

Цифровизация подготовки систем технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств



С. М. Мороз,
д-р техн. наук,
профессор кафедры
«Эксплуатация автомо-
бильного транспорта
и автосервис» Московского
автомобильно-дорожного
государственного техниче-
ского университета,



И. С. Малин,
заместитель
начальника управления
по техническому снабже-
нию АО «Мострансавто»

На автомобильном транспорте всех стран ремонт сочетается с техническим обслуживанием. При этом острой проблемой представляют собой отказы автотранспортных средств, в том числе дорожные. Их не минимизируют и появившиеся за рубежом гибкие системы техобслуживания.

Начиная с 2005 г., ведущие мировые изготовители автотранспортных средств (АТС) перешли от технического обслуживания (ТО) по сервисным книжкам к гибким системам ТО (электронным сервисным книжкам). В них корректирование нормативов техобслуживания индивидуализировано по АТС, изготовители накапливают массивы данных по ресурсам компонентов, режимам работы автотранспортных средств и выполняемости ТО. По ним планируются объемы производства запасных частей и повышение их надежности.

Однако владельцам АТС и автотранспортных предприятий не предоставляются ни алгоритмы корректирования сервисных интервалов, ни возможности их оперативного корректирования на автотранспортном предприятии [1].

Известные системы не затрагивают выполнения ремонта, не используют данные бортовых средств диагностирования OBD (On Board Diagnostics). Поэтому наработки на отказ не достигают минимального сервисного интервала, а частота отказов существенно повы-

шается по мере выработки ресурса АТС (рис. 1).

Ресурсы компонентов в известных системах ТО отсчитываются по пробегу или времени, что плохо коррелирует с темпами износа большинства компонентов [2]. Разброс прогнозных оценок ресурсов по пробегу не обеспечивает своевременность замен компонентов без промежуточных проверок, а погрешности ведут к отказам или заметному недоиспользованию ресурса.

Автоматизируя планирование техобслуживания, зарубежные системы не выбрали преимуществ прежней планово-предупредительной системы по учету природно-климатических, дорожных, транспортных условий эксплуатации и возраста АТС [3]. Корректирование сервисных интервалов в новых системах не учитывает изменчивости указанных условий и потребностей автотранспортных средств в технических воздействиях ремонта и ТО по мере выработки ресурса.

Изменчивость этих условий наряду с изменениями состава автомобильного парка и интенсивности его эксплуатации определяют построение

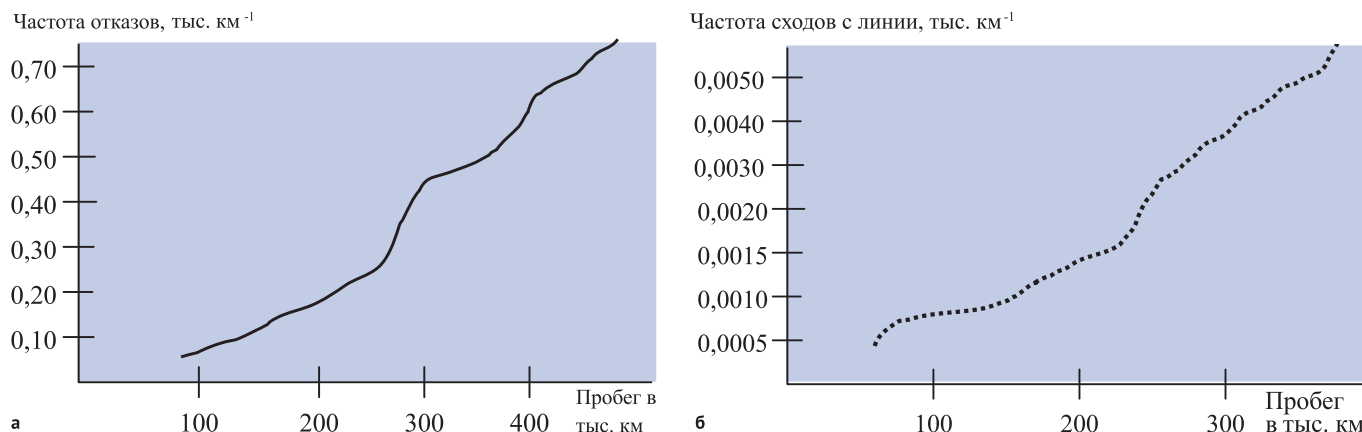


Рис. 1. Изменение потока отказов (а) и динамика частоты сходов с линии (б) по мере выработки ресурса автотранспортных средств

организационно-производственных структур управления на предприятиях автотранспорта. Поэтому адаптация технологий и процессов управления на всех уровнях планирования, контроля и организации исполнения к изменениям условий деятельности технической эксплуатации автомобилей сегодня представляет наибольшую актуальность для науки о транспорте [4].

