

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТА И ТО

DIGITAL TWIN OF VEHICLE PERFORMANCE PROVISION FOR PLANNING REPAIR AND MAINTENANCE WORK

Предлагается проект создания цифрового двойника обеспечения работоспособности автотранспортных средств, предназначенного для наращивания функций гибких систем технического обслуживания. В числе новых функций будут планирование упреждающей подготовки производства ремонта и замен компонентов при выработке ресурса и при выявлении приводящей к отказу неисправности, обобщенная оценка надежности автотранспортного средства и дополнительное корректирование периодичности технического обслуживания. Их реализацию цифровой двойник обеспечит взаимодействием информационных систем сервисных сетей изготовителей, автосервисных предприятий и бортовых локальных сетей автотранспортных средств.

Ключевые слова: автотранспортное средство, планирование, ремонт, техническое обслуживание (ТО), отказ, неисправность, наработка, гибкая система ТО.

A project is proposed aimed at creating a digital twin of vehicle performance provision designed to expand the functions of flexible maintenance systems. The new functions will include planning the proactive preparation of production of application repairs and replacement of components when the resource is exhausted and when a gradually increasing malfunction is detected, a generalized assessment of the reliability of a motor vehicle and additional adjustment of the frequency of maintenance. The implementation of these functions will be ensured by the digital twin through the interaction of information systems of service networks of manufacturers, car service enterprises and on-board local networks of motor vehicles.

Keywords: motor vehicle, planning, repair, maintenance, failure, malfunction, operating time, flexible maintenance system.

Введение

Сервисные сети ведущих мировых изготовителей автотранспортных средств (АТС) перешли от ТО по сервисным книжкам к гибким системам ТО [1]. Гибкие системы вводились для защиты гарантийных служб изготовителей от расходов по ремонтам, вызванных небрежной или излишне жесткой эксплуатацией гарантийных АТС. Эти системы корректируют периодичность ТО по сигналам датчиков АТС и передают данные по каналам телеметрии в информационные системы автотранспортных предприятий

(АТП), станций техобслуживания (СТО) и сервисной сети изготовителя¹.

Автоматизируя планирование ТО, зарубежные гибкие системы не затрагивают выполнение ремонта, не используют данные бортовых средств диагностирования *OBD* (*On Board Diagnostics*). Отсюда наработка на отказ в 2–5 раз меньше минимальной периодичности ТО и сокращение в 6–8 раз наработок на отказ и на сход с линии по мере выработки ресурса [2]. Зарубежные системы

¹ Техническое обслуживание автомобилей Volkswagen. URL: <http://vw-korsgroup.ru/owners/service/service/>

не корректируют нормативы ТО по условиям эксплуатации и по степени выработки ресурса АТС. Это снижает профилактическое воздействие ТО, повышая частоту отказов [3, 4].

Ресурсы компонентов в известных системах ТО отсчитываются по пробегу или времени, что плохо коррелирует с динамикой износа большинства компонентов [5]. Разброс априорных расчетных оценок ресурсов по пробегу не обеспечивает своевременность замен компонентов без промежуточных проверок, а погрешности ведут к отказам еще до замены или к заметному недоиспользованию ресурса [6–8].

Сервисные сети российских изготовителей пока не освоили гибкие системы ТО, что упрощает возможность вместе с воспроизведением функций зарубежных систем наращивать применение этих гибких систем в интересах изготовителей и приобретателей АТС. Помимо прочего, это радикально повысит заинтересованность в послегарантийных услугах сервисных сетей.

В рамках реализуемой на автомобильном транспорте смешанной стратегии технической эксплуатации, именуемой эксплуатацией до отказа, остройшую проблему представляют отказы АТС, в том числе и дорожные. Известными системами ТО и ремонта, включая и гибкие системы, она не решается. Поэтому целью развития гибких систем ТО целесообразно определить противодействие отказам.

Для решения исходной проблемы в данной работе ставятся задачи исследования возможностей цифровизации технической эксплуатации и развития гибких систем ТО для упреждения отказов возможно большей части компонентов АТС планируемым предупредительным ремонтом, который предусмотрен российской планово-предупредительной системой ТО и ремонта, но на практике сравнительно редко используется.

Методы

Фундаментом всех систем ТО и ремонта служат фиксированные среднестатистические оценки ресурсов компонентов АТС. Учет изменений их работоспособности не ведется ни при выполнении транспортной работы, ни при планировании ТО, а последствия этих изменений выявляются уже в ходе ремонта. Однако для предупреждения отказов необходим как раз учет изменения работоспособности компонентов. И так как планированию поддается далеко не всякий ремонт, рассмотрим новые возможности для упреждения отказов.

