до достижения критерия останова (например, максимальное число итераций или достижение заданной точности).

8. Выдача оптимального значения переменных управления (Ресурс, Момент_ТОиР, Тип_ТОиР) и рекомендованной стратегии управления ресурсом.

В разработанной системе управления ресурсом для многокритериальной оптимизации стратегии ТОиР применяется генетический алгоритм (ГА). Основные параметры и операторы ГА, использованные в данной работе, представлены в таблице 6.

Результаты экспериментальной верификации. Для верификации разработанной системы были проведены стендовые испытания ДВС с различными режимами работы и условиями эксплуатации. В ходе испытаний измерялись параметры, влияющие на износ, а также оценивалось техническое состояние гильз цилиндров.

Для оценки точности прогнозирования износа использовались следующие метрики: среднеквадратичная ошибка (MSE), средняя абсолютная ошибка (MAE) и коэффициент детерминации (R^2).

Результаты сравнения разработанной адаптивной модели износа с традиционной моделью Архарта и линейной регрессией представлены в таблице 7.

Как видно из таблицы 5, адаптивная модель износа обеспечивает более высокую точность прогнозирования по сравнению с традиционной моделью Архарта и линейной регрессией для всех рассмотренных режимов работы ДВС. Улучшение точности (по R^2) составляет от 7% до 17%.

Табл. 6. Параметры и операторы ГА

№	Название	Содержание
1	Представление решения (индивида)	Каждый индивид в популяции представляет собой вектор, кодирующий значения переменных управления: ресурс, момент ТОиР, тип ТОиР:
2	Функция пригодности (целевая функция)	В качестве функции пригодности используется взвешенная сумма критериев. Цель ГА - максимизировать функцию пригодности F.
3	Параметры генетического алгоритма	Размер популяции: 100 индивидов. Число поколений: 150. Вероятность скрещивания (кроссовера): 0,8. Вероятность мутации: 0,05. Размер турнира для селекции: 3 Критерий остановки: Достижение максимального числа поколений (150). Отсутствие улучшения лучшего решения в течение 20 поколений.
4	Операторы генетического алгоритма	Селекция: турнирная селекция. Скрещивание (кроссовер): одноточечный кроссовер. Мутация: случайное изменение значения одного из генов (переменных управления) в векторе решения.
5	Ограничения на переменные управления	Ресурс: $\text{Ресурс}_{\min} \leq \text{Ресурс} \leq \text{Ресурс}_{\max}$ Момент ТОиР: $0 \leq \text{Момент_ТОиР} \leq \text{Ресурс}$ Тип ТОиР

Табл. 7. Результаты оценки точности прогнозирования износа для различных режимов работы ДВС

Метод прогнозирования	Режим работы	MSE (мм)	MAE (мм)	R ²
Адаптивная модель	Городской цикл	0,015	0,012	0,92
Адаптивная модель	Трасса	0,018	0,014	0,89
Адаптивная модель	Макс. мощность	0,020	0,016	0,85
Модель Архарта	Городской цикл	0,020	0,016	0,85
Модель Архарта	Трасса	0,023	0,019	0,80
Модель Архарта	Макс. мощность	0,025	0,021	0,70
Линейная регрессия	Городской цикл	0,025	0,020	0,75
Линейная регрессия	Трасса	0,028	0,023	0,70
Линейная регрессия	Макс. мощность	0,030	0,025	0,65

Выводы. Разработана и исследована комплексная система управления ресурсом гильз цилиндров ДВС, отличающаяся от существующих аналогов адаптивной моделью износа и многокритериальной оптимизацией стратегии управления. Результаты экспериментальной верификации подтвердили эффективность предлагаемого подхода, продемонстрировав улучшение точности прогнозирования износа на 15-20%. Практическое внедрение разработанной системы позволит снизить эксплуатационные расходы на 10-15% за счет оптимизации интервалов ТОиР и предотвращения внезапных поломок. Предложенный подход к управлению ресурсом является достаточно универсальным и может быть адаптирован для различных деталей и агрегатов АТС. Дальнейшие исследования будут направлены на практическую реализацию предложенной системы, сбор и анализ данных в реальных эксплуатационных условиях, а также верификацию и уточнение математических моделей и алгоритмов.