Российские изготовители пока только подступают к переходу на новые системы ТО, который сопряжен с цифровизацией процедур их подготовки, выполнимой с одновременным наращиванием возможностей по отношению к зарубежным системам. Предлагается замещать наиболее часто выполняемый внеплановый «заявочный» ремонт планируемым предупредительным и, в дополнение к корректированию сервисных интервалов по интенсивности, учитывать еще условия эксплуатации и возраст АТС [5].

Проблемы предшествующей в российской практике подготовки систем технического обслуживания

В основе гибких систем ТО лежат три цифровые составляющие: программные средства накопления данных при испытаниях; методики и алгоритмы расчетов, регистрации и кодификации данных; программное обеспечение ведения баз данных при эксплуатации. Кроме того, задействуются программно-аппаратные средства контроля и телеметрической передачи данных.

Российская практика подготовки систем ТО опирается преимущественно на технологии накопления и обработки исходных данных вручную. Это влечет за собой ряд проблем:

- отсутствие в момент формирования системы ТО представительного массива данных для расчета оценок ресурсов новых компонент ов;
- неполный и не вполне эффективный учет вариаций условий эксплуатации АТС при планировании техобслуживания;
- существенные трудозатраты специалистов изготовителя для накопления вручную и обработки исходных данных по ресурсам компонентов и параметрам корректирования периодичностей ТО;
- запаздывание подготовки руководств (инструкций) по техобслуживанию от начала производства АТС новых моделей или даже подмена детального руководства общей характеристикой

конструктивного устройства новых моделей;

- трудозатраты тысяч специалистов и учетчиков на автотранспортных предприятиях на рутинное ручное планирование и отслеживание выполнения ТО по эксплуатируемому парку;
- слабое воздействие систем ТО на предотвращение отказов АТС даже при своевременном выполнении обслуживания.

Источником этих проблем является прежде всего отсталая технология преимущественно ручного накопления, обработки и обобщения результатов ресурсных испытаний и опытной эксплуатации до вывода в обращение АТС новых моделей [6]. Как результат — запоздалая передача в эксплуатацию неработающих руководств по ТО, а иногда одних только сервисных книжек без руководств.

Переход к новым системам ТО должен предваряться подготовкой их информационного обеспечения изготовителями. На новом витке развития российские системы ТО могут быть спроектированы существенно эффективнее зарубежных гибких систем. Но первое, что потребуются — это цифровизация самой подготовки изготовителями систем ТО.

Математические модели и алгоритмы подготовки

В основу подготовки систем ТО предлагается положить алгоритмы последовательного уточнения в процессе эксплуатации исходных оценок ресурсов компонентов, полученных при испытаниях и опытной эксплуатации, применительно к каждому конкретному компоненту [6]. Исходные данные для них сегодня рассчитывают как математические ожидания наработок до замены.

При эксплуатации доступно уточнение исходных оценок индивидуально по каждому компоненту расчетами статистических параметров распределений наработок и на их основе — доверительных интервалов ресурса. Точность оценок обеспечит учет темпа выработки ресурса каждого конкретного компонента по заранее накопленным данным о влиянии режима и условий его работы на износ.

Для подготовки систем ТО потребуется цифровой двойник процессов обеспечения работоспособности АТС — комплекс математических моделей и баз данных по неисправностям, отказам, проведенным ремонтам, наработкам компонентов при испытаниях и при эксплуатации [5, 7]. Он предназначен для

автоматической оценки режимов или условий работы, прогнозов остаточных ресурсов компонентов, комплексных оценок надежности АТС, планирования сопутствующего при ТО и предупредительного ремонта (рис. 2).