В целях противодействия отказам, сходам с линии, нерациональным затратам и непроизводительным простоям в ремонте предлагается наделение гибких систем новыми функциями (рис. 1).

Предлагаемое планирование будет разными средствами противодействовать последствиям трех потоков отказов:

- наиболее многочисленным непрогнозируемым и плохо прогнозируемым отказам, по которым возможно планировать лишь упреждающую подготовку производства непланового ремонта;
- меньшей части отказов, прогнозируемых по накапливаемым априорным оценкам индивидуальных ресурсов компонентов;
- несколькими десятками видов отказов, вызываемых неисправностями с постепенным характером развития до отказа АТС (далее — постепенно нарастающими неисправностями), сопровождающихся упреждающими признаками.

Упреждающая подготовка производства ремонта, начиная от выявления отказа и передачи данных о нем на АТП, уже практикуется на предприятиях, поддерживающих высокую культуру эксплуатации, например в ГУП «Мосгортранс».

Предупредительные замены компонентов по оценкам их ресурса без промежуточных проверок возможны только при условии по-

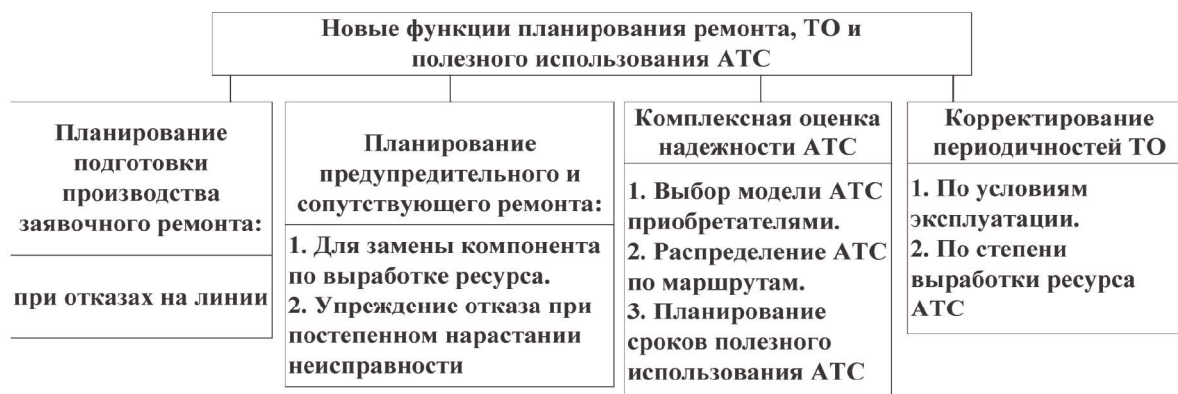


Рис. 1. Новые функции планирования ремонта, ТО и полезного использования АТС

вышения точности оценок [9]. Причем выполнимость таких проверок ограничена менее чем половиной отказов из-за постепенного нарастания неисправностей. Для повышения точности оценок ресурса предлагается планировать предупредительные замены на новой основе — не по единому параметру, а по индивидуальным для разных компонентов параметрам наработки, корректируемым по предварительно устанавливаемым зависимостям износа от нагрузки, режима или условий работы компонента. Корректируемый параметр индивидуальной наработки точнее отражает износ конкретного компонента, чем пробег АТС, и в отличие от наработки может именоваться **выработкой ресурса**.

Для узлов и агрегатов выработка их ресурса осредняет износы отдельных деталей в их составе, но и при этом будет более адекватна индивидуальному ресурсу каждого узла, чем пробег АТС.

Например, износ ДВС, его агрегатов и трансмиссии более точно оценивается суммарным числом оборотов [10]; компонентов системы пуска — числом попыток пуска; электронных компонентов — продолжительностью их включенного состояния в спящем и рабочем режимах; тормозной — числом торможений; узлов подвески, шин, колес и рулевого управления — пробегом АТС; механизмов запираания дверей кузова — числом их срабатываний [13].

Нагрузку на ДВС наиболее близко отражает сочетание показателей разрежения на впуске (для атмосферных бензиновых ДВС) или объема всасываемого воздуха (компрессорные ДВС и дизели) и оборотов коленчатого вала. Нагрузку на узлы подвески, детали кузова и креплений агрегатов характеризует среднестатистическая амплитуда вертикальных вибраций подрессоренной 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 [13].