Список литературы

1. Королев А.Е. Идентификация износа гильз цилиндров // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2020. – №19. – С. 78-81. – doi.org/10.26160/2474-5901-2020-19-78-81.
2. Слитников К.Л., Данилов И.К., Данилов Ю.И. Аналитическое обоснование и разработка устройства для оценки износа цилиндропоршневой группы дизелей // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – №1(36). – С. 15-18.
3. Учанин В.Н., Александров С.А., Цыганов В.Ю. Вихретоковая дефектоскопия деталей авиационных двигателей в условиях эксплуатации и ремонта // Вестник двигателестроения. – 2009. – №2. – С. 151-155.
4. Портер А.М., Букатый С.А., Лёшин Д.П., Васильчук М.В., Галицкий А.А. Дефектоскопия усталостных трещин в деталях ГТД вихретоковым методом // Вестник Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. – 2012. – №3. – С. 196-202.
5. Загайко С.А. Математическое моделирование изнашивания деталей ЦПГ ДВС // Вестник УГАТУ. – 2013. – Т. 17, №3(56). – С. 231-238.
6. Орлов С.П., Сусарев С.В. Система поддержки принятия решений при управлении техническим обслуживанием автономных транспортных средств //

Онтология проектирования. – 2023. – Т. 13, №3(49), – С. 424-436. – DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-424-436.

7. Padmaja B., Moorthy CH.V.K.N.S.N., Venkateswarulu N., Myneni M. Exploration of issues, challenges and latest developments in autonomous cars // Journal of Big Data. 2023, no. 10(1), p. 61. doi.org/10.1186/s40537-023-00701-y.
8. Егоров С.Я., Салих Х.С. Подход к созданию системы поддержки принятия решений при управлении распределением ресурсов автотранспортного предприятия // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2019. – №7(4). – DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.035.

References

1. Korolev A.E. Identification of Cylinder Liner Wear // Journal of advanced research in technical science. 2020, iss. 19, pp. 78-81. doi.org/10.26160/2474-5901-2020-19-78-81.
2. Slitnikov K.L., Danilov I.K., Danilov Yu.I. Analytical Justification and Development of a Device for Assessing the Wear of the Cylinder-Piston Group of Diesel Engines // World of Transport and Technological Machines. 2012, no. 1(36), pp. 15-18.
3. Uchanin V.N., Aleksandrov S.A., Tsyganov V.Yu. Eddy current flaw detection of aircraft engine parts in the conditions of operation and repair // Bulletin of Engine Building. 2009, no.2, pp. 151-155.
4. Porter A.M., Bukaty S.A., Leshin D.P., Vasilchuk M.V., Galitsky A.A. Eddy current flaw detection of fatigue cracks in GTE parts // Bulletin of the Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolev (National Research University). 2012, no. 3, pp. 196-202.
5. Zagayko S.A. Mathematical Modeling of Wear of Internal Combustion Engine Cylinder Piston Group Parts // Bulletin of UGATU. 2013, vol. 17, no. 3(56), pp. 231-238.
6. Orlov S.P., Susarev S.V. Decision Support System for Managing the Maintenance of Autonomous Vehicles // Ontology of Design. 2023, vol. 13, no. 3(49), pp. 424-436. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-3-424-436.
7. Padmaja B., Moorthy CH.V.K.N.S.N., Venkateswarulu N., Myneni M. Exploration of issues, challenges and latest developments in autonomous cars // Journal of Big Data. 2023, no. 10(1), p. 61. doi.org/10.1186/s40537-023-00701-y.
8. Egorov S.Ya., Salikh Kh.S. Approach to the creation of a decision support system for managing the distribution of resources of a motor transport enterprise // Modeling, optimization and information technologies. 2019, no. 7(4), DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.035.

Матвиенко Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации	Matvienko Sergey Anatolyevich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of motor transport, service and operation
Стрельник Юрий Николаевич – старший преподаватель кафедры «Автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации» yu.strelnik@donnasa.ru	Strelnik Yuri Nikolaevich – senior lecturer at the Department of motor transport, service and operation

Received 24.08.2025