DOI: 10.24892/RIJIE/20250307

Информативность модулей телеметрии в оценке резервного ресурса коробки передач*

Севрюгина Н.С., Шевченко М.А., Артемьев В.Н.
Московский политехнический университет
г Москва, Российская Федерация
n.s.sevryugina@mospolytech.ru

Аннотация. **Дана оценка перспективности применения технологий модульного агрегирования при конструировании транспортных средств. Рассмотрены коробки передач технологических машин по уровню взаимозаменяемости и признакам функционально – параметрической согласованности. Выполнено обоснование методов выбора варианта типа коробки передач не только по технологической совместимости, но и по степени изменения динамических нагрузок и отклонений от нормальных условий эксплуатации. Выявлена проблема недостаточной информативности систем телеметрии для транспортных средств с модернизированной агрегатной компоновкой, позволяющей оценивать ресурсных резерв агрегата и контролировать техническое состояния в режиме реального времени. Предлагается использовать телеметрию контроля технического состояния с универсальной системой управления в инвариантности временного лага, для конструктивного агрегата: коробка передач. Математическое описание создаваемых алгоритмов контроллеров, позволяющих получать данные и принимать решение по динамике изменения состоянии системы предлагается решить путем задания многозначности значений матрицы обратной связи, описывающей динамику замкнутой системы используя формулу Аккермана. Коробки передач транспортных средств, являясь сложно-структурированными системами в модели снижения динамических нагрузок на эксплуатационном этапе жизненного цикла требуют детальной проработки каждого элемента конструкции, для чего предлагается применить инструменты цифрового моделирования, создав цифровой образ – системный виртуальный двойник. Установлено, что при обеспечении точности алгоритма цифрового двойника требуется учитывать вариативность факторного влияния в процессе управления и виртуального программирования инструментов контроля параметрической характеристики коробки передач в режиме динамических нагрузок, аналитически включающих эксплуатационную интенсивность функционирования.**

Ключевые слова: **транспортные средства, коробка передач, взаимозаменяемость, телеметрия, информативность, ресурс, функциональность.**

Введение

В инновациях совершенствования технических систем следует выделить тенденции конструктивной оптимизации, что возможно при достижении производства определенного уровня зрелости. Этап интегрированной архитектуры для транспортных средств заключается в широком внедрении электронных и цифровых компонентов, что позволило интерпретировать конструктивные элементы в формат мехатронных систем. Насыщенность конструктивного разнообразия позволила совершить переход от интегрированной архитектуры к модульной [1-2].

Модульный принцип проектирования транспортных средств дает возможность имея базовые компоненты, проводить вариативную замену агрегатных модулей с задаваемыми потребителем характеристиками, как по признакам размерности, так и функциональности, что расширяет срок службы единичного транспортного средства в целом и обеспечивает ресурсосбережение как природной среды, так и для человека [2-5].

Как показывают исследования, при проектировании нового транспортного средства на базовой платформе, т.е. сборка из агрегатных модулей-блоков, обеспечивается сокращение на 50% капиталовложений, не требуется глобального перевооружения заводской инфраструктуры.

Также, модульное проектирование позволяет решить задачу управления повышенной сложности структурированных агрегатов и систем автомобиля. Дополнительно обеспечивает индивидуализацию выпускаемых транспортных средств, за счет вариативности включения оригинальных компонентов стандартизированных модулей [6].

В качестве примера можно отметить автопроизводителя Fiat, перешедшего к компонентной сборке однотипных стандартизированных узлов, которые унифицированы платформой на базе автомобиля Tipo. В 2000 году из-за понимания необходимости снижения сложности производственных процессов, практически все автопроизводители начали переход к технологиям сборки на базе модульных платформ [7].

Несмотря на имеющиеся научные разработки ведущих ученых в области развития модульного проектирование следует отметить недостаточно широкое освещение данного направления. В частности, следует выделить работы таких ученых, как Александер, предложивший шаблоны проектирования, Бранкамп и Герман дали иерархическое описание модульного конструирования, свой вклад в машиностроительной отрасли внес Б.М. Базров, а Ульф Гренадер сформулировал теорию паттернов, дающую возможность проводить модульное проектирование в цифровых средах [8].

Расширение технологий агрегирования на единых платформах при конструировании транспортных средств ставит дополнительную задачу получения достоверной информации о конечных значениях технических характеристик для понимания функциональной достаточности разработки. Это в свою очередь требует включения в систему дополнительного аппарата, модулей телеметрии контроля технического состояния транспортного средства с пониманием их ресурсного резерва в конкретных условиях эксплуатации [9].