Цифровой двойник станет инструментом обмена данными уже применяемых программных средств учета сходов с линии, постановок на ремонт и ТО, простоев, трудоемкостей выполненных работ и затребованных запасных частей с новыми программными средствами. Он должен будет формировать систему показателей своевременности выполнения предупредительного или сопутствующего ремонта для упреждения отказов АТС (рис. 3).

Предварительно потребуется определить номенклатуры отказов АТС, статистические оценки ресурсов и закономерности влияния нагрузки, режимов или условий работы на износ схожих по его характеру компонентов. Затем, уже при эксплуатации, необходимо автоматизировать регистрацию ресурсов компонентов по данным автосервисных предприятий.

Уточнение полученных при испытаниях среднеарифметических оценок ресурсов статистическими методами в сочетании с индивидуализацией по компонентам и АТС сделает возможным планируемый предупредительный ремонт по этим оценкам без многократных проверок при очередных ТО.

Для цифровизации подготовки систем техобслуживания необходимы следующие разработки:

- программные средства накопления изготовителями массивов числовых исходных данных по неисправностям, заменам и ресурсам компонентов;
- методики и алгоритмы расчетов оценочных параметров;
- алгоритмы регистрации, кодификации, идентификации и импортирования данных для ведения изготовителями реляционных баз данных;
- базы данных, необходимые для расчетов основных нормативов и их индивидуального корректирования по АТС.

Должны накапливаться следующие массивы данных по моделям или платформам АТС: номенклатура компонентов, заменяемых при ТО и ремонте; трудоемкости ремонта (замены) компонентов; даты установки и снятия компонента с АТС для замены или ремонта; наработки до ремонта (замены) по номенклатуре компонентов.

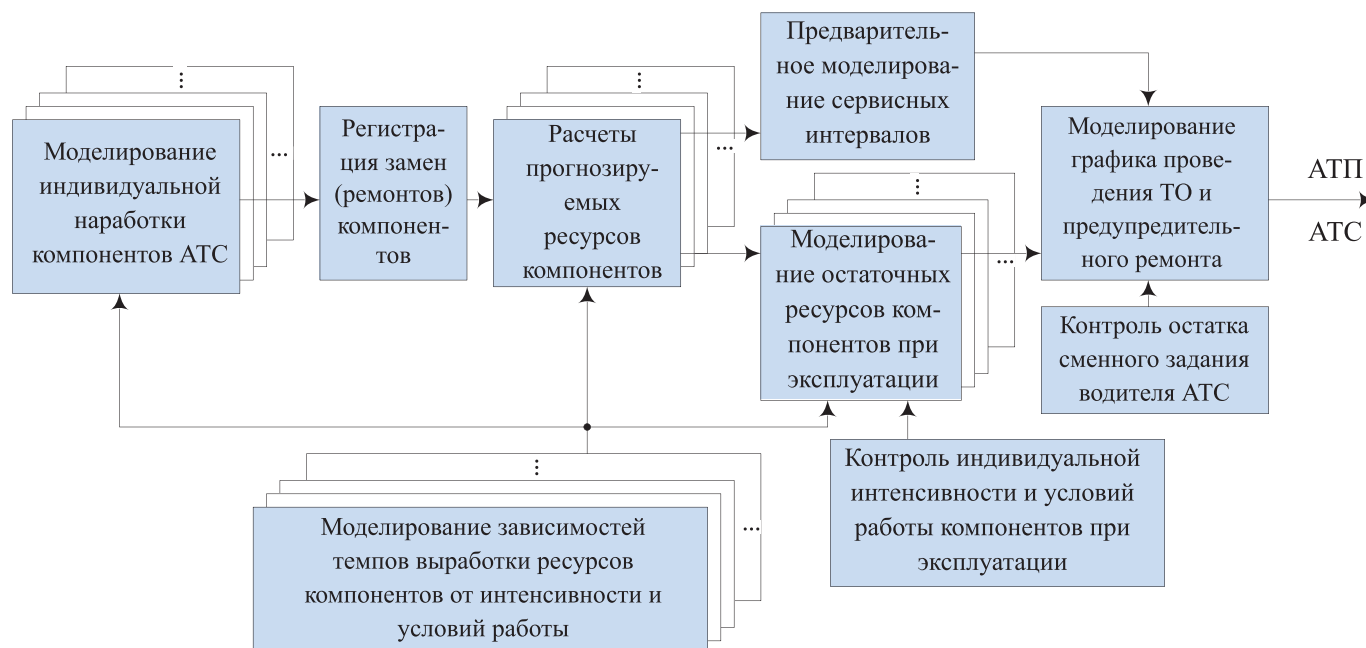


Рис. 2. Инструментарий подготовки систем технического обслуживания – цифровой двойник процессов обеспечения работоспособности автотранспортных средств

