

УДК 629.33.028

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ САУ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ АТС
THE CONCEPT OF CREATING A ACS POWER UNIT ATS

О.С. Руктешель, д-р техн. наук, проф.
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь
O. Ruckteschell, Doktor of technical sciences, Professor
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus

Создание САУТ представляет собой сложный комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, поэтапное решение которых проводится с помощью процедур, объединяющих аналитические, алгоритмические и эвристические методы.

The creation of the SOUTH is a complex set of research and development works, step-by-step solution of which is carried out by means of procedures combining analytical, algorithmic and heuristic methods.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно, автоматизация процесса переключения передач в механических трансмиссиях транспортных машин приводит к:

- 1) уменьшению утомляемости водителя и, как следствие, увеличению безопасности движения;
- 2) снижению себестоимости перевозок за счет увеличения средней скорости движения и (или) уменьшения расхода топлива;
- 3) повышению комфорта водителя и пассажиров, вследствие увеличения плавности переключения передач;
- 4) снижению нагруженности узлов силового агрегата машины;
- 5) повышению конкурентоспособности машины на мировом рынке.

В связи с этим передовыми автомобилестроительными фирмами мира разрабатываются и внедряются в производство системы автоматического управления (САУ) силовым агрегатом машин в процессе переключения передач.

К ним можно отнести фирму Mercedes-Benz, которая разработала систему Telligent, управляющую двигателем, узлами трансмиссии и тормозами [1], и компанию Zahnradfabrik Friedrichshafen AG

(Германия), известную как ZF, которая разработала ряд автоматизированных трансмиссий серии ZF-AS Tionic [2]; автоматизированные коробки передач (КП) Opticruise фирмы Scania [3]; I-Shift и Geartronic фирмы Volvo (Швеция) [4]; автоматизированные КП Eaton Fuller Autoshift фирмы Eaton (США) [5]; Eurotronic фирмы Iveco (Италия) [6] и др.

Конструкции перечисленных САУ внедрены в производство и могут производиться серийно. Однако законы переключения передач и алгоритмы, по которым они работают, являются секретом создавших их фирм и в открытой печати не освещаются.

Поэтому проблема создания законов и алгоритмов управления САУ узлами силового агрегата транспортных машин является весьма актуальной.

СОЗДАНИЕ САУ СИЛОВЫМ АГРЕГАТОМ АТС

Кроме того, предполагается, что с учётом опыта, накопленного на кафедре «Автомобили» БНТУ, в научно-исследовательской и испытательной лаборатории транспортных средств БНТУ, в управлениях главного конструктора МАЗ и объединения КаМАЗ, и отечественные САУ силовым агрегатом транспортных машин в скором времени выйдут за рамки опытных образцов.

В данной статье под САУ узлами трансмиссии автомобиля (САУТ) понимается система, которая собирает информацию о состоянии и режиме движения автомобиля, определяет направление и момент переключения передач, производит выбор и осуществляет выключение предыдущей и включение последующей передачи, одновременно управляет двигателем, моторным тормозом, сцеплением и КП в процессе переключения, выбирает и включает требуемую передачу после торможения или движения транспортного средства накатом.

Основными этапами создания САУТ и её математического обеспечения являются [7]:

- 1) выбор информационных параметров (ИП);
- 2) выбор законов переключения передач (ЗПП);
- 3) синтез алгоритмов процесса переключения (АПП) и их параметров.

Каждый из этих этапов должен рассматриваться как решение конкретной задачи оптимизации, т.е. как процесс, позволяющий найти

наилучший вариант системы в отношении заданного свойства (критерия эффективности).

Для решения задачи оптимизации необходимо выбрать [8]:

- 1) критерий эффективности; 2) управляемые параметры; 3) начальное приближение; 4) область поиска; 5) точность поиска оптимума; 6) условия прекращения поиска оптимума.

При подготовке задачи оптимизации к решению прежде всего необходимо составить математическую модель объекта оптимизации (в данном случае САУТ) и определить его эффективность [9]. Эффективность проектируемой САУТ определяется эффективностью работы транспортного средства, на котором она установлена и может быть оценена критерием эффективности. Поэтому необходимо, чтобы математическая модель позволяла выявить зависимость критерия (критериев) эффективности от параметров САУТ и внешней среды, структуры и алгоритмов взаимодействия элементов в системе.

Оптимальное проектирование САУТ имеет ряд существующих особенностей по сравнению с проектированием других объектов. Так, основные трудности и наибольшая трудоемкость при проектировании САУТ связаны с выбором информационных, функциональных, логических и алгоритмических связей между уже готовыми элементами и подсистемами, в отличие от проектирования, например, сооружения, конструкций, транспортных средств или их агрегатов, когда центр тяжести сосредоточен на этапах конструкторского и технологического проектирования.

Дело в том, что объект управления (силовой агрегат) проектируется заранее, большинство его свойств уже не подлежит изменению. Следует надеяться, что именно оптимальное проектирование приведет к тому, что объект управления и управляющая им система будет проектироваться комплексно, т.е. эта особенность исчезнет.