Для цифровой обработки целесообразно разделить диапазоны изменения каждого параметра P_i нагрузки и Q_j режима или условий работы на 3–6 отрезков, сообразно темпу износа компонента в каждом из них, и для каждого отрезка назначить коэффициенты p_i и q_j корректирования наработки. Тогда коэффициенты p_i нагрузки и q_j режимов или условий работы будут выбираться бортовой локальной сетью АТС в соответствии с контролируемым уровнем соответствующих параметров P_i и Q_j в непродолжительных интервалах t_r наработки S_{knr} k -го компонента.

Тогда выработка ресурса X_{km} k -го компонента за M интервалов t_r времени с учетом режима, нагрузки или условий работы составит [11]

$$X_{KM} = \sum_{r=1}^M S_{kmr} p_{inr} q_{jnr}; T_0 = Mt_r, \quad (1)$$

где p_{inr} и q_{jnr} — коэффициенты влияния нагрузок и условий работы на n -й параметр наработки k -го компонента в r -й интервал времени; M — количество интервалов t_r за время T_0 выработки ресурса.

Для упреждения отказов, вызываемых постепенным развитием неисправностей, предложено планирование предупредительного или сопутствующего ремонта по точечным оценкам запаса работоспособности компонента в момент выявления неисправности [12]. Накопление, уточнение и сопоставление таких оценок с остаточным размером сменного задания позволят выбирать проект решения: выполнять предупредительный ремонт или продолжать эксплуатацию АТС (рис. 2).

Органолептические признаки неисправностей могут фиксироваться с приборной панели АТС, а количественные признаки даст *OBD*².

На АТС для этого потребуются новые технические средства:

1) фиксации водителем с приборной панели АТС органолептических признаков неисправностей с отметками пробега, даты и времени;

2) программно-аппаратные средства отсчета остатка сменного задания для АТС и ресурса до ближайшего ТО на момент первого выявления признаков постепенно нарастающей неисправности.

Кроме того, для информационных систем сервисных сетей и автосервисных предприятий потребуются новые программные средства:

1) подготовки номенклатуры постепенно нарастающих неисправностей по параметрам соответствия момента выявления их признаков датам постановки на ремонт или

ТО, трудоемкостям и кодам выполненных работ и затребованных запасных частей;

2) переноса из *OBD* в бортовые устройства телеметрии кодов выявленных «ошибок» (количественных признаков неисправностей);

3) определения запаса работоспособности АТС;

4) выбора проекта управленческого решения для технических руководителей предприятия и водителя при выявлении неисправности.

Идентификация неисправностей и сопоставление запаса работоспособности АТС с остаточным размером сменного задания и с ресурсом до ближайшего ТО выполняемым программным обеспечением автосервисных предприятий [13].

Для противодействия дорожным отказам и выбора приобретателями более надежных моделей АТС предлагается комплексная оценка надежности АТС. Изготовители не предоставляют пользователям данные по надежности, а на АТП при распределении по маршрутам учитывают «возраст» АТС, а не их запас работоспособности. Владельцам автомобилей личного пользования доступен лишь ресурс до ближайшего ТО, а не показатели надежности. В результате дорожные отказы и вызванные ими потери — это заурядные события эксплуатации [13].

Для комплексной оценки надежности непригодны ни наработки на отказ, ни удельные простои в ТО и ремонте или коэффициенты готовности, оперативной готовности и коэффициент технического использования (на автотранспорте именуемый коэффициентом технической готовности)³ [13].

Предлагаемая методика автоматической комплексной оценки надежности АТС по величине средней продолжительности работоспособного состояния (стандарт МЭК IEC 60050-692(2017)) основана на расчете нара-

² SAE J2012. Standard: Diagnostic Trouble Code Definitions. Issued: 1992-06 SAE International Inc., 2012. URL: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/sae.j2012.2002.pdf>

³ ГОСТ 27.102–2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2022. 18 с.



Рис. 2. Информационное обеспечение упреждающего ремонта при постепенном нарастании неисправностей

боток между последовательными постановками на ремонт или ТО. Возможные алгоритмы вычисления оценок по этой методике уже публиковались [14], эта методика дополнит показатели, предлагаемые ранее и уже используемые при списании АТС [6, 15].

Предлагаемая оценка привязана не к условиям эксплуатации, а к надежности АТС, в том числе и АТС личного пользования. Необходимый для ее применения учет постановок на ремонт либо ТО выполним применяемыми программными средствами автосервисных предприятий или при оснащении АТС дополнительными техническими средствами [16]. Регистрация исходных данных и расчеты показателей удобны для автоматизации в том числе и по АТС, обслуживаемым несколькими автосервисными предприятиями или в отрыве от баз обслуживания.