Для предлагаемого наращивания функций зарубежных гибких систем, сопутствующего цифровизации их подготовки, дополнительно потребуются массивы данных, предварительно нарабатываемые изготовителями:

- номенклатура и правила кодификации неисправностей, приводящих к отказам АТС и выявляемых по сочетаниям «ошибок» OBD и внешним признакам;
- зависимости темпа выработки ресурса (износа) компонента от режима работы и условий эксплуатации;
- оценки остаточных ресурсов АТС от момента выявления неисправности

до отказа по номенклатуре неисправностей.

Для цифровизации подготовки систем ТО необходимы следующие алгоритмы:

- расчет основных статистических параметров распределения наработок по моделям компонентов и АТС и определение на их основе исходных оценок их ресурсов;
- расчет наработок до ремонта (замены) компонентов при эксплуатации;
- расчет уточненных оценок ресурсов по моделям компонентов;
- отслеживание остатка сменного задания и ресурса АТС до ближайшего ТО;

- идентификация неисправностей по сочетаниям их внешних признаков и выявляемых OBD «ошибок».

Для предлагаемого наращивания функций зарубежных гибких систем потребуются новые алгоритмы импортирования данных в программное обеспечение сервисной информационной системы ТО: из бортовых средств OBD локальной сети АТС; из заявок на ремонт или заказ-нарядов, оформляемых информационной системой автотранспортных предприятий или станций техобслуживания; из требований на получение запасных частей для ремонта или ТО со складов автотранспортных предприятий или станций техобслуживания.

Указанные программные средства сервисной информационной системы изготовителя должны при подготовке системы ТО поддерживать ведение следующих баз данных:

- по номенклатуре компонентов по моделям АТС;
- по кодификатору неисправностей, вызывающих отказ АТС, сопровождающим неисправности «ошибкам» OBD и внешним признакам по моделям компонентов и АТС;
- операций ремонта и ТО компонентов и их трудоемкостей;
- реализаций наработок компонентов до ремонта (замены) по их моделям;
- оценок остаточного ресурса АТС от выявления «ошибки» OBD или внешнего признака неисправности по моделям компонентов.

При последующей эксплуатации системы ТО программные средства сервис-



Рис. 3. Предлагаемая система показателей, формируемых цифровым двойником обеспечения работоспособности автотранспортных средств. ТСМ – топливо-смазочные материалы.

Требуемое программное обеспечение

Программные средства расчетов	Базы данных
На этапе подготовки исходных данных	
Исходные оценки базовых ресурсов компонентов при испытаниях и опытной эксплуатации. Исходное распределение замен компонентов по видам ТО с учетом ресурсов и трудоемкостей	Компоненты по моделям АТС. Неисправности и их признаки. Реализации наработок компонентов. Базовые ресурсы компонентов. Операции ремонта и ТО компонентов и их трудоемкостей. Оценки остаточного ресурса от выявления неисправности до отказа
Зависимости износов компонентов от сочетаний нагрузки, режимов и условий их работы	Дискретные оценки износа компонентов в зависимости от нагрузки, режимов и условий работы
На этапе планирования ТО и ремонта	
Скорректированные сервисные интервалы сообразно предвидимым условиям, интенсивности работы и степени износа АТС	Ориентировочные планируемые даты постановок АТС на ТО
На этапе выполнения транспортной работы АТС	
По идентификации неисправностей, их признаков и остаточного ресурса АТС до отказа. Наработки компонентов в размерности пробега АТС, времени и специфического параметра с учетом фактических условий эксплуатации. Наработки до выявления признаков неисправностей	Остатки сменного задания и ресурса до ближайшего ТО от момента выявления неисправности по моделям компонентов. Наработки до появления признаков неисправностей. Уточненные даты планируемых постановок АТС на ТО или ремонт
На этапе постановки АТС на ТО или ремонт	
Учет наработок до ремонта (замены) компонентов при ремонте и ТО	Уточненные оценки остаточных ресурсов от выявления неисправности до отказа АТС. Нарботки до замены (ремонта) компонентов в размерностях времени, пробега и специфического показателя
Уточнение оценок базовых ресурсов компонентов по накапливаемым реализациям наработок	Уточненные при ремонте и ТО оценки ресурсов заменяемых компонентов