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", https://icie-rus.org

Проведенные аналитические исследования и имеющийся опыт в рассматриваемой сфере на уровне научно-практических разработок оптимизационных моделей технических систем, показывает целесообразность привлечения в исследования аппарата системного анализа, математической статистики, теорию надежности, старения, методологию построения оптимизационных моделей, цифровых технологий объектного отображения [10-11].

Целью данной работы является анализ вариативности компоновочного решения транспортного средства на примере частного случая, компоновки трансмиссии: коробки передач, ее функциональной согласованности с обоснованием методики управления посредством системы телеметрии и информативности данных о резерве ресурса.

Компоновочные решения

Принцип взаимозаменяемости агрегатов транспортного средства требует проведения исследований по совместимости имеющихся конструктивных элементов, и не столько с точки зрения их функциональности, как их параметрической эффективности [12-17]. В частности, для трансмиссий требуется установить насколько будут изменены условия работы элементов коробки передач для различных режимов эксплуатации.

Рассмотрим некоторые варианты трансмиссий транспортных средств.

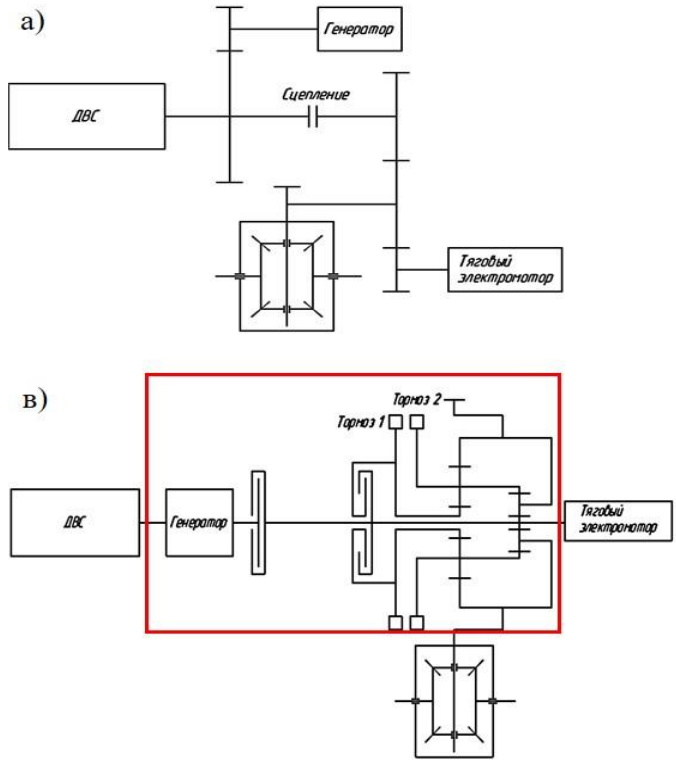
Например, трансмиссия MINI Cooper F56, при всем своем конструктивном совершенстве имеет роботизированную 6-и ступенчатую коробку передач с двумя сцеплениями в компоновочной схеме из 2-х модулей: модуль 1 – многодисковое сцепление К1; вал 1; шестерни 1,3,5 и задней R передач; модуль 2 – многодисковое сцепление К2; вал 2; шестерни 2,4 и 6 передач. Как видно конструкция имеет достаточную составляющую механически связанных компонентов. Последующие разработки коробок передач имели аналогичную компоновку и позволяли увеличить передаточное число до 7-8 ступеней. Также следует отметить, что производитель заявляет высокий уровень надежности АКПП с условием плановой замены масла, хотя в ряде моделей производитель указывает в графе срок службы – пожизненный, за состоянием масла следит соответствующая система диагностики.

Активная разработка гибридных автомобилей также требует дополнительного анализа конструкции по признаку вариативности агрегируемых решений. Например, широкое распространение получила трансмиссия типа DHT – Dedicated Hybrid Transmission. Такие трансмиссии имеют высокопроизводительные режимы работы, таких как: одномоторный/двухмоторный привод, расширение диапазона, параллельный, прямой привод, рекуперацию энергии и другие. Наличие мехатронных компонентов системы управления позволяет трансмиссии рассчитывать оптимальную рабочую передачу в режиме движения в реальном времени [18].