Планирование ТО, реализуемое зарубежными гибкими системами, предлагается дополнить индивидуальным корректировани-

ем периодичности ТО, в том числе большей трудоемкости, в зависимости от условий эксплуатации и «возраста» АТС. Это уже не раз предлагалось российскими исследователями [17, 18].

При эксплуатации достаточно будет фиксировать программными средствами наработку АТС в пределах каждого района и соответствующим образом корректировать каждый отрезок выполненной наработки, а суммированием таких отрезков формировать периодичность ТО.

Корректирование периодичности ТО, в том числе и большой трудоемкости, может осуществляться, например, по сравнительно простым алгоритмам, предлагаемым ранее [13].

Для планирования упреждающей подготовки производства непланового ремонта достаточно снабдить бортовую локальную сеть интерактивными средствами ввода с приборной панели и передачи по каналам

телеметрии данных об отказе в информационных системах АТП [13]. Лишь предварительная подготовка номенклатуры отказов с их признаками потребует наращивания программного обеспечения сервисных сетей по учету отказов, постановок на ремонт и выполненным работам.

Наиболее существенное наращивание программного обеспечения необходимо для планирования замен компонентов по накапливаемым показателям изменений их работоспособности. С этой целью предлагается создание **цифровых двойников обеспечения работоспособности АТС**. Под таким двойником понимается комплекс математических моделей и баз данных по неисправностям, отказам, процессам ремонта и ТО, наработкам компонентов АТС при эксплуатации и при испытаниях до эксплуатации, предназначенных для оценки и прогнозов выработок ресурсов, режимов или условий работы, износов и остаточных ресурсов, комплексных оценок надежности АТС. В такой трактовке предлагаемые двойники станут важнейшим компонентом ранее уже моделируемых более общих цифровых двойников технической эксплуатации автомобилей [19–21].

Предлагаемые цифровые двойники обеспечат ведение реляционных баз данных, выполнение прогнозов, выбор моментов предупредительных замен, а также ТО и сроков полезного использования АТС (рис. 3).

Цифровой двойник осуществит своими программными и программно-аппаратными средствами взаимодействие информационных систем сервисных сетей изготовителей, автосервисных предприятий и бортовых локальных сетей АТС. Он станет инструментом обмена данными уже широко применяемых программных средств учета сходов с линии, постановок на ремонт и ТО, простоев, трудоемкостей выполненных работ и затребованных запасных частей с новыми программными средствами расчета и накоп-



Рис. 3. Цифровой двойник обеспечения работоспособности АТС

ления индивидуальных наработок компонентов АТС и показателей их нагрузки, режимов или условий работы, фиксации признаков неисправностей и остатка сменного задания. Совокупность этих показателей даст исходные данные для оценок работоспособности АТС от начала эксплуатации до списания при планировании предупредительного и сопутствующего ремонта (рис. 4).

Для накопления указанных исходных данных по эксплуатируемым АТС потребуется предварительно определить номенклатуры отказов АТС, статистические оценки ресурсов компонентов и закономерности влияния нагрузки, режимов или условий работы на износ однотипных по характеру износа компонентов. Это накопление выполнимо уже применяемыми программными средствами информационных систем сервисных сетей изготовителей. Затем, уже при эксплуатации, достаточно будет автоматизировать регистрацию указанных показателей выработок ресурсов компонентов. Кроме того, потребуется задействовать применяемые базы данных автосервисных предприятий по учету замен, сходов с линии и затрат на эксплуатацию АТС.

Цифровой двойник своими математическими моделями автоматизирует предварительную подготовку и уточнение при эксплуатации ресурсных оценок, пополнение и взаимодействие реляционных баз данных и расчеты показателей технического состоя-



Рис. 4. Структура информационной базы цифрового двойника обеспечения работоспособности АТС



Рис. 5. Показатели, формируемые цифровым двойником обеспечения работоспособности АТС

ния, ресурсных оценок и маркеров полезного использования АТС (рис. 5).

Ресурсные оценки для планирования предупредительного ремонта будут сформированы программными средствами информационных систем сервисных сетей изготовителей и автосервисных предприятий с использованием исходных данных от бортовых локальных сетей АТС.

Результаты

Упреждение отказов возможно для большей части компонентов АТС предупредительным ремонтом, достижимо моделированием цифровыми двойниками изменений работоспособности АТС. При этом под работоспособностью АТС подразумевается их техническое состояние, ресурсы компонентов и динамика надежности. В основу пред-

лагаемого моделирования положено информационное обеспечение радикального повышения точности и индивидуализации прогнозируемых ресурсов компонентов, оценок условий их выработки и надежности при эксплуатации.