Кроме того, математические модели САУТ составляют в условиях неполной информации об объекте управления (автомобиле), о действующих на него возмущениях, а также в условиях неполной измерительной информации. При этом САУТ адекватны не статические, а логико-динамические модели большой размерности, учитывающие, что САУТ представляют собой системы с обратной связью.

Определяющую роль при проектировании САУ играет выбор оптимальной совокупности (вектора) информационных параметров,

т.е. параметров, анализ которых позволяет производить определение момента переключения передач и его реализацию. Количество элементов вектора информационных параметров и их взаимосвязь влияет как на эффективность использования транспортного средства, так и на стоимость, сложность построения и надежность работы САУТ [7]. Поэтому выбор вектора элементов ИП является не чисто технической, а технико-экономической задачей. Совокупность ИП считаем оптимальной, если транспортная система в типичных условиях эксплуатации обеспечивает минимальные народнохозяйственные затраты на осуществление в заданный срок требуемого объема перевозок. Поэтому эффективность совокупности ИП предлагается оценивать удельной себестоимостью использования транспортного средства. Это комплексный критерий, который эквивалентен приведенным народнохозяйственным затратам:

$$C_{уд} = (C_{пр} + Z_{эк})/W_{тс} ,$$

где $C_{пр}$ – себестоимость производства транспортного средства, отнесенная к часу нормативного времени его работы; $Z_{эк}$ – затраты на эксплуатацию транспортного средства за час работы; $W_{тс}$ – часовая производительность транспортного средства.

Решением задачи выбора оптимальных ИП U_j^* является вектор ИП U^* , доставляющий минимум критерию эффективности $C_{уд} = \varphi(U)$, т.е.

$$\varphi(U^*) = \min \varphi(U) \forall U \in \bar{U} ,$$

где U^* – вектор оптимальных информационных параметров; \bar{U} – допустимое множество векторов ИП.

Связь между информационными параметрами характеризуется законами переключения передач (ЗПП). ЗПП переключения представляют собой зависимость скорости транспортной машины или угловой скорости коленчатого вала двигателя, при которой должно производиться переключение на смежную передачу, от компонентов вектора информационных параметров U^* .

$$\omega^{H(B)} = \left[a_i^{H(B)} + \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^m a_i^{H(B)} \cdot U_j + \sum_{i=n+1}^q \sum_{j=1}^m a_i^{H(B)} \cdot (U_j^*)^2 \right] \cdot \prod_{k=1}^z v_k,$$

где a_i^H и a_i^B – коэффициенты многочленов, описывающих ЗПП при переключении соответственно на смежную низшую и высшую передачи ($i=1, q; q>n$); U_j^* – информационные параметры вектора U^* ; v_k – функции корректирующих ИП, т.е. параметров, улучшающих ЗПП ($k = \overline{1, z}$).

Например, если в качестве корректирующего ИП параметра используется ускорение поступательно движущейся массы транспортной машины $V_{ТС}$, то функция v_k примет вид: $v_k = 1 - a_{q+1}^{H(B)} \cdot V_{ТС}$.

От правильного выбора ЗПП зависит эффективность работы средства в целом, которая оценивается тремя показателями: производительностью, себестоимостью перевозок и безопасностью движения. себестоимость перевозок $C_{эк}$ является функцией производительности транспортного средства $W_{ТС}$, учитывает среднюю скорость движения и расход топлива транспортного средства:

$$C_{эк} = Z_{эк} / W_{ТС},$$

где $Z_{эк}$ – эксплуатационные затраты.

Этот комплексный показатель наиболее полно характеризует эффективность работы транспортного средства и используется в качестве критерия эффективности при оптимизации ЗПП.

Решение проблемы организации процесса переключения сводится к синтезу алгоритмов переключения передач [10].

Количество и вид узлов САПП, участвующих в процессе переключения передач, определяются принципом организации алгоритма переключения. В общем случае этими узлами являются двигатель, моторный тормоз, сцепление, элементы коробки передач (зубчатые муфты, синхронизаторы, фрикционы) и их исполнительные механизмы.

Под операциями управления понимаются управляющие воздействия, направленные на включение-выключение вышеперечисленных узлов, синхронизация угловых скоростей или ускорений их элементов, и реализация данных воздействий.

Условиями переходов между операциями являются заданные состояния управляемых узлов САПП, достижение которых служит сигналом к началу выполнения очередной операции или группы операций.

К параметрам алгоритма переключения передач относим интервалы смещения во времени сигналов управляющего блока САУПП, определяющих начало параллельно выполняемых операций (например, управление двигателем и сцеплением; двигателем, моторным тормозом и КП и т.п.); время, темп включения (выключения) и характер нарастания (падения) нажимного усилия в силовых цилиндрах исполнительных механизмов, а также значения относительных угловых скоростей и ускорений элементов КП или сцепления, синхронизируемых в процессе переключения передач. Достижение последних является сигналом к выполнению последующих операций.