Китайские автопроизводители гибридных автомобилей предлагают варианты комплектации, в частности: односкоростная трансмиссия DHT от BYD, 2-ступенчатая DHT от Great Wall (платформа L.E.M.O.N.), 3-ступенчатый DHT от Geely (платформа CMA), также существуют решения Chery 3DHT, Changan IDD и т.д. (см. рис. 1) [10].

Архитектурное решение, применяемое в гибридных автомобилях BYD (рис. 1, *а*) включает: тяговый электродвигатель с односкоростным редуктором, и ДВС с приводным валом через муфту сцепления, эквивалентной только одной передаче.

Технология DHT от Great Wall (рис. 1, *б*) имеет некоторые отличия, так от ДВС поток мощности воспринимает двухступенчатая коробка передач, у которой технологически обеспечена экономичность для второй передачи. Ба-



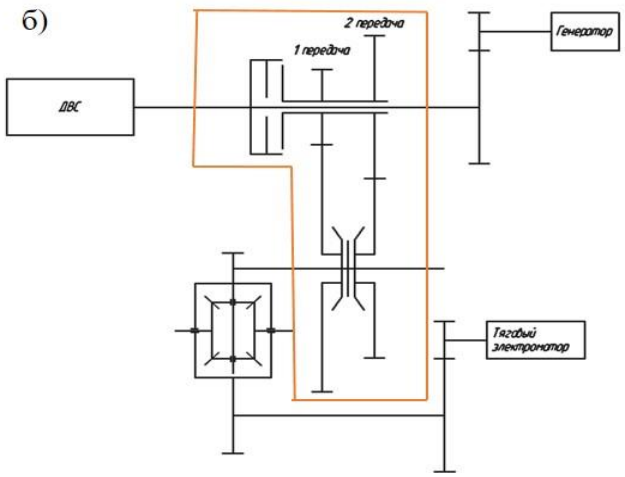


Рис. 1. Кинематическая схема трансмиссии ДНТ: *а* – BYD; *б* – Great Wall; *с* – Geely

ланс между мощностью и энергопотреблением достигается за счёт переключения между двумя передачами.

Технология трансмиссии DHT от Geely (рис. 1, *в*) использует планетарные передачи для создания трехступенчатой коробки передач.

Как показано выше, при развитии направления унификации и взаимозаменяемости, эксплуатанты имеют возможность выбирать не только тип автомобиля, но и вид коробки передач.

В первую очередь выбор падает на упрощение управления транспортным средством, что очевидно, но если углубиться в период фактической эксплуатации, то при этом автовладельцы не учитывают сложности сопутствующего характера, выражаемые в системе технического обслуживания и возможности ремонта, а зачастую, даже замены коробки передач. Также следует уточнить, что срок службы коробок передач автомобилей представляют производители, выделяя что автомобиль находится в нормальных условиях эксплуатации [19].

Производители в конструктивных решениях трансмиссии представляют электронные системы управления. Интенсивность развития мехатронных систем направлена на улучшение функциональных возможностей агрегата, повышение его надежности и контролируемости технического состояния в режиме реального времени. Типовая электронная система управления коробкой передачи включает непосредственно сам блок управления «Transmission Control Module», датчики контроля частоты вращения (коленчатого вала, выходного вала коробки передач и турбины), электронный переключатель передач [20].

Получение полного пакета информации о состоянии транспортного средства не должно ограничиваться данными отдельных компонентов, без логической увязки получаемых результатов по совокупности параметрических характеристик. В данном ключе следует отметить, что для учета надежности коробки передач дополнительно к датчикам контроля, показания которых являются прямыми характеристиками состояния, следует включить информационный блок данных, формируемых при оценке косвенных параметров, позволяющих уточнять ресурсный резерв агрегата.

В частности, требуется постоянный учет температуры и давления масла в трансмиссии, оценка отклонений режима эксплуатации, а именно: управление коробкой передач в режимах, не соответствующих заявленным производителем, режимов нагружения с учетом условий выполнения функциональных задач транспортным средством.

Данную задачи возможно решить, расширив архитектуру электронного блока управления транспортным средством, включив блок обмена информацией с другими системами транспортного средства [20].

Модальный анализ

При оценке ресурса модульно спроектированного транспортного средства предлагается использовать телеметрию контроля технического состояния с универсальной системой управления в инвариантности временного лага, для конструктивного агрегата: коробка передач.

Математическое описание создаваемых алгоритмов контроллеров, позволяющих получать данные и принимать решение по динамике изменения состоянии системы предлагается решить путем задания многозначности значений матрицы описывающей динамику замкнутой системы.