Изменения работоспособности АТС моделируются программными средствами информационных систем сервисных сетей и автосервисных предприятий. Для этого предложено задействовать программно-аппаратные средства бортовых локальных сетей АТС и средств телеметрической передачи данных на технологической основе наращивания функций гибких систем. Математические модели цифровых двойников будут воспроизводить во многом уже наработанные зависимости однотипных по характеру износа компонентов от сочетаний показателей их нагрузки, режима или условий работы и статистические прогнозы остаточных ресурсов. Эти зависимости, сведенные в реляционную базу данных, послужат для оценки индивидуальной выработки и прогноза ресурсов компонентов.

В качестве первоначальных оценок ресурсов компонентов доступны известные статистические оценки изготовителей, которые затем при эксплуатации предложено уточнять по автоматически регистрируемым цифровым двойником показателям индивидуальной выработки ресурсов каждого компонента. Именно индивидуальность оценок выработки ресурса компонентов отличает предлагаемый метод планирования предупредительных замен от выдвигаемых ранее предложений [22–23].

Применительно к неисправностям, приводящим к отказу АТС в результате их постепенного нарастания, предложено планировать предупредительный или сопутствующий ремонт по оценкам запаса работоспособности АТС в момент выявления неисправности. Для этого необходимо предварительно подготовить реляционную

базу данных по связям таких неисправностей с их количественными и органолептическими признаками и статистическими оценками запаса работоспособности АТС на момент выявления каждой неисправности. Цифровые двойники должны накапливать и уточнять указанные данные, а затем при эксплуатации путем сопоставления оценок запаса работоспособности АТС с остаточным размером сменного задания формировать проекты управленческих решений по выполнению предупредительного ремонта или продолжению работы.

Упреждение отказов АТС предупредительным ремонтом дополнит предлагаемая методика комплексной оценки надежности АТС для обоснования выбора приобретателями более надежных моделей АТС и распределения на АТП по маршрутам АТС с учетом их остаточного ресурса до отказа (то есть запаса работоспособности). Методика предусматривает комплексную оценку надежности АТС по величине средней продолжительности работоспособного состояния, рассчитанной по наработкам между последовательными постановками на ремонт или ТО. Реализация такой методики обеспечивается моделированием цифровыми двойниками изменений надежности каждого АТС при эксплуатации.

Обсуждение

Выдвинутое предложение по отсчетам ресурсов компонентов одновременно по нескольким параметрам, более точно отражающим износ разных компонентов, чем единый параметр пробега, применимо как для формирования регламентов ТО, так и для распространения на автомобильном транспорте предупредительного ремонта.

Создание цифровых двойников обеспечения работоспособности АТС послужит инструментарием для совместного решения ряда актуальных задач: сокращение до технологически достижимого уровня численности дорожных отказов и минимизация их

последствий, сокращение простоев в ремонте и затрат трудоемкости на контроль работоспособности АТС и ведение учета на АТП и у индивидуальных предпринимателей.

Составляющими эффекта от планирования предупредительных замен компонентов по оценкам их ресурса, адекватным износу, будут:

- 1) упреждение дорожных отказов предупредительным ремонтом;
- 2) минимизация потерь от недоиспользования ресурса компонентов;
- 3) включение предупредительных замен в пакет услуг по сервисным контрактам изготовителя;
- 4) минимизация цепного развития неисправностей.

Планирование предупредительных замен для устранения постепенно нарастающих неисправностей приведет к сокращению:

- 1) непроизводительных простоев АТС в ремонте и ТО;
- 2) затрат на оплату услуг дорожной техпомощи;
- 3) трудоемкости ведения учета на АТП, оценок ресурса АТС и поиска неисправностей перед ремонтом.

Предлагаемое дополнительное корректирование периодичности ТО по условиям эксплуатации и выработке ресурса АТС не потребует инвестиций и позволит вынести заметную часть работ из непланового, выполняемого по заявкам, в сопутствующий или предупредительный ремонт с соответствующим снижением затрат.

Выводы

Цифровизация изменений технического состояния и выработок ресурсов АТС и их компонентов обеспечит упреждение большей части отказов предупредительным ремонтом. Планирование предупредительного ремонта целесообразно вести по отсчетам ресурсов компонентов одновременно по нескольким параметрам, наиболее точно отражающим износ разных компонентов, и оце-

нивать запас работоспособности АТС в моменты выявления постепенно нарастающих неисправностей с учетом комплексных оценок надежности АТС.