ной информационной системы изготовителя должны поддерживать ведение следующих баз данных:

- реализаций наработок компонентов до ремонта (замены) для конкретных экземпляров АТС;

- уточненных ресурсов компонентов по их моделям;
- остатков сменного задания и ресурса до ближайшего ТО от момента выявления «ошибки» OBD или внешнего признака неисправности по моделям компонентов.

Индивидуализация моделирования ресурсов по компонентам АТС будет более адекватна изменениям их износа, чем обобщающая эти износы жесткая модель корректирования сервисных интервалов гибких систем. Для подготовки систем ТО потребуются программные средства, показанные в *таблице*.

Предлагаемые новые функции систем техобслуживания

В целях упреждения отказов, сходов с линии и минимизации связанных с ними нерациональных затрат и простоев в ремонте предлагается наделение гибких систем ТО новыми функциями (*рис. 4*).

Планирование предупредительного ремонта предлагается в противодействие последствиям отказов, уверенно прогнозируемых по уточняемым при эксплуатации оценкам индивидуальных ресурсов компонентов и не столь многочисленных отказов, вызываемых постепенным нарастанием неисправностей до отказа АТС и сопровождающихся упреждающими признаками.

Для своевременности предупредительных замен компонентов по оценкам их ресурса без промежуточных проверок предлагается планировать их по индивидуальным для разных компонентов параметрам наработки, корректируемым по зависимостям износа от нагрузки, режима или условий работы компонента [8].

Например, износ двигателя внутреннего сгорания, его агрегатов и трансмиссии точнее оценивается суммарным числом оборотов; компонентов системы пуска — числом попыток пуска; электронных компонентов — продолжительностью их включенного состояния в спящем и рабочем режимах; тормозной системы — числом торможений; узлов подвески, шин, колес и рулевого управления — пробегом АТС; механизмов

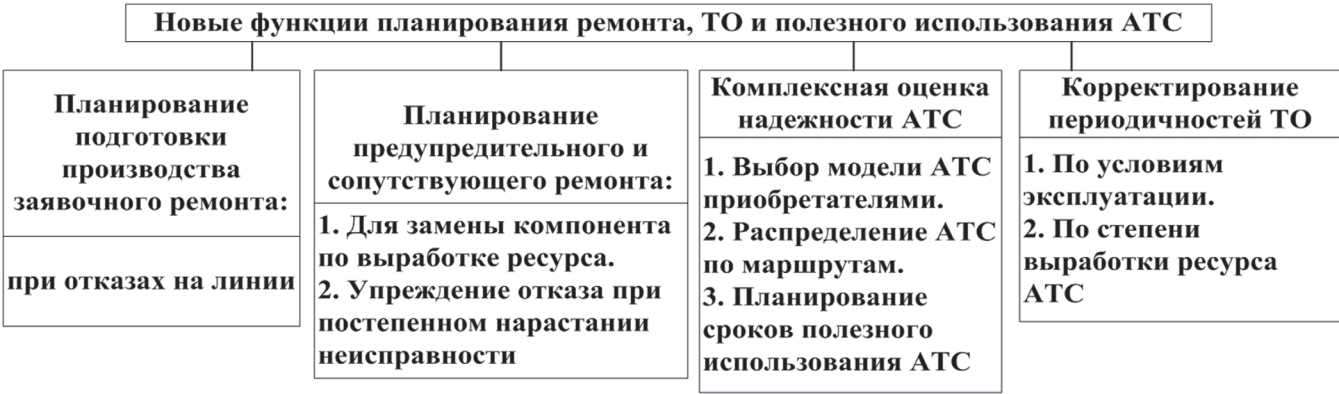


Рис. 4. Новые функции планирования ремонта, технического обслуживания и полезного использования автотранспортных средств



Рис. 5. Информационное обеспечение упреждающего ремонта при постепенном нарастании неисправностей

запирания дверей кузова — числом их срабатываний.