Начальный этап построения модели включает рассмотрение инвариантной системы в линейности математического описания для непрерывного временного лага, в двухмерности пространственных координат:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \\ y(t) = Cx(t). \end{cases} \quad (1)$$

где x – вектор состояния; u – вектор входных данных; A, B, C – матрицы компонентов динамики систем (с учетом совместимости размерностей физических параметров системы).

Для получения цифровой модели компоненты создаваемой динамической системы следует перевести в безразмерный формат.

Описание передаточной функции системы элементного взаимодействия в коробке передач задается через входные и выходные данные. Следует отметить, что механическая система имеет неустойчивость по критерию стабильности спроектированных характеристик, в связи с чем является обоснованным введение контура обратной связи, через коэффициент, который учитывает переменность передаваемого состояния x на вход u.

В данном подходе контур обратной связи с управляющим сигналом (см. рис. 2) запишется в виде:

$$u(t) = r(t) - kx(t) \quad (2)$$

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + B[r(t) - kx(t)] \\ \quad = [A - Bk]x(t) + Br(t), \\ y(t) = Cx(t). \end{cases} \quad (3)$$

где *r* – опорный параметр (точка отсчета).

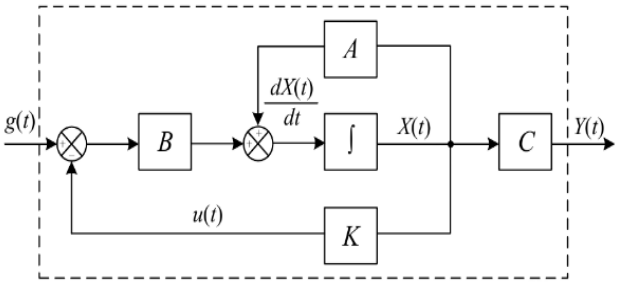


Рис. 2. Типовая система с обратной связью для включения в алгоритм контроля резервного ресурса коробки передач

Учитывая сложность решаемой задачи при выборе подходящей матрицы обратной связи для многокомпонентных технических систем, а в решаемой задаче данной работы, это коробка передач трансмиссии транспортного средства для упрощения расчетной модели используют формулу Аккермана, с отображением k – матрицы усиления обратной связи, в случае получения характеристического многочлена для матрицы $\Delta_{new}(A)$, и выразив матрицу управления, через – C, можно представить в виде:

$$k = [0\ 0 \ldots 0\ 1] \cdot C^{-1} \cdot \Delta_{new}(A) \quad (4)$$

Мониторинг параметров в режиме реального времени при отслеживании динамики изменения технического состояния компонентов агрегатов транспортных средств с применением цифровых инструментов принятия решения оптимизируется с эталонным значением.

Формирование модели в пространственном состоянии производится с применением приложения программного комплекса MatLab/Simulink.

Например, фирма Allison Transmission (см. рис. 3) (https://www.allisontransmission.com/) в системе телеметрия создала архитектурный контур, позволяющий считывать более 170 параметров и после обработки информации давать оценку состояния трансмиссии.

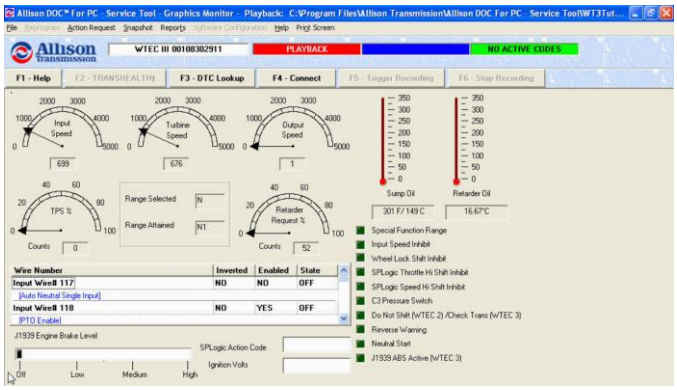


Рис. 3. Рабочее окно сервисного программного модуля контроля технического состояния трансмиссии

Предлагается дополнить типовую архитектуру системы телеметрии датчиками контроля нагрузок на валы, опорные подшипники. Полученные данные при помощи математической модели расчета позволят получить косвенные параметры состояния шестерен и характера зубчатых соединений, в частности, степень нагрузки на зуб шестерни, предсказать критичность нагрузки и не допустить его разрушение, приводящее к выходу коробки из строя [16].