Инструментарием подготовки предлагаемых оценок и планирования по ним предупредительного ремонта будет комплекс математических моделей и баз данных по неисправностям, отказам, наработкам и ресурсам компонентов АТС при эксплуатации и при испытаниях до эксплуатации, который представляет собой цифровой двойник обеспечения работоспособности АТС. Цифровые двойники дополняют и интегрируют программные средства учета современных информационных систем сервисных сетей изготовителей, автосервисных предприятий с источниками данных в бортовых локальных сетях АТС.

Эффект от применения предлагаемых методов планирования предупредительного ремонта состоит в сокращении простоев и объемов заявочного ремонта до минимально необходимых для устранения внезапных непрогнозируемых отказов. Это выведет на новый уровень заинтересованность авто владельцев в услугах фирменных сервисных сетей изготовителей в послегарантийный период.

Библиографический список

1. Разговоров К. И. Повышение эффективности системы автотехобслуживания // Автомобильная промышленность. 2021. № 3. С. 18–32.
2. Денисов А. С., Басков В. Н., Захаров В. П. Влияние периодичности профилактики на надежность автомобилей // Автотранспортное предприятие. 2011. № 1. С. 51–52.
3. Денисов А. С., Феклин Е. В. Совершенствование управления техническим состоянием пассажирского парка мегаполиса. // Грузовик. 2020. № 6. С. 21–25.
4. 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.

5. Сандан Н. Т., Евтюков С. А., Репин С. В. Влияние износа на изменение эксплуатационных свойств наземных транспортно-технологических машин в процессе эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 3 (68). С. 161–165. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-161-165.
6. Якунин Н. Н. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации. М.: Машиностроение-1, 2003. 178 с.
7. Репин С. В., Зазыкин А. В., Кротова Н. Н., Савельев А. В. Метод планирования ремонта транспортно-технологических машин // Строительные и дорожные машины. 2017. № 3. С. 53–59.
8. Бердников И. Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин: дис. ... канд. техн. наук. Чита, 2017. 217 с.
9. Мороз С. М. Повышение точности оценок работки и ресурса автомобильных компонентов в гибких системах ТО // Автомобильная промышленность. 2022. № 8. С. 32–34.
10. Пат. 2573548, Российская Федерация, МПК G01M 15/04. Способ точного определения сроков технического обслуживания двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / Н. С. Фищук. № 2013150040/06, заявл. 08.11.2013, опубл. 20.01.2016.
11. Мороз С. М. Новый метод оценок ресурса автомобильных компонентов // Грузовик. 2022. № 6. С. 32–39.
12. Малин И. С., Мороз С. М. Противодействие дорожным отказам посредством реализации методики оценок запаса работоспособности автобусов // Вестник МАДИ. 2023. № 4 (75). С. 100–106.
13. Мороз С. М. Разработка проекта развития гибких систем ТО // Автомобильная промышленность. 2024. № 2. С. 8–13.
14. Мороз С. М. Запас работоспособности — комплексный показатель надежности автотранспортных средств // Вестник МАДИ. 2020. № 3 (62). С. 36–42.
15. Денисов А. С. Теоретические основы определения ресурса агрегатов по технико-экономическому методу // Информационные технологии, системы и приборы в АПК — Агроинфо-2015: материалы 6-й Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 22–23 окт. 2015 г. Краснообск: Сибирский физико-технический ин-т аграрных проблем Россельхозакадемии, 2015. Ч. 1. С. 310–318.
16. Пат. 2745037, Российская Федерация, МПК G07C 5/00. Способ автоматического контроля сохранности работоспособности транспортных средств, сельскохозяйственных и дорожных машин / С. М. Мороз. № 2020107565, заявл. 19.02.2020, опубл. 18.03.2021.
17. Пат. 2748781, Российская Федерация, МПК G07C 5/08. Способ оперативной индивидуальной корректировки периодичности технического обслуживания автотранспортного средства / И. О. Черняев. № 2020125278, заявл. 21.07.2020, опубл. 31.05.2021.
18. 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.
19. Терентьев А. В., Евтюков С. С., Карелина Е. А., Куракина Е. В. Аналитические методы снятия неопределённости — основа цифровизации автотранспортного производства. СПб.: Петрополис, 2018. 208 с.
20. Terentyev A. V., Karelina M. Yu., Pavlovskaya A. A., Arifullin I. V., Karelina E. A. Methodological approach to digitalization of management processes in automobile and road complex // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control, DS ART 2019. Cholpon-Ata, 01 November 2019. Bristol: Institute of Physics Publishing, 2020. Vol. 832. 012069. DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012069.
21. Денисов А. С., Куверин И. Ю. Цифровые двойники как основа цифровой трансформации технической эксплуатации автомобилей в рамках четвёртой технологической революции // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2020. № 3 (42). С. 165–168.
22. Черняев И. О. Способ корректировки периодичности технического обслуживания транспортных средств на основе учета накопленного нагрузочно-воздействия // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 1 (84). С. 178–187. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-1-178-187.
23. Taysayev K., Terentyev A., Evtukov S., Arifullin I. Efficiency ratio assessment model for buses // XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). Transportation Research Procedia. St. Petersburg: SPbGASU, 2020. Vol. 50. Pp. 674–680. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.079.