Для количественной оценки эффективности выбора структуры алгоритмов переключения передач предлагается использовать время разрыва потока мощности при переключении t_p , удельную мощность $N_{уд}$ и работу буксования $L_{уд}$ сцепления или (и) синхронизатора, коэффициент динамических нагрузок $K_{дин}$ и максимальный размах колебаний производной продольного ускорения АТС по времени \dot{V}_a .

Базой для решения задач синтеза алгоритмов переключения передач (АПП) служит имитационная модель. Модель позволяет имитировать работу двигателя, всережимного регулятора, моторного тормоза, сцепления, исполнительных механизмов КП, синхронизаторов (зубчатых муфт) КП и управление ими в различной последовательности, включая параллельное; учитывать время задержки на срабатывание исполнительных механизмов по управлению двигателем, моторным тормозом, сцеплением и КП; осуществлять переключение как с низшей на высшую, так и с высшей на низшую передачи; моделировать включение сцепления и синхронизаторов (зубчатых муфт) КП при различных начальных угловых скоростях и ускорениях их ведущих и ведомых элементов.

Анализ результатов оптимизации параметров алгоритмов переключения показал, что последние должны быть адаптивными, то есть изменяющимися в зависимости от эксплуатационного состояния и степени износа двигателя, условий эксплуатации и весового состояния автомобиля. Причем адаптация должна осуществляться автоматически. Для этого такие параметры АПП, как ω_{231}^3 и ω_{232}^3 должны быть не жестко заданными константами, а представлять собой функции $\omega_{23i}^3 = f(\dot{\omega}_1, \dot{\omega}_3, u_{\text{кп}}, t_{\text{кп}}^{\text{БК}})$, где i – количество условий перехода между операциями, при выполнении которых анализируется относительная угловая скорость синхронизируемых масс КП: $\dot{\omega}_1, \dot{\omega}_3$ – угловые ускорения инерционных масс двигателя и выходного вала КП; $u_{\text{кп}}$ – передаточное число КП на включаемой передаче; $t_{\text{кп}}^{\text{БК}}$ – время от подачи сигнала на исполнительный механизм КП до его полного срабатывания. Значения указанных функций должны рассчитываться в ходе выполнения процесса переключения передач.

В отличие от констант обозначим рассчитываемые относительные угловые скорости синхронизируемых масс КП, при которых следует подавать сигнал на включение смежной высшей или низшей передачи, соответственно через $\omega_{\text{р}}^{\text{В}}$ и $\omega_{\text{р}}^{\text{Н}}$. Значения функций $\omega_{\text{р}}^{\text{Н}}$ и $\omega_{\text{р}}^{\text{В}}$ определим из выражений:

$$\omega_{\text{р}}^{\text{В}} = (\dot{\omega}_1 - \dot{\omega}_3 \cdot u_{\text{кп}}) \cdot t_{\text{кп}}^{\text{БК}},$$

где $\dot{\omega}_1 = (\omega_1' - \omega_1'')/\Delta t$; $\dot{\omega}_3 = (\omega_3' - \omega_3'')/\Delta t$; Δt – время опроса датчиков САПП; $\Delta t = t_2 - t_1$; ω_1', ω_3' и ω_1'', ω_3'' – угловые скорости коленчатого вала двигателя и выходного вала КП, соответствующие моментам времени t_1 и t_2 ;

$$\omega_{\text{р}}^{\text{Н}} = (\dot{\omega}_1 + \dot{\omega}_3 \cdot u_{\text{кп}}) \cdot t_{\text{кп}}^{\text{БК}},$$

где $\dot{\omega}_1 = (\omega_1'' - \omega_1')/\Delta t$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Представленная концепция является основой для выполнения дальнейших самостоятельных исследований, связанных с нагруженностью силовых агрегатов, оборудованных САУТ, с согласованием характеристик силового агрегата и САУТ, с созданием единой САУ рабочими процессами АТС.

2) Совокупность сформулированных научных положений открывает новое перспективное направление в науке об автомобиле – создание теоретических основ и средств анализа и синтеза САУ силовыми агрегатами АТС на базе элементов теории сложных логико-динамических систем и системного подхода, а также способствует решению важной, народнохозяйственной проблемы повышения эффективности использования АТС.

3) Законы и алгоритмы переключения передач должны автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации, степени износа двигателя и весовому состоянию автомобиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет ресурс www.mercedes-benz.ru.
2. Интернет ресурс www.zf.com.
3. Интернет ресурс www.scania.com.
4. Интернет ресурс www.volvo.com.
5. Интернет ресурс www.eaton.com.
6. Интернет ресурс www.iveco.com.
7. Руктешель, О.С. Основы проектирования систем автоматического управления агрегатами транспортного средства: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение» / О.С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2012. – 111 с.
8. Михалевич, В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем/ В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. –286 с.
9. Тарасик, В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов/ В.П. Тарасик.– Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
7. Руктешель, О.С. Оптимальное проектирование алгоритмов автоматизированного переключения передач в автомобиле: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-37 01 02 «Автомобилестроение (по направлениям)» / О.С. Руктешель. – Минск: БНТУ, 2016. – 92 с.