За базовые показатели в математической модели принимается условие описания характера действующих нагрузок с привлечением экспоненциального распределения. Оценивание же надежности единичного компонента на первом этапе проводится по базовым методикам теории накопления усталостных нагрузок, вызывающих повреждения, определяя коэффициент эквивалентности.

$$K_{eq} = \frac{1}{P_{max}^{\nu}} \int_{0}^{P_{max}} f(P) P^{\nu} dP, \qquad (5)$$

где $f(P)$ – плотность распределения усталостных нагрузок; P_{max} – максимальное значение усталостных нагрузок; ν – вектор отклонения кривой накопления энергии.

Учитывая влияние случайных процессов на характер и интенсивность накопления энергии, ведущей к усталостным отказам расчетную модель следует перевести в формат программного моделирования условий и создавая вариативность факторного влияния с оценкой их критичности.

Практическая реализация представленной методики, требует сбора данных, для чего в базовом программном модуле закладывается значение предельного состояния отдельных компонентов, при достижении которых датчики системы телеметрии это зафиксируют и передадут сигнал в общую матрицу оценки состояния коробки передач.

Для получения фактического значения резервного ресурса коробки передач в режиме реального времени требуется выделять значения ресурсов: полного, фактического и остаточного.

Фиксированным, заданным производителем является значение полного ресурса, оценка значения в режиме реального времени – фактический ресурс (t_f), расчетная модель с учетом коэффициента эквивалентности – остаточный ресурс (t_{rem}).

$$t_f = \sqrt[\alpha]{\frac{S_{max} - S_{nom}}{\tau}},$$

$$t_{rem} = t\left[\left(\frac{S_{max} - S_{nom}}{S_i - S_{nom}}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1\right] \qquad (6)$$

где S_{max} – кодированное значение максимальной нагрузки в элементе; S_{nom} – кодированное значение номинального значения нагрузки в элементе; τ – скорость изменения значения параметра, в заданном лаге создания информационной матрицы технического состояния; α – показатель степени, задаваемый в вариативном порядке, характеризующий изменение диагностируемого параметра (S_i) за период наработки (t).

Дополнить значимость коэффициента эквивалентности следует указав, что в его характеристику входят прямые значения сформированного банка данных о техническом состоянии коробки передач и косвенные показатели, включенные в векторное значение отклонения кривой накопления энергии, учитывающие нештатные условия эксплуатации и стиль управления транспортным средством [16, 20].

В связи с этим предлагается применить, уже получившей широкое распространение, методологию решения задач через механизмы цифрового моделирования, создавая идеализированную копию (цифровой образ).

Для создания зеркальной копии технической системы следует использовать типовые концептуальные модели, включающих развернутое описание составляющих объектов и их взаимосвязи, выделяя [12]:

- физический объект (PO), представляющий собой как отдельный укрупненный компонент или сложную систему с несколькими взаимодействующими компонентами. Для получения полной и исчерпывающей информации о физическом объекте данные формируются путем интеграции нескольких методов сбора данных;

- цифровой объект (VO), совокупность моделей и модулей, имитирующих состояние физического объекта и его изменение во времени. Следует учитывать удаленность расположения объектов мелиоративного комплекса, их территориальную разобщенность, что не позволяет иметь достаточную информацию, а это в свою очередь усложняет процесс моделирования и увеличивает вариативность использования цифрового образа в описании ожидаемых функций;

- процесс двойственности, обеспечивает соответствие бесшовной интеграции и обратной связи между физическим и цифровым объектом. Взаимосвязь обеспечивает обмен информации и выполняет функции мониторинга и контроля. Процесс двойственности характеризует требования к взаимодействиям в соответствии с ожидаемыми характеристиками в алгоритме: «физическое – виртуальное» (P2V) и «виртуальное- физическое» (V2P), соответственно.

Цифровой двойник, повышающий информативность модулей телеметрии

Анализ имеющихся разработок в области создания цифровых двойников охватывает практически все сферы народнохозяйственной деятельности в мире. При всем раз-

нообразии следует отметить общность решаемых задач, в частности, применения цифровых двойников в производственных системах дополняя технологиями индустрии 4.0 и интеллектуализацией процессов, при создании приложений прогнозирования и управления ресурсом сложных систем, структурного моделирования процессов жизненного цикла, эффективности эксплуатации и пр. [21-23].

Основой разрабатываемой методики является расширение использования технологии, повышающей ресурсоэффективные и экологические показатели транспортных средств машин.