References

1. Razgovorov K. I. *Povyshenie effektivnosti sistemy avtotekhhobsluzhivaniya* [Increasing the efficiency of

the automobile maintenance system]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automobile Industry*, 2021, no. 3, pp. 18–32.

2. Denisov A. S., Baskov V. N., Zakharov V. P. *Vliyanie periodichnosti profilaktiki na nadezhnost' avtomobiley* [The influence of periodicity of preventive maintenance on reliability of automobiles]. *Avtotransportnoe predpriyatie – Automobile Operating Company*, 2011, no. 1, pp. 51–52.

3. Denisov A. S., Feklin E. V. *Sovershenstvovanie upravleniya tekhnicheskimi sostoyaniem passazhirskogo parka megapolisa* [Improvement of management of the technical condition of passenger fleet in the megalopolis]. *Gruzovik – Truck*, 2020, no. 6, pp. 21–25.

4. Chernyaev I. O. *O neobkhodimosti i mekhanizme formirovaniya sistem tekhnicheskoy ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv na osnove nepreryvnogo kontrolya ikh tekhnicheskogo sostoyaniya* [About necessity and mechanism of forming the systems of technical operation of motor vehicles on the basis of continuous control of the technical condition]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gos. agrarnogo un-ta – Bulletin of St. Petersburg State Agrarian University*, 2019, no. 57, pp. 167–172.

5. Sandan N. T., Evtyukov S. A., Repin S. V. *Vliyanie iznosa na izmenenie ekspluatatsionnykh svoystv nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin v protsesse ekspluatatsii* [Influence of wear on the change of operational properties of the ground transportation-technological machines in the process of operation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2018, no. 3 (68), pp. 161–165. DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-3-161-165.

6. Yakunin N. N. *Metodologicheskie osnovy kontrolya i upravleniya tekhnicheskimi sostoyaniem avtomobiley v ekspluatatsii* [Methodological bases of control and management of technical condition of automobiles in operation]. Moscow, Mashinostroenie-1 Publ., 2003, 178 p.

7. Repin S. V., Zazykin A. V., Krotova N. N., Savelev A. V. *Metod planirovaniya remonta transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Method of planning the repair of transport-technological machines]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny – Construction and Road Machines*, 2017, no. 3, pp. 53–59.

8. Berdnikov I. E. *Razrabotka diagnostiko-informatsionnoy podsystemy tekhnicheskogo servisa dlya obespecheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti transportno-tekhnologicheskikh mashin*. Diss. kand. tekhn. nauk [Development of the diagnostic and information subsystem of technical service to ensure the operational reliability of transport-technological machines. PhD in Sci. Tech. diss.]. Chita, 2017, 217 p.

9. Moroz S. M. *Povyshenie tochnosti otsenok narabotki i resursa avtomobil'nykh komponentov v gibkikh sistemakh TO* [Increasing the accuracy of estimations of running time and resource of automobile components in flexible

systems of operation and maintenance]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automobile Industry*, 2022, no. 8, pp. 32–34.

10. Fishchuk N. S. *Sposob tochnogo opredeleniya srokov tekhnicheskogo obsluzhivaniya dvigatelya vnutrennego sgoraniya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of precise determination of maintenance terms of internal combustion engine and a device for its implementation]. Patent RF, no. 2573548, 2016.

11. Moroz S. M. *Noviy metod otsenok resursa avtomobil'nykh komponentov* [New method of resource estimation of automobile components]. *Gruzovik – Truck*, 2022, no. 6, pp. 32–39.

12. Malin I. S., Moroz S. M. *Protivodeystvie dorozhnym otkazam posredstvom realizatsii metodiki otsenok zapasa rabotosposobnosti avtobusov* [Counteraction to road failures by means of realization of methodology of estimating the serviceability reserve of buses]. *Vestnik MADI – Bulletin of MADI*, 2023, no. 4 (75), pp. 100–106.

13. Moroz S. M. *Razrabotka proekta razvitiya gibkikh sistem TO* [Development of a project for the development of flexible maintenance systems]. *Avtomobil'naya promyshlennost' – Automobile Industry*, 2024, no. 2, pp. 8–13.