При этом нагрузку на двигатель внутреннего сгорания наиболее близко отражает сочетание показателей разрежения на впуске (для атмосферных бензиновых двигателей) или объема всасываемого воздуха (компрессорные двигатели внутреннего сгорания и дизели) и частоты вращения коленчатого вала. Нагрузку на узлы подвески, детали кузова и креплений агрегатов характеризует среднестатистическая амплитуда вертикальных вибраций поддрессоренной массы АТС. Условия работы электронных компонентов, аккумуляторной батареи и системы пуска отражает наружная температура, а коробки передач и сцепления — среднестатистическая за установленный период скорость движения.

Цифровизацию расчетов выработок ресурсов компонентов облегчит квантование параметров их наработки, режима, нагрузки или условий работы программными средствами бортовой локальной сети АТС¹. Для упреждения отказов предупредительным или сопутствующим ремонтом предложено планирование остаточного ресурса компонента в моменты выявления постепенно развивающихся неисправностей [8]. Накопление, уточнение и сопоставление таких оценок с остаточным размером сменного задания позволит выбирать проект решения: выполнять предупредительный ремонт или продолжать работу транспортного средства (рис. 5).

¹ Патент RU2807793C1. Способ автоматизированного определения моментов замены компонентов транспортных средств / С. М. Мороз. Заявл. 12.04.2024, опубл. 21.11.2024.

Для противодействия дорожным отказам и выбора приобретателями более надежных моделей АТС применима комплексная оценка их надежности по величине средней продолжительности работоспособного состояния. Она основана на расчете наработок между последовательными постановками на ремонт или ТО программными средствами авторемонтных предприятий.

Закключение

Повышение надежности АТС путем совершенствования технического обслуживания ставит российских изготовителей перед созданием гибких систем ТО (электронных сервисных книжек). Цифровизация их подготовки служит условием и наиболее затратной составляющей перехода на новые системы.

Копирование функций зарубежных систем ТО без их наращивания нерационально, ведет к технологическому отставанию и отказу от преимуществ прежней планово-предупредительной системы.

Наиболее актуально для будущей системы ТО освоение упреждения отказов предупредительным ремонтом. Его планирование целесообразно вести по отсчетам наработок компонентов одновременно по нескольким параметрам, наиболее точно отражающим их износ, и по оценкам остаточного ресурса АТС в моменты выявления постепенно нарастающих неисправностей.

Эффект от цифровой подготовки систем ТО состоит в сокращении простоев и объемов заявочного ремонта до минимально необходимых для устранения внезапных непрогнозируемых отказов.

Литература

1. Черняев И. О. О необходимости и механизме формирования систем технической эксплуатации автотранспортных средств на основе непрерывного контроля их технического состояния // Известия Санкт-Петербургского гос. аграрного ун-та. 2019. № 57. С. 167–172.
2. Разговоров К. И. Повышение эффективности системы автотехобслуживания // Автомобильная промышленность. 2021. № 3. С. 18–32.
3. Денисов А. С., Феклин Е. В. Совершенствование управления техническим состоянием пассажирского парка мегаполиса. // Грузовик. 2020. № 6. С. 21–25.
4. Козин Е. С. Адаптивное управление технической эксплуатацией автомобилей на предприятиях автомобильного транспорта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Орел: Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева, 2025. 42 с.
5. Мороз С. М. Цифровой двойник обеспечения работоспособности автотранспортных средств для планирования ремонта и ТО // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 6 (107). С. 103–114.
6. Черняев И. О., Евтюков С. А. Реализация непрерывного контроля условий эксплуатации транспортных средств для коррекции режимов их технического обслуживания // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики (IPDME-2020): Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 23–24 апреля 2020 г. СПб.: Санкт-Петербургский горный ун-т, 2020. С. 818–824.
7. Денисов А. С., Кувурин И. Ю. Цифровые двойники как основа цифровой трансформации технической эксплуатации автомобилей в рамках четвертой технологической революции // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2020. № 3 (42). С. 165–168.
8. Малин И. С., Мороз С. М. Противодействие дорожным отказам посредством реализации методики оценок запаса работоспособности автобусов // Вестник МАДИ. 2023. № 4 (75). С. 100–106.