Алгоритм включает взаимосвязанные этапы реализации жизненного цикла технических систем. На этапе производства проводится выделение вариативности по признаку энергоэффективности конечного дизайна конструкции с учетом производственных особенностей изготовления, в рамках вариативного модульного агрегирования. Последующие этапы предусматривают контроль ресурсных изменений и выполнение оптимизационных действий применяя современные технологии конструирования транспортных машин.

Учитывая вариативность факторного влияния в процессе управления задается модель контроля параметрической характеристики коробки передач в режиме динамических нагрузок, аналитически включающей различные уровни, так на этапе производства выделяют:

- уровень производственного комплекса (energy efficiency – Q1);
- уровень продукции производственного комплекса (Q2);
- уровень технологического процесса по виду продукции (Q3).

Коробки передач транспортных средств, являясь сложно-структурированными системами в модели снижения динамических нагрузок на эксплуатационном этапе жизненного цикла требуют детальной проработки каждого элемента конструкции, для чего точную характеристику можно получить путем применения инструментов цифрового моделирования, создав цифровой образ – системный виртуальный двойник.

В качестве примера можно представить разработки ведущих автопроизводителей, например, Hyundai представляет систему виртуальной реальности для оценки конструктивных решений, данная система направлена на повышение качества и эффективности проектирования, что в результате позволило сократить время разработки автомобиля, а в итоге энергоэффективное сбережение повышено на 20%.

Виртуальная реальность в процессе проектирования основывается на всестороннем анализе рынка, проверки согласованности и уточнения параметрических характеристик при индивидуализации автозаказов.

Основным фактором потери ресурса коробки передач транспортной машины является потеря функциональности деталей, которая возникает из-за износа в следствии внешних воздействий или внутренних усталостных напряжений. Методы компоновочного агрегирования предусматривают различные технологии сборки по согласованности функционально-эксплуатационных характеристик, для выбора наиболее эффективных применена шкала оценки вариантов:

1 балл – альтернативная равноценность;
3 балла – умеренное превосходство;
5 баллов – сильное превосходство;
7 баллов – очень сильное превосходство;
9 – высокий уровень превосходства;
Четные баллы 2, 4, 6, 8 – промежуточные значения.

Используя данный подход сокращается время поиска совместимых агрегатов по различным признакам, снижаются затраты на корректировки систем поддержания работоспособности при обеспечении заданного ресурса не только отдельных деталей, но и агрегата в целом, обеспечивая тем самым ресурсосбережение.

Учитывая вышеизложенное, дальнейшая работа будет направлена на создание научно-обоснованной методологии полномасштабного внедрения модульного агрегирования транспортных средств, с адаптивной системой телеметрии технического состояния в режиме реального времени с пониманием резервного ресурса, повышением уровня унификации и взаимозаменяемости агрегатов, эксплуатационной эффективности транспортных средств.

Выводы

В настоящее время развитие систем телеметрии позволяет в режиме реального времени контролировать техническое состояние не только всего автомобиля, но и отдельных ее агрегатов, в частности, коробки передач.

Предложена расчетная модель оценки остаточного ресурса элементов коробки передач с учетом факторного влияния на интенсивность накопления усталостных нагрузок.

Математическое описание создаваемых алгоритмов контроллеров, позволяющих получать данные и принимать решение по динамике изменения состоянии системы предлагается решить путем задания многозначности значений матрицы обратной связи, описывающей динамику замкнутой системы используя формулу Аккермана.

Предложен алгоритм дополнения базовой системы телеметрии компонентами мониторинга технического состояния коробки передач в режиме реального времени, что позволит исключить нештатные ситуации и простои автомобиля из-за внезапных отказов.

Сформирован алгоритм типовой модели цифрового двойника с модулем мониторинга параметров в режиме реального времени при отслеживании динамики изменения технического состояния компонентов агрегатов транспортных средств с применением цифровых инструментов принятия решения, оптимизируемых с эталонным значением.

Литература

1. Грушников В.А. Комплекс мероприятий по совершенствованию зарубежных автомобильных транспортных средств. Часть I: проектирование и технологии / В.А. Грушников // Вестник транспорта. – 2023. – № 10. – С. 9-12. – EDN: DUMUFU.

2. Белоусов Б.Н. Проблемы прикладной механики при создании тягово-транспортных средств с мехатронными модулями / Б.Н. Белоусов, А.В. Келлер, С.В. Харитончик и др. // Автомобильная промышленность. – 2020. – № 1. – С. 8-16. – EDN: DVIKZQ.