14. Moroz S. M. *Zapas rabotosposobnosti – kompleksniy pokazatel' nadezhnosti avtotransportnykh sredstv* [Operability resource as a complex indicator of reliability of motor vehicles]. *Vestnik MADI – Bulletin of MADI*, 2020, no. 3 (62), pp. 36–42.

15. Denisov A. S. *Teoreticheskie osnovy opredeleniya resursa agregatov po tekhniko-ekonomicheskomu методу* [Theoretical bases of determination of aggregates resource by technical and economic method]. *Informatsionnye tekhnologii, sistemy i pribory v APK – Agroinfo-2015. Trudy 6-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Novosibirsk, 22–23 okt. 2015 g. Krasnoobsk* [Information technologies, systems and devices in agro-industrial complex – Agroinfo-2015. Proceedings of the 6-th Intern. sci.-pract. conf., Novosibirsk, October 22–23, 2015, Krasnoobsk]. *Sibirskiy fiziko-tekhnicheskii in-t agrarnykh problem Rossel'khozakademii* Publ., 2015, Pt. 1, pp. 310–318.

16. Moroz S. M. *Sposob avtomaticheskogo kontrolya sokhranyaemosti rabotosposobnosti transportnykh sredstv, sel'skokhozyaystvennykh i dorozhnykh mashin* [Method of automatic control of serviceability persistence of vehicles, agricultural and road machines]. Patent RF, no. 2745037, 2021.

17. Chernyaev I. O. *Sposob operativnoy individual'noy korektirovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtotransportnogo sredstva* [Method of operative individual adjustment of periodicity of maintenance of a motor vehicle]. Patent RF, no. 2748781, 2021.

18. Chernyaev I. O., Evtyukov S. A. *Realizatsiya nepreryvnogo kontrolya usloviy ekspluatatsii transportnykh*

sredstv dlya korrektsii rezhimov ikh tekhnicheskogo obsluzhivaniya [Implementation of continuous control of vehicle operating conditions for correction of their maintenance modes]. *Innovatsii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki: IPDME-2020. Trudy Mezhdunar. nauch.-prakt.-konf. Sankt-Peterburg, 23–24 aprelya 2020 g.* [Innovations and prospects of development of mining engineering and electro-mechanics: IPDME-2020. Proceedings of the Int. sci.-pract. conf., St. Petersburg, April 23–24, 2020]. St. Petersburg, Sankt-Peterburgskiy Gorniy Un-t Publ., 2020, pp. 818–824.

19. Terent'ev A. V., Evtyukov S. S., Karelina E. A., Kurakina E. V. *Analiticheskie metody snyatiya neopredelyonnosti — osnova tsifrovizatsii avtotransportnogo proizvodstva* [Analytical methods of uncertainty removal as a basis of digitalization of motor transport production]. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2018, 208 p.

20. Terentyev A. V., Karelina M. Yu., Pavlovskaya A. A., Arifullin I. V., Karelina E. A. Methodological approach to digitalization of management processes in automobile and road complex. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control*, DS ART 2019. Cholpon-Ata, 01 November 2019.

Bristol, Institute of Physics Publishing Publ., 2020, vol. 832, 012069. DOI 10.1088/1757-899X/832/1/012069.

21. Denisov A. S., Kuverin I. Yu. *Tsifrovye dvoyniki kak osnova tsifrovoy transformatsii tekhnicheskoy ekspluatatsii avtomobiley v ramkakh chetvyortoy tekhnologicheskoy revolyutsii* [Digital twins as the basis of digital transformation of technical operation of vehicles within the fourth technological revolution]. *Tekhnicheskoe regulirovanie v transportnom stroitel'stve — Technical Regulation in Transportation Construction*, 2020, no. 3 (42), pp. 165–168.

22. Chernyaev I. O. *Sposob korrektyrovki periodichnosti tekhnicheskogo obsluzhivaniya transportnykh sredstv na osnove ucheta nakoplennoy nagruzochnoy vozdeystviya* [Method of adjustment of periodicity of technical maintenance of vehicles based on the account of accumulated load impact]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov — Bulletin of Civil Engineers*, 2021, no. 1 (84), no. 178–187. DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-1-178-187.

23. Taysayev K., Terentyev A., Evtukov S., Arifullin I. Efficiency ratio assessment model for buses. *Proceedings of the XIV International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities (OTS-2020). Transportation Research Procedia*. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2020, vol. 50, pp. 674–680. DOI 10.1016/j.trpro.2020.10.079.