3. Зорин В.А. Система распознавания и мониторинга технического состояния наземных транспортно-технологических машин / В.А. Зорин, Н.И. Баурова, П.В.

Степанов и др. // Технология металлов. – 2021. – № 5. – С. 44-49. – DOI: 10.31044/1684-2499-2021-0-5-44-49. – EDN: KDWWIJ.

4. Sevryugina N. The concept of sustainability management of the ecosystem of cities and small settlements / N. Sevryugina, A. Apatenko, E. Voitovich, N. Kozhukhova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 2, Tomsk, 15-16 мая 2020 года. – Tomsk, 2020. – 012032. – DOI: 10.1088/1757-899X/944/1/012032. – EDN: VDWZAF.

5. Fomina E. Problems of Energy Efficiency When Design of Construction Objects for Transport Infrastructure / E. Fomina, N. Kozhukhova, A. Fomin, E. Voitovich // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport EMMFT 2017: Conference proceedings. Серия: Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham: Springer, 2018. – vol. 692. – P. 520-528. – DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_55. – EDN: XXSEWL.

6. Malozyomov B.V. Determination of the Performance Characteristics of a Traction Battery in an Electric Vehicle / B.V. Malozyomov, N.V. Martyushev, V.V. Kukartsev et al. // World Electric Vehicle Journal. – 2024. – vol. 15, no. 2. – 64. – DOI: 10.3390/wevj15020064. – EDN: RFUSCG.

7. Зубина В.А. Проведение многокритериальных оптимизационных расчетов для повышения эффективности парка мобильных энергетических средств / В.А. Зубина, Т.З. Годжаев, И.С. Малахов // Тракторы и сельхозмашины. – 2024. – Т. 91, № 2. – С. 217-227. – DOI: 10.17816/0321-4443-629124. – EDN: SXTDCZ.

8. Li J. Modularity, Lead time and Return Policy for Supply Chain in Mass Customization System / J. Li, C. Liu, W. Xiao // Int. J. Comput Intell Syst. – 2016. – no. 9, – P. 1133-1153. – DOI: 10.1080/18756891.2016.1256575.

9. Ухова А.И. Анализ состояния и перспектив развития глобального рынка телематических транспортных и информационных систем: маркетинговые аспекты / А.И. Ухова, И.Ю. Окольнишникова, А.В. Келлер // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2024. – Т. 7, № 8(149). – С. 158-170. – DOI: 10.36871/ek.up.p.r.2024.08.07.021. – EDN: DREQBU.

10. Жилейкин М.М. Разработка и верификация виртуального прототипа автотранспортного средства / М.М. Жилейкин, А.В. Антонян, Ю.М. Фурлетов // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 5. – С. 455-468. – DOI: 10.17816/0321-4443-622767. – EDN: ZNLLRP.

11. Климов А.В. Исследование методов повышения энергоэффективности с учётом режимов работы тягового электропривода методами виртуального математического моделирования // Тракторы и сельхозмашины. – 2024. – Т. 91, № 1. – С. 65-74. – DOI: 10.17816/0321-4443-569208. – EDN: HACBBS.

12. Пастухов А.Г. Исследование напряжённо-деформированного состояния деталей модернизируемых узлов трансмиссий различных машин / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов, И. Н. Кравченко // Строительные и дорожные машины. – 2015. – № 8. – С. 20-26. – EDN: UADIJT.

13. Лихачев Д.С. Экспериментальное исследование динамической нагруженности трансмиссии автомобиля с комбинированной энергоустановкой / Д.С. Лихачев, И.А. Тараторкин, С.А. Харитонов // Труды НАМИ. – 2017. – № 1(268). – С. 92-106. – EDN: YUJEJX.

14. Сарбаев В.И. Расчет показателей надежности заднего моста автобуса в условиях нечеткой формализации параметров отказов / В.И. Сарбаев, А.Г. Гусев // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 1-1(80). – С. 19-27. – DOI: 10.33979/2073-7432-2023-1(80)-1-19-27. – EDN: DTJZBW.

15. Зорин В.А. Прогнозирование остаточного ресурса гидромоторов строительных машин по результатам имитационного моделирования / В.А. Зорин, М. Нгуен Чонг // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2023. – № 3. – С. 15-19. – DOI: 10.31044/1684-2561-2023-0-3-15-19. – EDN: SYVOOU.

16. Golubev I.G. Модернизация машин для продления срока их службы / I.G. Golubev, N.S. Sevryugina, A.S. Apatenko, A.Yu. Fomin // ёРоссийские инженерные исследования. – 2023. – vol. 43, no. 3. – P. 258-263. – DOI: 10.3103/s1068798x23040111.

17. Sevryugina N.S. Vertical transport: resource by the criterion of safety / N.S. Sevryugina, M.A. Stepanov // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – то. 7(75). – P. 23-36. – DOI: 10.18720/MCE.75.3. – EDN: XPKZAD.

18. Ушнурцев С.В., Ушнурцев С.В., Крикунов К.Н., Наумов А.В. и др. Устройство распределения мощности в трансмиссии: Патент № 2785241 C1 Российская Федерация, МПК B60K 17/35. № 2022106837 : заявл. 16.03.2022 : опубл. 05.12.2022.

19. Кобзев А.А. Этапы диагностирования и ремонта автоматической коробки передач / А.А. Кобзев, А.И. Волдохин // Автомобильная промышленность. – 2012. – № 4. – С. 25. – EDN: QNLEFF.

20. Apatenko A. Tensometry of Interfaces of the Working Body of Technology Machines for Reclamation Works / A. Apatenko, N. Sevryugina // Smart Innovation, Systems and Technologies. – 2022. – vol. 247. – P. 73-81. – DOI: 10.1007/978-981-16-3844-2_9.

21. Zio E. Цифровые двойники в анализе безопасности, оценке рисков и управлении чрезвычайными ситуациями / E. Zio, L. Miqueles // Reliability Engineering & System Safety. – 2024. – vol. 246. – 110040. – DOI: 10.1016/j.ress.2024.110040.

22. Tao F. Make more digital twins / F. Tao, Q. Qi // Nature. – 2019. – vol. 573, no. 7775. – P. 490-491. – DOI: 10.1038/Д41586-019-02849-1.

23. Kharat R. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication / R. Kharat, V. Bavane, S. Jadhao, R. Marode // Global Journal of Engineering Science and Researches. – 2018. – P. 6-15. – DOI: 10.5281/ZENODO.1493930.

DOI: 10.24892/RIJIE/20250307

Informativeness of Telemetry Modules in Gearbox Standby Resource Estimation

Sevryugina N.S., Shevchenko M.A., Artemiev V.N.
Moscow Polytechnic University
Moscow, Russian Federation
n.s.sevryugina@mospolytech.ru

Abstract. **An assessment of the prospects for the use of modular aggregation technologies in the design of vehicles is given. Gearboxes of technological machines are considered according to the level of interchangeability and features of functional and parametric consistency. The substantiation of the methods for choosing the option of the type of gearbox is carried out not only by technological compatibility, but also by the degree of change in dynamic loads and deviations from normal operating conditions. The problem of insufficient information content of telemetry systems for vehicles with a modernized aggregate layout, which makes it possible to assess the resource reserve of the unit and monitor technical conditions in real time, is revealed. It is proposed to use telemetry of technical condition monitoring with a universal control system in time lag invariance, for a structural unit: gearbox. It is proposed to solve the mathematical description of the created algorithms of controllers that allow receiving data and making decisions on the dynamics of changes in the state of the system by setting the polysemy of the values of the feedback matrix describing the dynamics of a closed system using the Ackermann formula. Vehicle gearboxes, being complexly structured systems in the model of reducing dynamic loads at the operational stage of the life cycle, require a detailed study of each structural element, for which it is proposed to use digital modeling tools, creating a digital image - a system virtual twin. It is established that in order to ensure the accuracy of the digital twin algorithm, it is necessary to take into account the variability of factor influence in the process of control and virtual programming of tools for monitoring the parametric characteristics of the gearbox in the mode of dynamic loads, analytically including the operational intensity of operation.**

Keywords: **vehicles, transmission, interchangeability, telemetry, informativeness, resource, functionality.**

Библиографическое описание статьи

Севрюгина Н.С. Информативность модулей телеметрии в оценке резервного ресурса коробки передач / Н.С. Севрюгина, М.А. Шевченко, В.Н. Артемьев // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2025. – Т.12, №3. – С. 45-51. DOI: 10.24892/RIJIE/20250307

Reference to article

Sevryugina N.S., Shevchenko M.A., Artemiev V.N. Informativeness of telemetry modules in gearbox standby resource estimation, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2025, vol.12, no.3, pp. 45-51. DOI: 10.24892/RIJIE/20250307